TOKYO
JAPAN
2026

TOKYO SUMMIT - XII

THE PROCEEDINGS BOOK

TOKYO 東京

12TH INTERNATIONAL

INNOVATIVE STUDIES & CONTEMPORARY SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

August 27-30, 2026 | Tokyo - Japan

EDITORS

Prof. José Geraldo Romanello Bueno

Prof. Dr. Ümit Muhammet KOÇYİĞİT

https://www.tokyosummit.org/

ISBN: 979-8-89695-540-5

Copyright © Liberty

THE PROCEEDINGS BOOK

12TH INTERNATIONAL INNOVATIVE STUDIES & CONTEMPORARY SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

August 27-30, 2026 Tokyo, Japan

EDITORS

Prof. Dr. Umit Muhammet KOCYIGIT

Prof. Jose Geraldo Romanello Bueno

Date: 15.09.2026

Liberty Publishing House

Water Street Corridor New York, NY 10038

www.libertyacademicbooks.com

+1 (314) 597-0372

ALL RIGHTS RESERVED NO PART OF THIS BOOK MAY BE REPRODUCED IN ANY FORM, BY PHOTOCOPYING OR BY ANY ELECTRONIC OR MECHANICAL MEANS, INCLUDING INFORMATION STORAGE OR RETRIEVAL SYSTEMS, WITHOUT PERMISSION IN WRITING FROM BOTH THE COPYRIGHT OWNER AND THE PUBLISHER OF THIS BOOK.

© Liberty Academic Publishers 2026

The digital PDF version of this title is available Open Access and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits adaptation, alteration, reproduction and distribution for noncommercial use, without further permission provided the original work is attributed. The derivative works do not need to be licensed on the same terms.
adopted by Mariam Rasulan

ISBN: 979-8-89695-540-5

https://www.tokyosummit.org/

ORGANIZING INSTITUTIONS

Institute of Economic Development and Social Researches

London Sovereign School

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE	
TOKYO 12TH INTERNATIONAL INNOVATIVE STUDIES & CONTEMPORARY SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS	
DATE **August 27-30, 2026**	PLACE **Tokyo, Japan** Face-to-face & Online (Zoom)

PARTICIPANT COUNTRIES (27)

Albania, Algeria, Azerbaijan, Bulgaria, India, Indonesia, Iran, Iraq, Italy, Jordan, Kosovo, Lebanon, Malaysia, Moldova, Morocco, Nigeria, Pakistan, Poland, Republic of Guinea, Republic of Korea, Romania, Slovakia, Turkish Republic of Northern Cyprus, Türkiye, Ukraine, United States, Uzbekistan

182	29	82	100
TOTAL ACCEPTED PAPERS	TOTAL REJECTED PAPERS	PAPERS FROM TURKIYE	INTERNATIONAL PARTICIPANTS

EVALUATION PROCESS & PRESENTATION

All applications have undergone a double-blind peer review process · Oral Presentations

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

ORGANIZING BOARD

Dr. WU Yicheng
Minzu University

Dr. Ethem Ilhan SAHIN
Adana Alparslan Turkes University, Turkiye

Dr. Pham Ngoc NHAN
University of Economic Ho Chi Min City

Dr. Minji YANG
Busan University

Dr. Ly Dai HUNG
Vietnamese Institute of Economics

Dr. Xiangyi KONG
Chinese Academy of Medical Sciences

Dr. Maria HOOKS
Methodist Hospital

Dr. Mehmet TATOGLU
Recep Tayyip Erdogan University, Turkiye

SCIENTIFIC & REVIEW COMMITTEE

Prof. Gou FENG
Xiamen University

Prof. Samson OYEYINKA
University of Ilorin

Prof. Dr. Aparna SRIVASTAVA
Noida International University

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Goktug KAYA
Ministry of Treasury and Finance, Turkiye

Dr. Ly Dai HUNG
VASS Vietnamese Institute of Economics

Dr. Vikas PRAJAPATI
University of Baroda

Dr. Luna Moni DAS
Vasanta College for Women

Dr. Pham Ngoc NHAN
University of Economic Ho Chi Min City

Dr. Minji YANG
Busan University

Dr. Luke Chinaru NWOSU
Atlantic Technological University

Dr. Zhi Huan MENCHUANG
Renmin University

Kanokwan SOMWONG
Chiang Mai University

Janaka WIJESINGHE
Uva Wellassa University

Prof. Dr. Sevcan YILDIZ
Akdeniz University

Prof. Dr. Froilan D. MOBO
Philippine Merchant Marine Academy

Prof. Dr. Umran TURKYILMAZ
Ankara Haci Bayram Veli University

Assist. Prof. Dr. Mehmet TATOGLU
Recep Tayyip Erdogan University, Turkiye

Dr. Abdussalam Ali AHMED
Bani Waleed University

Dr. Xiangyi KONG
Chinese Academy of Medical Sciences

Dr. Keisuke WAKIZAKA
Istanbul Gelisim University

Dr. Kahkashan KHAN
Malaviya University

Dr. Yicheng WU
Minzu University

Dr. Machunwangliu KAMEI
University of the People, California

Cengiz TOPDEMIR
Awarded Mathematician

Ankit GUPTA
University of Lucknow

Dr. Aygun MEHERREMOVA
Baku State University

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

TOKYO SUMMIT · XII

12th International Innovative Studies & Contemporary Scientific Research Congress

August 27–30, 2026 · Tokyo, Japan

CONGRESS PROGRAM

MEETING ID	858 1117 0419
PASSCODE	123456
LINK	https://us02web.zoom.us/j/85811170419?pwd=ywNJR2TKsxKiJunJr23gQInzAAvcLm.1

PARTICIPANT COUNTRIES (27)	Albania, Algeria, Azerbaijan, Bulgaria, India, Indonesia, Iran, Iraq, Italy, Jordan, Kosovo, Lebanon, Malaysia, Moldova, Morocco, Nigeria, Pakistan, Poland, Republic of Guinea, Republic of Korea, Romania, Slovakia, Turkish Republic of Northern Cyprus, Türkiye, Ukraine, United States, Uzbekistan

IMPORTANT — PLEASE READ CAREFULLY

- To attend online: go to https://zoom.us/join, enter the Meeting ID and join.
- The Zoom application is free and no account is required.
- Works on tablets, phones and PCs.
- Participants must connect 5 minutes before presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- The moderator is responsible for presentations and Q&A discussions.

TECHNICAL INFORMATION

- Make sure your computer has a microphone and it is working.
- You should be able to use the screen sharing feature in Zoom.
- Attendance certificates will be sent as PDF at the end of the congress.
- Requests for change of place and time will not be considered.

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

IN PERSON SESSION ◆28 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**In Person Session · United Nations University Headquarters**
DATE & VENUE	28.08.2026 · *United Nations University, Shibuya City, Tokyo*
TIME	**10:00**

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Ümit Muhammet KOÇYİĞİT

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Dr. Murat ARSLAN Prof. Dr. Ümit Muhammet KOÇYİĞİT Doç. Dr. Eren H. BOSTANCI Prof. Dr. Hakan ÜNVER Dr. Öğr. Üyesi Ebru Nur AY	*Sivas Cumhuriyet University* *Eskişehir Technical University* *İstinye University, Türkiye*	**INVESTIGATION OF THE CHOLINERGIC EFFECTS OF NOVEL BENZIMIDAZOLIUM-CHALCONE HYBRID DERIVATIVES**
Mehmet AYDIN Dr. Mukadder GUNERI	*ESH Information Technologies, Türkiye* *Independent Researcher*	**FROM PRACTICE TO CURRICULUM: AI LITERACY AND PROMPT ENGINEERING INTEGRATION IN HIGHER EDUCATION**
Hatice ŞAHİN Prof. Dr. Ümit Muhammet KOÇYİĞİT Prof. Dr. Salih GÖRGÜN Prof. Dr. Ali GÜNLÜ	*Sivas Cumhuriyet University, Türkiye* *Muğla Sıtkı Koçman University, Türkiye*	**EVALUATION OF THE IN VITRO EFFECTS OF SOME METAL IONS ON LIVER CARBONIC ANHYDRASE OF ACIPENSER BAERII (BRANDT, 1869)**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-1
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Aydın SELLİOĞ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Hanife ÇETİNGÜNEY Prof. Dr. Uğur BÜYÜK	*Erciyes University, Türkiye*	**PEDAGOGICAL DIMENSIONS OF ENGINEERING TEACHING IN SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' EXPERIENCES WITH TECHNOLOGY, INSTRUCTIONAL PROCESS, AND ASSESSMENT**
Hanife ÇETİNGÜNEY Prof. Dr. Uğur BÜYÜK	*Erciyes University, Türkiye*	**INTEGRATION OF THE ENGINEERING DESIGN PROCESS INTO SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' KNOWLEDGE, AWARENESS, AND EXPERIENCES**
Sevcan Filiz AVCI DAŞ Prof. Dr. Uğur BÜYÜK	*Ministry of National Education, Türkiye* *Erciyes University, Türkiye*	**EXAMINING THE STEM CAREER IDENTITY OF MIDDLE SCHOOL STUDENTS PARTICIPATING IN ROBOTICS COMPETITIONS THROUGH FREE CAREER DRAWINGS**
Aydın SELLİOĞ Dr. Mehmet KÜÇÜKGÖZ Mehmet Gazi ASLAN	*Mersin University, Türkiye* *Ministry of National Education, Türkiye*	**ACCESSIBILITY IN SCIENCE EDUCATION: EXPERIENCES OF SYRIAN-ORIGIN BLIND STUDENTS AND A BLIND SCIENCE TEACHER**
Aydın SELLİOĞ İsmail Bahadır ÇETİN	*Mersin University,, Türkiye* *Ministry of National Education, Türkiye*	**WHO THINKS, WHO DECIDES? PRODUCTIVE EPISTEMIC FRICTION IN GENERATIVE AI-SUPPORTED SCIENCE LEARNING**
Asst. Prof. Ufuk GÜVEN Res. Asst. Beyza Kaviye ATEŞ	*Düzce University, Türkiye*	**PRE-SERVICE CLASSROOM TEACHERS' ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE**
Asst. Prof. Dr. Nermin ER AYDEMİR	*Alanya Alaaddin Keykubat University, Türkiye*	**A TEXTLINGUISTIC ANALYSIS OF THE TEXTS IN 5TH-GRADE TURKISH COURSEBOOKS**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-2
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Mehmet GÜNEŞ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Ümmügülsüm KILIÇ Assoc. Prof. Dr. Atiye KARAKUL Prof. Dr. Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA	*Tarsus University, Türkiye*	**PLAY IN THE HOSPITAL AND THE NURSE'S ROLE IN PLAY ACTIVITIES**
Ümmügülsüm KILIÇ Prof. Dr. Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA Assoc. Prof. Dr. Atiye KARAKUL	*Tarsus University, Türkiye*	**NUTRITIONAL MANAGEMENT IN PREMATURE INFANTS AND THE IMPORTANCE OF BREAST MILK BANKING**
Rabia KOCA Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN	*Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Health Sciences, Türkiye*	**PREDICTING PRESSURE ULCERS AND THE RISK OF FALLS IN PEDIATRIC INTENSIVE CARE USING BIG DATA ANALYTICS**
Rabia KOCA Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN	*Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Health Sciences, Türkiye*	**ASSESSMENT OF THE MENTAL HEALTH CONSEQUENCES OF CYBERBULLYING AMONG ADOLESCENTS USING DIGITAL MONITORING TOOLS AND NURSING INTERVENTIONS**
Nedim KIZILTAŞ Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN	*Van Yüzüncü Yıl University, Dursun Odabaş Medical Center, Türkiye* *Van Yüzüncü Yıl University, Türkiye*	**DIGITAL ADDICTION IN CHILDREN AND ADOLESCENTS**
Nedim KIZILTAŞ Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN	*Van Yüzüncü Yıl University, Dursun Odabaş Medical Center, Türkiye* *Van Yüzüncü Yıl University, Türkiye*	**MOBILE AND TELEHEALTH APPLICATIONS IN PAEDIATRIC CHRONIC CONDITIONS**
Ömer Seyfi ACAR Prof. Dr. Şenay ARLI	*Ondokuz Mayıs University, Türkiye*	**PROCEDURAL PAIN BURDEN: CURRENT EVIDENCE AND NURSING APPROACHES IN THE PREVENTION OF PAIN ASSOCIATED WITH CHEST TUBE REMOVAL**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-3**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Lecturer Dr. Ümmühan AKHİSAR

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR Lect. Dr. Ecem KOCAOĞLAN	*Cyprus Aydın University, Turkish Republic of Northern Cyprus*	**THE RIGHT TO GENETIC INTEGRITY: A NEW MANIFESTATION OF HUMAN DIGNITY**
Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR Lect. Dr. Ecem KOCAOĞLAN	*Cyprus Aydın University, Turkish Republic of Northern Cyprus*	**THE CONCEPT OF THE DIGITAL BODY AND THE CONSTRUCTION OF IDENTITY THROUGH THE DIGITAL BODY**
Nagehan CANTÜRK	*Ondokuz Mayıs University,Türkiye*	**THE RIGHT TO BE FORGOTTEN IN THE CONTEXT OF THE PERSONAL DATA PROTECTION LAW: AN OVERVIEW**
Res. Asst. Kaan KARAASLAN	*Antalya Bilim University, Türkiye*	**LINKING THE INSURER'S PERFORMANCE OBLIGATION TO A PARAMETRIC TRIGGER: A COMPARATIVE LEGAL ANALYSIS WITH TRADITIONAL INDEMNITY INSURANCE**
Assoc. Prof. Dr. Asuman BOLKAN Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR	*Girne American University, TRNC* *Cyprus Aydin University, TRNC*	**FROM RATIONAL DECISION-MAKING TO COGNITIVE BIAS: THE BEHAVIORAL LIMITS OF LEGAL DECISION-MAKING**
Assoc. Prof. Dr. Asuman BOLKAN Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR	*Girne American University, TRNC* *Cyprus Aydin University, TRNC*	**THE IMPACT OF BEHAVIORAL FINDINGS ON THE LEGAL SUBJECT: THE TRANSFORMATION OF LEGAL THOUGHT**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-4
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Sofia KEROUAD

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sumayya AKRAM Prof. Dr. Matloob AHMAD Dr. Sana ASLAM	*Government College University Faisalabad, Pakistan* *Government College Women University Faisalabad, Pakistan*	**DESIGN, SYNTHESIS, IN SILICO AND IN VITRO UREASE INHIBITION STUDIES OF PYRIDYLPIPERAZINE-BASED CARBODITHIOATES**
El Mostafa BENHARAF Ali BARHOUMI Ahmed MOUFTI Mohamed TAOUFIK Mohammed CHAFI Abdellah ZEROUAL Mohammed EL IDRISSI	*Sultan Moulay Slimane University* *Hassan II University of Casablanca* *Chouaib Doukkali University, Morocco*	**COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF NOVEL ORGANIC PHOTOSENSITIZERS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS: ELECTRONIC AND OPTICAL INSIGHTS**
Shahzaib KHAN Muhammad USMAN	*Government College University Faisalabad, Pakistan*	**DESIGNING STRONTIUM ALUMINATE-REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOHYBRID FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES**
Muhammad MOEEZ Ansar RAFEEQ	*Government Graduate College for Boys, Pakistan*	**ELEMENTALLY DOPED BIOMASS-DERIVED ACTIVATED CARBON (SM-DOPED MSAC) FOR ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE**
Dr. Sofia KEROUAD	*School of Technology, Beni Mellal, Morocco*	**BIOSYNTHESIS OF MGFE2O4 NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACT FOR EFFICIENT LEAD AND MERCURY REMOVAL FROM WATER: ADSORPTION ISOTHERMS, KINETICS, REGENERATION PERFORMANCE AND DFT STUDIES**
Assoc. Prof. Lolakhon ETTIBAEVA Prof. Dr. Ruhan BENLİKAYA Asst. Prof. Dr. Pınar GÜNER Prof. Dr. Aylin ER	*Gulistan State University, Uzbekistan* *Balıkesir University, Türkiye*	**SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND MULTIMODAL BIOACTIVITY ANALYSIS OF MENTHOL LYSINATE**
Khilola ABDUSHUKUROVA Prof. Dr. Ruhan BENLİKAYA Assoc. Prof. Dr. Zürriye GÜNDÜZ	*Gulistan State University, Uzbekistan* *Balıkesir University, Türkiye*	**SYNTHESIS AND SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF RAGOSIN WITH TRISODIUM SALT OF GLYCYRRHIZIC ACID**
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	*National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Romania*	**MOLECULAR ENCAPSULATION: FROM FUNDAMENTAL PRINCIPLES TO EVERYDAY APPLICATIONS**
Ravana GULIYEVA Dr. Nigar ALIYEVA Dr. Fidan MAMMADOVA Aysel RUSTAMOVA Dr. Shabnam ALIYEVA Narmin MAMMADOVA	*Baku State University, Azerbaijan*	**CHEMICAL DIVERSITY OF ENDOPHYTIC FUNGI ASSOCIATED WITH MEDICINAL PLANTS: A HIDDEN SOURCE OF DRUG CANDIDATES**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-5
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Major Gheorghe GIURGIU

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Major Gheorghe GIURGIU Prof. Dr. Manole COJOCARU	*Deniplant-Aide Sante Medical Center, Academy of Romanian Scientists, Romania*	**OPTIMIZING OUTCOMES IN PSORIASIS: IMPACT OF DENIPLANT NUTRACEUTICALS**
MOSTEFAOUI Leila HADJARI Mohammed Khaladi Hadj Mostafa	*Mustapha Stambouli University of Mascara, Algeria*	**ASSOCIATION BETWEEN SGLT2 INHIBITOR THERAPY AND CARDIOVASCULAR BIOMARKERS IN PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME**
Prof. Dr. Yelyzaveta SIRCHAK Dr. Ivan VASHCHENKO Asst. Prof. Ivan PUSHKASH Asst. Prof. Vasyl BARANI Dr. Stepan SIRCHAK Asst. Prof. Stanislav TSOIKA	*Uzhgorod National University, Ukraine* *Hospital of St. Martin, Ukraine*	**NON-INVASIVE DISGNOSIS OF HEPATIC STEATOSIS IN PATIENTS WITH METABOLIC DYSFUNCTION-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE AFTER CHOLECYSTECTOMY**
Prof. Dr. Yelyzaveta SIRCHAK Victoriya CHENDEY Aliona STOIKA Asst. Prof. Taras CHENDEY Dr. Monika MAROSHAN	*Uzhgorod National University, Ukraine* *Center for Pulmonary Diseases, Ukraine*	**THE LEVEL OF B VITAMINS AND HOMOCYSTEINE IN PATIENTS WITH METABOLIC-ASSOCIATED STEATOTIC LIVER DISEASE AND CARDIOVASCULAR SYSTEM DAMAGE**
Prof. Dr. Yelyzaveta SIRCHAK Andrea ANDRIICHUK Irina SMOLANKA Asst. Prof. Ivan LEMKO Asst. Prof. Michaylo STAN Dr. Dmytro DUBOVENKO	*Uzhgorod National University, Ukraine*	**PSYCHOSOMATIC FEATURES AND THEIR RELATIONSHIP WITH INDICATORS OF LIVER FUNCTION IN PATIENTS WITH AUTOIMMUNE THYROIDITIS AND METABOLIC-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE**
Bhawana GUPTA Mansi MAURYA	*Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Department of Physiotherapy, India*	**COMPREHENSIVE REHABILITATION APPROACHES FOR WOMEN ACROSS THE LIFESPAN: FROM ADOLESCENCE TO POST-MENOPAUSE**
Barakah A. MASUUD Kafayah A. JIDDAH	*University of Ilorin, Nigeria*	**KNOWLEDGE AND PRACTICE OF PERSONAL HYGIENE TOWARDS CHOLERA PREVENTION AND CONTROL AMONG RESIDENTS OF OSIN COMMUNITY, ILORIN WEST LGA, KWARA STATE**
El Houssain MAROUANI Fatima ECHARHABILI Soad EL ABBDI Prof. Brahim EL HOUATE Abdessamad MOUHSSINE Adnane HAKEM Prof. Abdelaati EL KHIAT Prof. Omar EL HIBA	*Chouaib Doukkali University Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques Chouaib Doukkali University, Morocco*	**SOCIO-DEMOGRAPHIC VULNERABILITY AND HEALTHCARE ACCESS AMONG DIALYSIS PATIENTS: IMPLICATIONS FOR NEPHROTOXIC RISK IN OUARZAZATE PROVINCE, MOROCCO**
Viviane DASILVA Franciele MAFTUM	*University of Parma, Department of Medicine and Surgery, Italy* *ChangeMinds, Brazil*	**DEEP QEEG AS AN OBJECTIVE SUPPORT FOR TRANSDIAGNOSTIC DIFFERENTIAL ASSESSMENT ACROSS ANXIETY, BURNOUT, AND DEPRESSION: A PROPOSED FRAMEWORK AND VALIDATION PROTOCOL CROSS-REFERENCED AGAINST ESTABLISHED PSYCHOMETRICS**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-6**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Diyana ZHELYAZKOVA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Diyana ZHELYAZKOVA Dobromira SHOPOVA Svetlin ALEKSANDROV Maria HRISTOZOVA	*Medical University-Plovdiv, Bulgaria*	**INCOMPLETE SURFACE ACQUISITION DURING EXTRAORAL SCANNING OF DENTAL IMPRESSIONS: CONTRIBUTING FACTORS AND CLINICAL RELEVANCE — A NARRATIVE REVIEW WITH ILLUSTRATIVE LABORATORY OBSERVATIONS**
Maria HRISTOZOVA Diyana ZHELYAZKOVA Dobromira SHOPOVA	*Medical University-Plovdiv,Bulgaria*	**FACE-GUIDED DIGITAL DIAGNOSTIC WAX-UP FOR INDIVIDUALIZED AESTHETIC PROSTHETIC REHABILITATION**
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	*National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Romania*	**ENZYMATIC STRATEGIES IN MEAT PROCESSING: FROM TENDERIZATION TO BYPRODUCT VALORIZATION**
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	*National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Romania*	**CONJUGATED MICROPOROUS POLYMERS: SYNTHESIS, PROPERTIES AND EMERGING APPLICATIONS**
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	*National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Romania*	**POLYSACCHARIDES IN COSMETOLOGY: NATURAL MATERIALS FOR ADVANCED AND SUSTAINABLE FORMULATIONS**
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	*National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Romania*	**BEYOND NUTRITIONAL VALUE: TOXIC COMPOUNDS IN MUSHROOMS AND THEIR RISKS TO HUMAN HEALTH**
Reda CHAHIR Océane PERTEGAZ Salma CHAKIR Noureddine HAMMANI Hinde AASSILA Marie POTIER-CARTEREAU Naoual OUKKACHE	*Pasteur Institute of Morocco; Hassan I University, Morocco* *INSERM, France* *Pasteur Institute of Morocco, Morocco* *Hassan I University, Morocco*	**VENOM PEPTIDOME OF ANDROCTONUS MAURITANICUS AND NAJA HAJE: LC-MS/MS PROTEOMIC PROFILING, ANTIPROLIFERATIVE AND ANTIMIGRATORY ACTIVITIES, AND TRANSCRIPTIONAL REGULATION OF ION CHANNELS IN HUMAN GLIOBLASTOMA CELL LINES**
Bukurie HYSENI Assoc. Prof. Adrian HOXHA	*University of Medicine, Albania* *University of Medicine, Albania*	**NUTRITION-MENTAL HEALTH AWARENESS AND SCHOOL-BASED SUPPORT AMONG ALBANIAN ADOLESCENTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-1
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Melek Gökmen KARAKAYA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Dr. İsmail Aykut KARAMANLI	*Yozgat Bozok University, Türkiye*	**THE EFFECT OF INFILL PATTERN ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, ABSORBED ENERGY AND SURFACE HARDNESS OF ADDITIVELY MANUFACTURED PLA SAMPLES**
Sevil DURSUN	*Oyak Renault Automobile Factories, Türkiye*	**DIGITAL TWIN-BASED MULTIPHYSICS MONITORING OF THE FDM PROCESS**
Asst. Prof. Dr. Sevda ŞİMŞEK UZUN Asst. Prof. Dr. Kürşat TANRIVER Diyar Can AYDIN	*Istanbul Health and Technology University, Türkiye*	**CFD ANALYSIS OF COUNTERFLOW CHANNEL TYPE HEAT EXCHANGERS**
Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR Prof. Dr. Tuba YETİM	*Erzurum Technical University, Türkiye* *Erzurum Technical University, Türkiye*	**EVALUATION OF SURFACE HARDNESS, TOPOGRAPHY, AND SCRATCH BEHAVIOR OF SOL-GEL DIP-COATED COO CERAMIC COATINGS ON LPBF-FABRICATED TI6AL4V ALLOY FOR AEROSPACE APPLICATIONS**
Asst. Prof. Dr. Tarık GÜNEŞ Res. Asst. Tolunay DAĞ	*İskenderun Technical University, Türkiye*	**MAINTENANCE CHALLENGES IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: A CONCEPTUAL REVIEW**
Res. Asst. Tolunay DAĞ Asst. Prof. Dr. Tarık GÜNEŞ	*İskenderun Technical University, Türkiye*	**HUMAN FACTORS IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS**
Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV Aydan MAMMADOVA Res. Asst. Nisanur YILDIRAN	*Inonu University, Türkiye* *National Aviation Academy, Azerbaijan*	**PURIFICATION OF INDUSTRIAL FLUIDS THROUGH MAGNETIC FILTRATION: ANALYSIS OF PARTICLE CAPTURE IN PERMANENT MAGNET FILTERS**
Mahmut Can YALINKILIÇ	*Yıldız Technical University, Department of Industrial Engineering, Türkiye*	**SALES FORECASTING FOR PRODUCTION PLANNING USING REAL SALES DATA WITH THE PROPHET MODEL: AN APPLICATION IN AN ELECTRONICS MANUFACTURING COMPANY**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-2
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Nurcan AKBAŞ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Asst. Prof. Dr. Mehmet KAYSERİLİ Asst. Prof. Dr. Şerif YÜKSEL	*Istanbul Kültür University, Türkiye*	**THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON TURKEY'S INTERNATIONAL TRADE WITH THE EU AND BRICS+ COUNTRIES**
Dr. Fatimah AL-FARISEE Ezoza NASRİDDİNOVA	*Karabuk University, Türkiye*	**THE IMPACT OF CYBER RISKS ON THE FINANCIAL PERFORMANCE OF ISLAMIC BANKS: THE ROLE OF PUBLIC RELATIONS IN CYBER CRISIS MANAGEMENT AND ENHANCING INSTITUTIONAL TRUST – AN ANALYTICAL STUDY**
Prof. Dr. Mert TOPCU	*Alanya Alaaddin Keykubat University, Türkiye*	**GOVERNMENT EFFECTIVENESS AND GROWTH IN ADVANCED COUNTRIES**
Prof. Dr. Mert TOPCU	*Alanya Alaaddin Keykubat University, Türkiye*	**URBANIZATION AND GOVERNMENT EXPENDITURE IN DEVELOPED COUNTRIES**
Prof. Dr. Ahmet Niyazi ÖZKER	*Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye*	**FISCAL SUSTAINABILITY AND FISCAL SPACE IN TÜRKİYE: CURRENT CHALLENGES AND POLICY OPTIONS**
Assoc. Prof. Dr. Meltem KESKİN	*Ankara Yıldırım Beyazıt University, School of Health Sciences, Türkiye*	**FINANCIAL SUSTAINABILITY IN PROFESSIONAL FOOTBALL CLUBS: AN EVALUATION OF THE DUTCH FOOTBALL MODEL**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-3
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Lecturer Dr. Recep BOZKURT

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Asst. Prof. Dr. Merve ERDEM	*Maltepe University, Türkiye*	**THE ETHICAL DIMENSIONS OF OFF-LABEL DRUG USE AND THE RESEARCH GAP IN TÜRKİYE**
Asst. Prof. Dr. Kemal Ozan LÜLE	*Gaziantep University, Türkiye*	**FROM RDW-CV TO RDW-SD: GLOBAL RESEARCH TRENDS, METHODOLOGICAL REPORTING, AND CLINICAL APPLICATIONS OF RED CELL DISTRIBUTION WIDTH IN CARDIOMETABOLIC DISEASES**
Dr. Özge ÖZSOY Asst. Prof. Dr. Nezihe OTAY LÜLE	*Araban State Hospital, Türkiye* *Gaziantep University, Türkiye*	**NAFLD AND MASLD AND THE MEDITERRANEAN DIET: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS OF GLOBAL RESEARCH TRENDS**
Gökçe Deniz ACAR Burak ERSEN Prof. Dr. Ahmet KOLUMAN	*ASELSANNET, Türkiye* *Pamukkale University, Türkiye*	**MICROBIAL RISK ASSESSMENT: CONVENTIONAL APPROACHES VS. MACHINE LEARNING AND THEIR IMPACT ON PREDICTIVE MICROBIOLOGY**
Sarah ANJAM Lina Zeyad Tareq ALHAKEEM Prof. Dr. Mehmet ÖZTÜRK	*Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye* *Al-Farahidi University, Iraq*	**IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM B14: FUNCTIONAL CHARACTERIZATION AND ANTIMICROBIAL PROFILING**
Sarah ANJAM Marwah Mahmood Abdulrazzaq AL-JANABI Prof. Dr. Mehmet ÖZTÜRK	*Bolu Abant İzzet Baysal University, Türkiye* *Al-Farahidi University, Iraq*	**IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTOBACILLUS GASSERI ATCC 33323**
Asst. Prof. Zeliha KESKİN ALKAÇ	*Fırat University, Türkiye*	**DETERMINATION OF AFLATOXIN B1 CONTAMINATION IN PISTACHIOS PRODUCED IN TÜRKİYE**
Dr. Hayat AYAZ Assoc. Prof. Dr. Fırat AŞIR	*Dicle University, Türkiye*	**MICRO- AND NANOPLASTICS AND HUMAN HEALTH: SYSTEMIC BIODISTRIBUTION AND TARGET ORGANS**
Prof. Dr. Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ Dr. Mutlu Can ASLANPAY	*Gaziantep University, Türkiye* *Gaziantep University, DOSAP Research Center, Türkiye*	**SYSTEMS BIOLOGY-BASED ANALYSIS OF GENE EXPRESSION CHANGES IN CELL FUSION**

ONLINE SESSION ◆29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-4
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Rabar Mohammed HUSSEIN

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Dr. Soufiane ZIANI Driss KHATTACH	*Mohammed First University, Morocco*	**DEEP STRUCTURE AND TECTONIC GEOMETRY OF THE SOUTHERN GIBRALTAR ARC (RIF BELT, MOROCCO): INSIGHTS FROM GRAVITY AND AEROMAGNETIC DATA**
Mounir BOUTARBOUCH Khadija EL-MOUSTAQIM Jamal MABROUKI	*Mohammed V University of Rabat, Ibn Tofaïl University, Mohammed V University in Rabat, Morocco*	**ELECTROCHEMICAL ADVANCED OXIDATION PROCESSES COUPLED WITH BIOLOGICAL TREATMENTS FOR THE REMOVAL OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER: A CRITICAL REVIEW**
Aamir MUNIR	*Geo Spatial Innovations (Pvt.) Ltd., Pakistan*	**ADVANCING NATURAL SCIENCES THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GEOSPATIAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**
Dr. Rabar Mohammed HUSSEIN	*Noble Technical Institute, Iraq*	**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON FRESHWATER ECOSYSTEMS IN THE KURDISTAN REGION, IRAQ**
Dr. Ayesha BATOOL Hafsa NAEEM Zainab FATIMA Tawseef KHAN	*University of Agriculture Faisalabad, Progressive Climate Foundation (PCF), Pakistan*	**CLIMATE CHANGE AND PLASTIC POLLUTION: A SHARED ORIGIN, A SHARED SOLUTION**
Fatima-Ezzahra JAAYEFAR Jamila DAHMANI	*Ibn Tofail University, Morocco*	**DATA CAPITALIZATION ON BORAGO OFFICINALIS: PHYTOCHEMICAL COMPOSITION, BOTANICAL CHARACTERISTICS, AND PHARMACOLOGICAL ACTIVITIES**
Oussama MAHMOUDI	*Mohamed-Cherif Messaadia University, Algeria*	**ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ANIMAL PRODUCTION: MECHANISMS, SELECTIVE PRESSURES, AND MITIGATION STRATEGIES WITHIN THE ONE HEALTH FRAMEWORK**
Bellil DASSINE Gharout-Sait ALIMA Djoudi FERHAT Bellil ZAHRA Mendil OUIDAD Manseur LYTICIA Dib-Sait SABRINA	*University of Bejaia, Algeria*	**MYCOBACTERIUM SPP. ASSOCIATED WITH BARBARY MACAQUE**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-5
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Prof. Sanae HANINE

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Prof. Sanae HANINE	*Hassan I University, Morocco*	**THE TRANSITION TO CLEAN ENERGY: GEOPOLITICAL IMPLICATIONS**
Faiza BAGHIDA Mourad BOUGHRARA Mohamed KEROUAD	*Moulay Ismail University, Morocco*	**INVESTIGATION OF VACANCY DEFECTS IN CU, SE, AND CUI-BASED MATERIALS: A FIRST-PRINCIPLES STUDY**
Asst. Prof. Sudhangshu CHAKRABORTY Mun MAJUMDER	*Asansol Engineering College, India*	**DESIGN AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A PZT-BASED PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING SYSTEM FOR HUMAN FOOTSTEP POWER GENERATION**
Ismail LAGRINI Mohamed BENCHEIKH	*Hassan II University of Casablanca, Morocco*	**IMPACT OF FLATTENING FILTER REMOVAL AND SECONDARY COLLIMATOR ON THE ENERGETIC PROPERTIES OF A 6 MV PHOTON BEAM USING MONTE CARLO SIMULATION**
I. G. SAIDU Umar ZANGINA	*Usmanu Danfodiyo University, Nigeria*	**DYNAMIC MODELING AND SIMULATION OF A THREE-PHASE INDUCTION MOTOR USING A MATLAB/SIMULINK S-FUNCTION**
Umar ZANGINA I. G. SAIDU	*Usmanu Danfodiyo University, Nigeria*	**RISK-AWARE REINFORCEMENT LEARNING–MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR DYNAMIC PESTICIDE ROUTING IN PRECISION AGRICULTURE**
Muhammad Zaky Rizqullah NURROSIDI Mahros DARSI	*University of Jember, Indonesia*	**THE EFFECT OF CHOPPER BLADE PATTERNS ON THE PERFORMANCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHOPPER MACHINE**
Falah Fatima ZAHRA Hamdane HASNA El. Ghailassi TOURIA	*Hassan II University of Casablanca; National Center of Science,Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco*	**MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMERS FOR RADIATION PROTECTION**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-2 · Hall-6
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 12:30 – 14:30 · Tokyo: 18:30 – 20:30
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Prof. Daejin PARK

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Umme Habiba	*Aligarh Muslim University, India*	**A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS FRAMEWORK FOR GDP, UNEMPLOYMENT RATE, AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS**
Manel DJEBAILI	*University Larbi Ben M'hidi, Algeria*	**FROM ENERGY ESTIMATES TO STABILITY IN NONLINEAR FRACTIONAL EVOLUTION PROBLEMS**
Asst. Prof. Sathyamoorthy SIVASANKARI Assoc. Prof. Vembu ANANTHASWAMY Asst. Prof. Moorthy SUBHA	*The Madura College, India* *Fatima College, India*	**APPLICATION OF NEW APPROXIMATE ANALYTICAL METHOD FOR SOLVING OSCILLATOR EQUATIONS IN PHYSICAL SCIENCES**
Jeya Kumar ANANTHA JOTHI Assoc. Prof. Vembu ANANTHASWAMY Asst. Prof. Moorthy SUBHA	*The Madura College, India* *Fatima College, India*	**A MATHEMATICAL ANALYSIS OF DYNAMIC SIR EPIDEMIOLOGICAL MODEL**
Prof. Daejin PARK	*Kyungpook National University, Republic of Korea*	**HW/SW CO-DESIGN, LLVM, HARDWARE-PERFORMANCE-MANAGEMENT, RUNTIME TUNING**
Sarra Djihane SEBAA Prof. Mustapha BOUAKKAZ	*Amar Telidji University of Laghouat, Algeria*	**A COMPARATIVE ANALYSIS OF LATE FUSION AND VISION-LANGUAGE PRETRAINING FOR MULTI-LABEL CHEST X-RAY CLASSIFICATION**

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-3 · Hall-1
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 15:00 – 17:00 · Tokyo: 21:00 – 23:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Şükrü OKUL

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Sedat GOLGİYAZ	*Bingöl University, Department of Computer Engineering, Türkiye*	**THREE-CLASS HONEYBEE TOXICITY PREDICTION WITH HETEROGENEOUS VOTING ENSEMBLES: A COMPARATIVE STUDY ON THE APISTOX BENCHMARK**
Gülcan ÖZTÜRK	*Samsun University, Türkiye*	**DISTINGUISHING TRAIT AND STATE CHARACTERISTICS IN MAJOR DEPRESSIVE DISORDER THROUGH SPEECH ANALYSIS: AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACH**
Zişan Cihangir IŞIN Erşan IŞIN Beyşan Tarık IŞIN Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal TOPCU Tamer IŞIN	*Ankara Bilim University* *Ankara University, Türkiye* *ST Strategy and Technology Development Ltd., Türkiye* *IMED Surgical LLC, Türkiye*	**INVESTIGATING THE INVISIBLE RISKS OF CONNECTED AI GOVERNANCE IN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL STANDARDS AND A NEW MODEL PROPOSAL: DECLARATION-CENTRIC AI GOVERNANCE**
Prof. Dr. Hakan ŞİMŞEK Gülfem KIZILTAN	*Antalya Bilim University, Türkiye*	**PREDICTIVE ANALYSIS OF AIRLINE OVERBOOKING LEVELS USING A FUZZY LOGIC-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM**
Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kemal TOPCU Zişan Cihangir IŞIN Fatma GEZGİN Erşan IŞIN Beyşan Tarık IŞIN	*ST Strategy and Technology Development Ltd., Türkiye* *Ankara Bilim University, Türkiye* *Ankara University, Türkiye*	**COMPUTER-ASSISTED RING FIXATORS FOR SIX-AXIS DEFORMITY CORRECTION: AN EXAMINATION OF INNOVATION MILESTONES AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION**
Merve GÜLER Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU	*Inonu University, Türkiye*	**A NUMERICAL STUDY USING THE LEAST SQUARES METHOD WITH QUINTIC HERMITE BASIS FUNCTIONS**
Doğan Salih TEPİCİ Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL Assoc. Prof. Dr. Serkan TÜYLÜ Asst. Prof. Dr. İsmail DEMİR	*Istanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye*	**MULTI-CRITERIA DETERMINATION OF EMERGENCY EVACUATION ROUTES IN UNDERGROUND COAL MINES DURING FIRES USING VENTILATION OPTIMIZATION AND THE A* ALGORITHM**
Onur EZGİN Assoc. Prof. Dr. Serkan TÜYLÜ Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL Asst. Prof. Dr. İsmail DEMİR	*Istanbul University-Cerrahpaşa, Türkiye*	**FINANCIAL EVALUATION OF PRODUCTION PLANNING IN A COAL MINE**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-3 · Hall-2
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 15:00 – 17:00 · Tokyo: 21:00 – 23:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Mehmet Mert TUNÇMAN

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Zeynep KAPTAN Prof. Dr. Özlem ATAY	*Ankara University, Türkiye*	**GENDER IN ACADEMIC HIERARCHY: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON THE CAREER AND MANAGEMENT PROCESSES OF FEMALE ACADEMICS IN TÜRKİYE**
Erman GOKMEN Assoc. Prof. Dr. Busra OZDENIZCI KOSE	*Gebze Technical University, Türkiye*	**THE GREEN-DIGITAL LEADERSHIP LANDSCAPE: THEORIES, CAPABILITIES, AND RESEARCH GAPS**
Erman GOKMEN Assoc. Prof. Dr. Busra OZDENIZCI KOSE	*Gebze Technical University, Türkiye*	**NAVIGATING THE TWIN TRANSFORMATION IN SMES: ENABLERS, BARRIERS, AND LEADERSHIP CAPABILITIES**
Asst. Prof. Dr. Uğur ARCAGÖK	*Muş Alparslan University, Türkiye*	**ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN SUSTAINABILITY INDICES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS**
Lect. İlyas Temel ŞAFAK Asst. Prof. Serhat ATA	*Düzce University, Türkiye*	**THE EFFECTS OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM ON CORPORATE BRAND REPUTATION: A REVIEW BASED ON CURRENT LITERATURE**
Lect. İlyas Temel ŞAFAK Asst. Prof. Serhat ATA	*Düzce University, Türkiye*	**FROM GREEN DISCOURSE TO VERIFIED PERFORMANCE: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GREENWASHING RISK, THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM, AND CORPORATE BRAND REPUTATION**
Prof. Dr. Dilek PENPECE DEMİRER	*Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Türkiye*	**UNVEILING WEBSITE FEATURES AND DIGITAL MARKETING STRATEGIES OF ONLINE FOOD DELIVERY PLATFORMS IN TURKEY: A COMPARATIVE CONTENT ANALYSIS**
Lecturer Dr. Tuğba ÖZYILDIZ	*Gaziantep University, Türkiye*	**THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY ON ENTREPRENEURIAL ORIENTATION: A STUDY OF UNIVERSITY STUDENTS**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-3 · Hall-3**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **15:00 – 17:00** · Tokyo: **21:00 – 23:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Nesrin KARATAŞ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Asst. Prof. Dr. Deniz ARSLAN Rabia Sultan DEMIRHAN	*Konya Technical University, Türkiye*	**A REVIEW OF THE EFFECTS OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) ON BITUMEN AND BITUMINOUS MIXTURES**
Asuman Isil CARHOGLU Melis AKFIRAT	*Suleyman Demirel University, Türkiye Civil Engineering, Türkiye*	**STRUCTURAL BEHAVIOR OF AN OFFSHORE STRUCTURE UNDER EARTHQUAKE EFFECTS**
Melike Sultan DUMAN Asst. Prof. Dr. Nilüfer ÜLGÜDÜR Prof. Dr. Emine MALKOÇ	*Düzce University, Türkiye*	**BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS ON THE USE OF FOREST-DERIVED WASTE AS ADSORBENTS**
Dr. Samiratou ABDOULAYE MAMANE Prof. Dr. Ustun SAHIN	*Atatürk University,Türkiye*	**COW MANURE INCREASES THE CHLOROPHYLL CONTENT (SPAD) AND IMPROVES CABBAGE YIELD UNDER FULL AND DEFICIT IRRIGATION**
Dr. Samiratou ABDOULAYE MAMANE Prof. Dr. Ustun SAHIN	*Atatürk University,Türkiye*	**THE EFFECT OF COW MANURE FERTILIZATION ON MEMBRANE DAMAGE DIMINISHED YIELD IN DEFICIT-IRRIGATED WHITE CABBAGE**
Lect. Kamil ÖZTÜRK Dr. Mesut NAMLI	*Artvin Çoruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Center, Türkiye*	**EFFECTS OF PHTHALOCYANINES WITH DIFFERENT METAL CENTERS ON PHYSIOLOGICAL STRESS RESPONSES IN BUCKWHEAT (FAGOPYRUM ESCULENTUM)**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-3 · Hall-4
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 15:00 – 17:00 · Tokyo: 21:00 – 23:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Depy Muhamad PAUZY

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Mulikat Folashade USMAN Jameelah USMAN	*Usmanu Danfodiyo University, Nigeria*	**ASSESSMENT OF THE PROBLEM AND PROSPECTS OF SMALL AND MEDIUM SCALE ENTERPRISES (SMES) IN NIGERIA: A STUDY OF SOME SELECTED SMES IN KADUNA METROPOLIS, KADUNA STATE**
Muhammad IMRAN	*University of Veterinary and Animal Sciences, Pakistan*	**BEYOND ENVIRONMENTAL CONCERN: WHAT DRIVES SUSTAINABLE FASHION CONSUMPTION AMONG GENERATION Z?**
Assoc. Prof. Dr. Depy Muhamad PAUZY Assoc. Prof. Dr. Ristina Siti SUNDARI Hary FIRMANSYAH	*Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Indonesia*	**INTERNAL MARKETING, CUSTOMER ORIENTATION, AND MARKETING PERFORMANCE: A STUDY AT BAMBOO HANDICRAFT**
Murtala Mohammed ALAMAI Fatima ABDULAZEEZ	*The Federal Polytechnic Bauchi, Nigeria*	**MAULUD CELEBRATIONS AS URBAN RELIGIOUS EVENTS IN NIGERIA: CULTURAL DYNAMICS, SIGNIFICANCE, LOGISTICS MANAGEMENT AND CHALLENGES**
Selvije LAJQI Soreja ADZAJLIC Florinda VOKSHI Diana VOKSHI	*University "Haxhi Zeka", Kosovo* *University for Business and Technology (UBT), Kosovo*	**SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN KOSOVO: CHALLENGES, INNOVATION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PEJA AND RUGOVA**
Dr. Obeten B. UKABI Adanna R. OKEKE Igoche JOHN Dr. Godwin E. AGBOR Ollawa Onyejiuwaka CHRISTIANA Oloyede Aduragbemi MOSES	*Federal College of Education Technical Isu, Nigeria* *University of Calabar, Nigeria*	**YOUTH-CENTRED AGRICULTURAL INITIATIVES AND ICT SKILLS ACQUISITION PROGRAMMES AS DUAL PATH-WAYS FOR SUSTAINABLE POVERTY REDUCTION IN CROSS RIVER STATE, NIGERIA**
Asst. Prof. Santi SUSANTI Assoc. Prof. Susi INDRIANI Prof. Dr. Saparuddin MUKHTAR Asst. Prof. Dwi Kismayanti RESPATI	*Universitas Negeri Jakarta, Indonesia*	**ENHANCING VOCATIONAL ACCOUNTING TEACHERS' COMPETENCE IN DEVELOPING CO-CURRICULAR MODULES AND DIGITAL DASHBOARD-BASED FINANCIAL STATEMENT VISUALIZATION: A COMMUNITY SERVICE PROGRAM**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-3 · Hall-5
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 15:00 – 17:00 · Tokyo: 21:00 – 23:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Dilshoda MUBARAKOVA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Assoc. Prof. Dr. Dilshoda MUBARAKOVA	*Tashkent State University of Journalism and Communications, Uzbekistan*	**CULTURAL LANGUAGE EDUCATION AND INSTITUTIONS: CURRENT TRENDS**
Yasmine Al GHARIB Prof. Naim El ROUADI	*Saint Joseph University of Beirut, Lebanon*	**HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS (HEIS) AS A CATALYST FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: FOCUS ON UNIVERSITY COMMUNITY ENGAGEMENT (UCE) TO ACHIEVE SOCIAL INNOVATION**
Asst. Prof. Vandana Gaur VASHISHT	*SCERT Delhi, India*	**EFFECTIVENESS OF A STRUCTURED MULTISENSORY READING INTERVENTION (JUMP–READ) ON FOUNDATIONAL ENGLISH READING SKILLS OF GRADE III LEARNERS IN DELHI GOVERNMENT SCHOOLS: A QUASI-EXPERIMENTAL STUDY**
Dr. Aminu GARBA Mohammed MUSA Ahmed Abdullahi BARKUTA Abdulrahman JIMADA	*Ibrahim Badamasi Babangida University, Nigeria* *Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Nigeria*	**IMPACT OF TEACHERS' MOTIVATION ON THE JOB PERFORMANCE OF PRIMARY SCHOOL TEACHERS IN CHANCHAGA LOCAL GOVERNMENT AREA OF NIGER STATE, NIGERIA**
SALAMI Amadou SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée	*University of Kindia, Republic of Guinea* *University of Abomey-Calavi, Republic of Benin*	**EFL TEACHING LEARNING AND EVALUATION IN BENIN SECONDARY SCHOOLS IN TIME OF CRISIS**
Abosede Temitope OMONIYI	*University of Ibadan, Nigeria*	**EFFECTS OF MULTIMODAL ANNOTATION AND PERFORMANCE CIRCLE INSTRUCTIONAL STRATEGIES ON SENIOR SECONDARY STUDENTS' COMPREHENSION AND APPRECIATION OF POETIC LITERATURE-IN-ENGLISH IN IBADAN METROPOLIS, NIGERIA**
Mohd Shahbaz KHAN Assoc. Prof. Dr. Sameer Babu M	*Jamia Millia Islamia, India*	**NEEDS ANALYSIS FOR ESP CURRICULUM DEVELOPMENT IN ENGINEERING EDUCATION**
Ibrahim Adamu USMAN Muhammad Musa SAMBO Mahmud Moshood MUSA	*Aliko Dangote University of Science and Technology, Nigeria*	**DIGITAL TRANSFORMATION AND E-LEARNING IN TVET IN NORTH-WEST UNIVERSITIES IN NIGERIA**
Afshan NASEEM Muhammad Ahmad RAMAY	*University of Management and Technology, Pakistan*	**BRIDGING THE DIVIDE: AVAILABILITY AND UTILIZATION OF MATHEMATICS-FOCUSED STEM RESOURCES IN SECONDARY SCHOOLS OF PAKISTAN**

ONLINE SESSION ◆ 29 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-3 · Hall-6**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **15:00 – 17:00** · Tokyo: **21:00 – 23:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Josiane EL KHOURY

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Prof. Dr. Ananda MAJUMDAR	*Harvard University, United States*	**PERFORMING AUTHORITY: ELITE POWER, REPRESENTATION, AND EXCHANGE IN EARLY MODERN EUROPE**
Prof. Dr. Ananda MAJUMDAR	*Harvard University, United States*	**THE ROLE OF RELIGION IN DEVELOPMENT OUTCOMES IN EMERGING ECONOMIES**
Dr. Parrakal Satishchandra MENON Dr. Senbagavalli M	*SRM Institute of Science and Technology, India* *Alliance University, India*	**DEVASTATION DUE TO EARTHQUAKE IN THE NORTHWESTERN AND CENTRAL VENEZUELA DURING JUNE 2026 AND ITS CONSEQUENCES IN THE MINDFULNESS OF THE CITIZENS**
Assoc. Prof. Dr. Josiane EL KHOURY	*University of Balamand, Lebanon*	**CONSTRUCTING WOMANHOOD IN LEBANESE JEWELRY ADVERTISING: CELEBRITY ENDORSEMENT VERSUS EMOTIONAL BRANDING**
Laila MRABTI Said ZERRAD Fedwa NEJJAR Hakima ELHATRI	*Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Fez, Morocco* *Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco*	**BARRIERS TO VOLUNTEERING AMONG SOCIAL WORKERS IN THE HEALTH SECTOR: A QUALITATIVE STUDY FROM MOROCCO**
Dr. Petra ANDITS	*Slovak Academy of Sciences, Slovakia*	**EXCESS AS AN ENGINE: FACEBOOK COMMENT LOGORRHEA AND THE PRODUCTION OF HYPERBOLE—A DISCOURSE ANALYSIS OF HUNGARIAN POLITICAL THREADS**
Dr. Nasiru MUSA	*Federal College of Horticulture Dadin Kowa, Nigeria*	**SLANG AND ITS IMPLICATION TOWARDS EFFECTIVE COMMUNICATION**
Dr. Zuliza Mohd KUSRIN	*National University of Malaysia (UKM), Malaysia*	**LEGAL LITERACY BEFORE MARRIAGE: RETHINKING PREMARITAL EDUCATION IN MALAYSIA**
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin KALGI	*Ardahan University, Türkiye*	**A SOCIO-PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF THE RELIGIOUS PERCEPTIONS OF JA'FARIS**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-1**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Lecturer Şeyma ARVAS

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Asst. Prof. Dr. Alper EYİNÇ Şifanur KILIÇ Derya ALTIN İsminaz Şifa KAYA Assoc. Prof. Dr. Esin SEZGİN	*Afyon Kocatepe University, Türkiye*	**EXAMINING THE RELATIONSHIP BETWEEN CHILDREN'S EMOTION EXPRESSION SKILLS AND PARENTAL ATTITUDES**
Asst. Prof. Dr. Alper EYİNÇ Assoc. Prof. Dr. Esin SEZGİN	*Afyon Kocatepe University, Türkiye*	**THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL ACHIEVEMENT GOALS AND EMOTION REGULATION AMONG HIGH SCHOOL SENIORS**
Asst. Prof. Dr. Hakan POLAT Assoc. Prof. Dr. Burak MENEK	*SANKO University, Türkiye* *Istanbul Medipol University, , Türkiye*	**EFFECTS OF PERCUSSION MASSAGE THERAPY ON MUSCLE MECHANICAL PROPERTIES, FUNCTIONAL MOBILITY, BALANCE, AND JOINT POSITION SENSE IN INDIVIDUALS WITH CHRONIC POST-STROKE SPASTICITY: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL**
Lecturer Zuhal KAYA	*Haliç University, Vocational School, Türkiye*	**EXAMINATION OF WEBSITE FEATURES OF PUBLIC AND PRIVATE HOSPITALS: A STUDY IN AFYONKARAHİSAR PROVINCE**
Gizem BÜYÜKÖNDER Assoc. Prof. Dr. Mümüne Merve PARLAK	*Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye*	**EVALUATION OF YOUTUBE VIDEOS ON SPEECH AND LANGUAGE IN ALZHEIMER'S DISEASE: A METHODOLOGICAL STUDY**
Belkıs Şule GÜNDÜZ Asst. Prof. Dr. Seda KARAÇAY YIKAR Prof. Dr. Evşen NAZİK	*Çukurova University, Institute of Health Sciences, Türkiye*	**PERINATOLOGY AND PATIENT SAFETY**
Belkıs Şule GÜNDÜZ Asst. Prof. Dr. Seda KARAÇAY YIKAR Prof. Dr. Evşen NAZİK	*Çukurova University, Institute of Health Sciences, Türkiye*	**EVIDENCE-BASED PRACTICES IN ACTIVE MANAGEMENT OF CHILDBIRTH**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-2**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Mustafa EKEN

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Assoc. Prof. Dr. Pınar AKARÇAY Asst. Prof. Dr. Besime YÜCEL	*Istanbul University, Türkiye* *Izmir Katip Celebi University, Türkiye*	**INTERSECTING DYNAMICS OF SPATIAL VIOLENCE: URBICIDE AND CULTURAL GENOCIDE IN SARAJEVO AND MOSTAR**
Assoc. Prof. Dr. Pınar AKARÇAY Asst. Prof. Dr. Besime YÜCEL	*Istanbul University, Türkiye* *Izmir Katip Celebi University, Türkiye*	**URBICIDE IN UKRAINE: SYSTEMATIC URBAN DESTRUCTION AS A WAR STRATEGY**
Zeynep DURSUN	*Uludag University, Türkiye*	**AHISKA TURKS: FROM EXILE TO FERGANA**
Prof. Dr. Adnan Bülent BALOĞLU Tamer IŞIN	*Ankara Hacı Bayram Veli University, Türkiye* *IMED Surgical LLC, Türkiye*	**THE RELIGION OF THE CITY: A HISTORICAL AND CONCEPTUAL ANALYSIS OF CITIES THAT TRANSFORM RELIGIONS AND RELIGIONS THAT TRANSFORM CITIES**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-3**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Rukiye KARADENİZ

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Asst. Prof. Dr. Ferhat ATİK	*Girne American University, Turkish Republic of Northern Cyprus*	**DIGITAL MANIFESTATION: RECONSTRUCTING VISIBILITY AND TRUTH THROUGH SUFI THEOPHANY IN DATA REGIMES**
Prof. Dr. Onur ER Betül Sude BATMAN	*Duzce University, Türkiye*	**THE EXAMPLE OF "BARBIE'S DREAMHOUSE" IN THE CONTEXT OF SEMIOTICS: THE PERCEPTION OF BEAUTY IN MEDIA AIMED AT CHILDREN**
Asst. Prof. Dr. Ferhat ATİK	*Girne American University, TRNC*	**AFFECTIVE EROSION IN DIGITAL NEWS CONSUMPTION: DESENSITIZATION TO IMAGES OF DISASTER, WAR, AND CRISIS**
Assoc. Prof. Dr. Hacer AKER Dr. Salih KESKİN	*Selçuk University, Türkiye*	**WHOSE STORY, WHOSE BODY? NARRATIVE PERSONHOOD AND THE ERASURE OF VICTIMS IN SERIAL KILLER CINEMA**
Assoc. Prof. Dr. Hacer AKER Dr. Salih KESKİN	*Selçuk University, Department of Radio, Television and Cinema, Türkiye*	**CAN THE UNFORGIVABLE BE FORGIVEN? ACID VIOLENCE, QISAS, AND THE ETHICS OF THE WOUNDED FACE IN IRANIAN CINEMA**
Assoc. Prof. Dr. Mine ARTU MUTLUGÜN	*Bursa Uludağ University, Türkiye*	**ENTROPIC POST-MEDDAH: THE DIGITAL CONSTRUCTION OF STORYTELLING IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE ENTROPIC TRANSFORMATION OF CULTURE**
Meryem CİN Assoc. Prof. Dr. Hatice BAHATTİN CEYLAN	*Sinop University, Türkiye*	**AI-ASSISTED VISUAL NARRATIVE DESIGN IN GRAPHIC DESIGN: PRODUCING A SHORT FILM FROM HISTORICAL PHOTOGRAPHS**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-4
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Sabina LACHOWICZ-WIŚNIEWSKA

AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Stella Suanu Leh-Togi ZOBEASHIA Olabisi Peter ABIOYE Udeme Joshua Josiah IJAH Oluwafemi Adebayo OYEWOLE	*National Biotechnology Development Agency, Nigeria* *Federal University of Technology Minna, Nigeria*	**MICROBIAL DYNAMICS-DRIVEN OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION SYSTEMS**
Mahwish SALMAN	*Government College University Faisalabad, Pakistan*	**ECO-FRIENDLY ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA TO ALLEVIATE DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS**
Asst. Prof. Thoraya DAHMANE Asst. Prof. Zakia KACI Asst. Prof. Ali AROUS Asst. Prof. Taher KARAHACANE	*Djilali Bounaama University, Algeria*	**INVENTORY OF MEDICINAL PLANTS IN THE AZAZGA REGION (TIZI-OUZOU)**
Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Oluwadamilola Peace AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI	*Lagos State University of Education, Nigeria* *Federal University of Agriculture Abeokuta, Nigeria* *Obafemi Awolowo University, Nigeria*	**ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED GENOMIC SEQUENCING FOR PRECISION DETECTION AND PREDICTION OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN VETERINARY PATHOGENS**
Onuoha L. U. Adiele P. N. U. KALU Atasie C. N. Onwuka U. R.	*Michael Okpara University of Agriculture, Nigeria* *Abia State Agricultural Development, Nigeria*	**EFFECT OF PARTICIPATORY TRAINING ON FARMERS' KNOWLEDGE AND ADOPTION OF VEGETABLE VALUE ADDITION TECHNOLOGIES**
Akpan Christopher ANIEKEN Uduigwome Comfort UZUANJEMEN	*Federal College of Education (Technical) Ekiadolor, Nigeria*	**EMERGING ISSUES IN IMPLEMENTING ANIMAL HUSBANDRY AS TRADE/ENTREPRENEURSHIP SUBJECT IN SENIOR SECONDARY SCHOOLS IN EDO STATE, NIGERIA**
Ion PETRE Flavia BARNA Miruna Lucia NACHESCU Razvan BOBORA Daian Ionel POPA Tiberiu BULEU Cristian PETRE	*"Victor Babeş" University of Medicine and Pharmacy Timişoara, Romania* *West University of Timişoara, Romania*	**ARTIFICIAL INTELLIGENCE–DRIVEN PREDICTION OF TREATMENT-RELATED HEMATOLOGIC CHANGES IN STAGE III CERVICAL CANCER**
Assoc. Prof. Sabina LACHOWICZ-WIŚNIEWSKA Dr. Agata KOTOWSKA Anna MILLER	*University of Kalisz, Poland* *University of Rzeszów, Poland*	**MULTIMORBIDITY AND DIET QUALITY AMONG OLDER ADULTS ATTENDING UNIVERSITIES OF THE THIRD AGE IN POLAND**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	**Session-1 · Hall-5**
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: **10:00 – 12:00** · Tokyo: **16:00 – 18:00**
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Dr. Flora GJONI

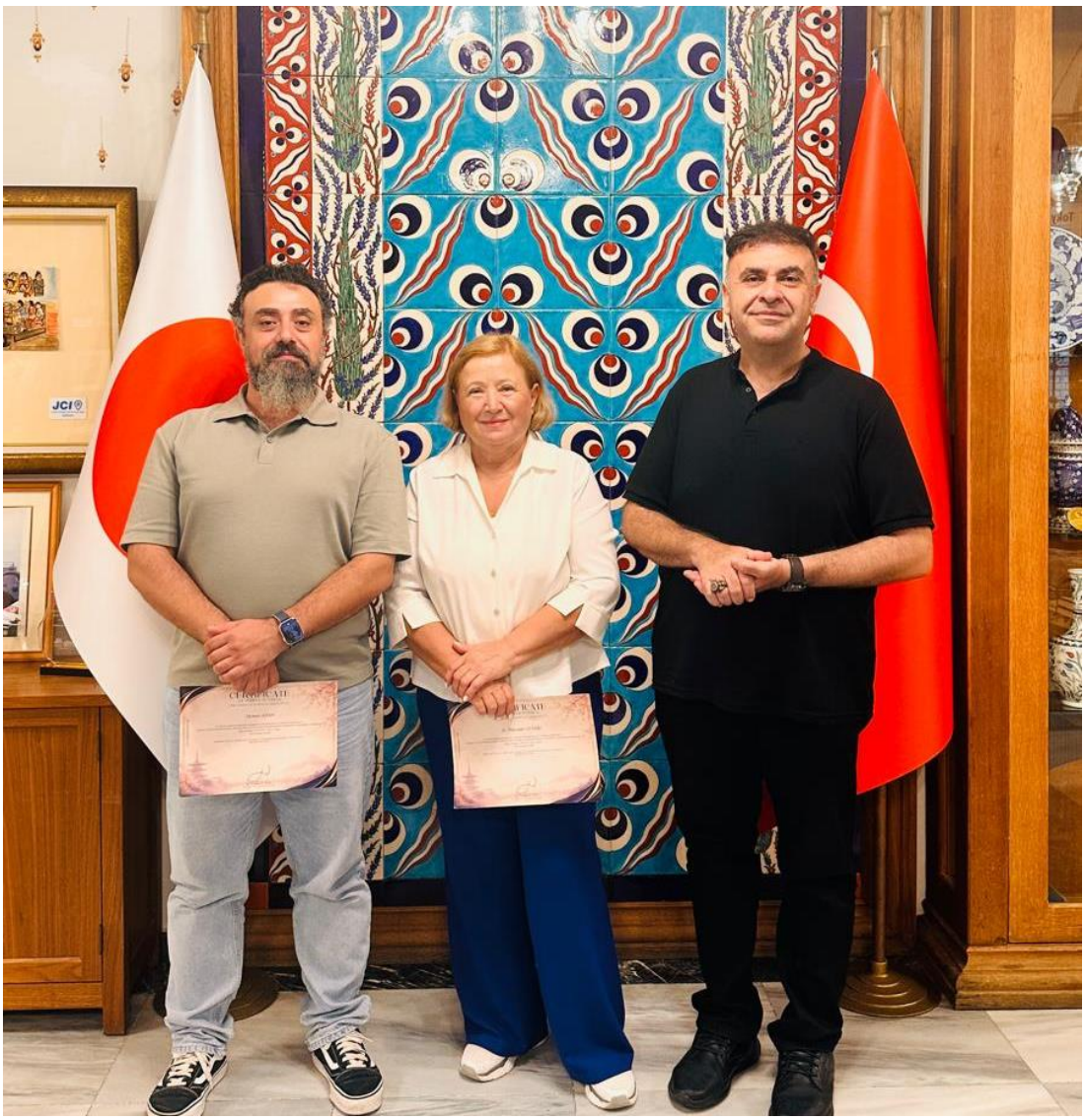
AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Alhassan Yunusa ALKALI Mohammed JIBRIL Abubakar A. EJIKO Mohammed MAISHERA	*Minna Institute of Technology and Innovations, Nigeria*	**ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA**
Alhassan Yunusa ALKALI Mohammed JIBRIL Abubakar A. EJIKO Mohammed MAISHERA	*Minna Institute of Technology and Innovations, Nigeria*	**EFFECT OF PYTON'S FOUR-STEP INSTRUCTIONAL MODEL ON STUDENTS' PERFORMANCE, INTEREST, AND RETENTION IN FOUNDRY AND FORGING IN COLLEGES OF EDUCATION IN NORTH-CENTRAL NIGERIA**
Neha BERMA Asst. Prof. Dr. Poonam KUMARI	*Central University of South Bihar, India*	**LEGAL CHALLENGES AND COMPLIANCES IN THE IMPLEMENTATION OF BIOMEDICAL WASTE MANAGEMENT IN INDIA**
Dr. Siti Nurunnajwa SHAMSUDIN	*Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia*	**THE HALAL LOGO AS A SHARIAH-COMPLIANCE ASSURANCE MECHANISM IN MUSLIM CONSUMERS' NUTRACEUTICAL CONSUMPTION IN MALAYSIA**
Dr. Flora GJONI Dr. Ylber DYLI	*University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Albania*	**SHKODËR, THE CITY OF BICYCLES: CYCLING CULTURE AS A FORM OF BOTTOM-UP SMART MOBILITY - AN EXPLORATORY MIXED-METHODS CASE STUDY FROM ALBANIA**
Dr. Dritan RUSTJA Dr. Flora GJONI	*University of Shkodër "Luigj Gurakuqi", Albania*	**THE CHANGING GEOGRAPHY OF PROTECTED AREAS IN ALBANIA**
Mohammed WAHEEB	*The Hashemite University, Jordan*	**APPLICATIONS OF PROPHETIC ARCHAEOLOGY BETWEEN NORTHERN HIJAZ AND SOUTHERN LEVANT: THE MILITARY EXPEDITIONS OF THE PROPHET CASE STUDY**

ONLINE SESSION ◆ 30 AUGUST 2026	
SESSION · HALL	Session-1 · Hall-6
TIME (ANKARA / TOKYO)	Ankara: 10:00 – 12:00 · Tokyo: 16:00 – 18:00
ZOOM ID · PASSCODE	858 1117 0419 · 123456

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Manijeh FIROOZY

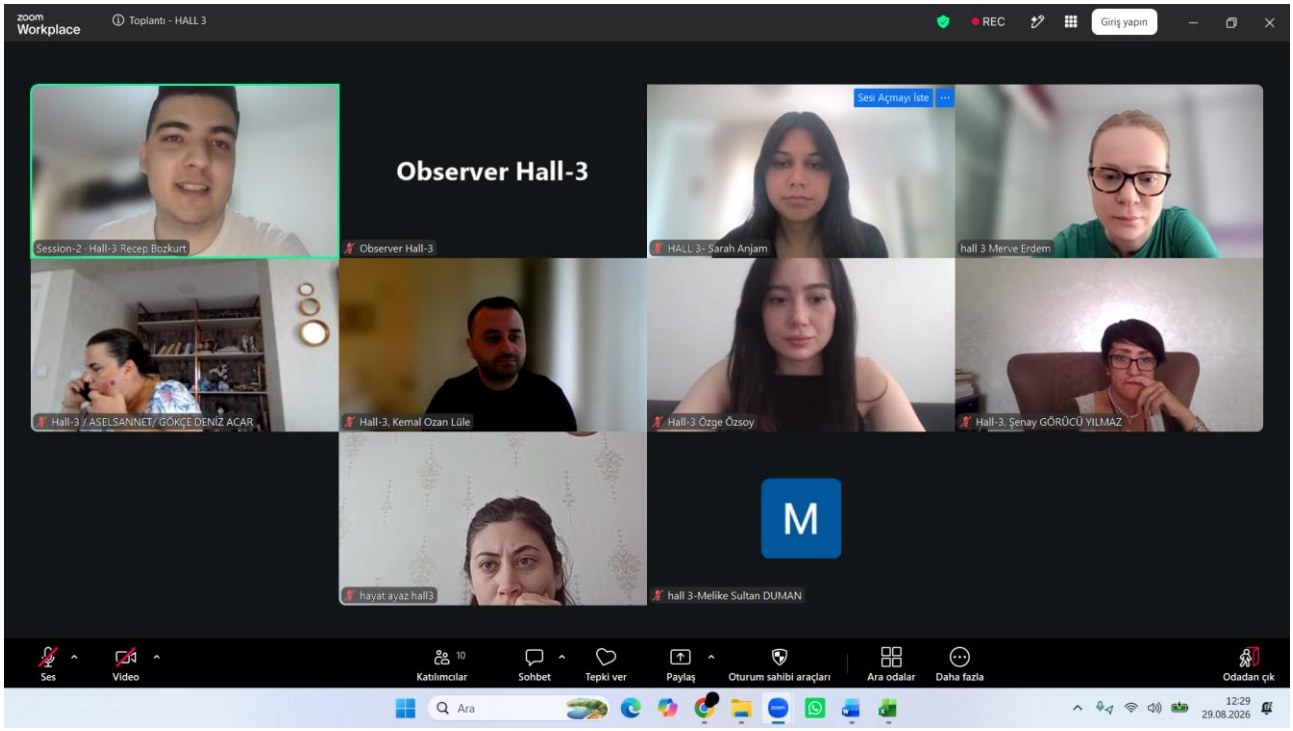
AUTHOR(S)	ORGANISATION	TOPIC TITLE
Mulikat Folashade USMAN Jameelah USMAN	*Usmanu Danfodiyo University, Nigeria*	**THE IMPACT OF RELATIONSHIP BETWEEN COMMUNICATION STYLES AND MARITAL DISHARMONY AMONG SECONDARY SCHOOL TEACHERS IN WAMAKKO LOCAL GOVERNMENT AREA SOKOTO**
Assoc. Prof. Manijeh FIROOZY Mehrnoosh KHAKI	*University of Tehran, Iran*	**ONLINE INTERVENTIONS FOR PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN CANCER SURVIVORS: A NARRATIVE REVIEW**
Assoc. Prof. Manijeh FIROOZY Hasti MOHAMMADPOUR	*University of Tehran, Iran*	**ENDOCRINE THERAPY-INDUCED MOOD AND COGNITIVE DYSFUNCTION IN BREAST CANCER: FROM NEUROBIOLOGICAL MECHANISMS TO PSYCHOSOCIAL CARE**
Anas HAMDANI Abdellatif BOUTAGAYOUT Atman ADIBA	*National Institute of Agricultural Research, Morocco*	**GENOMIC PREDICTION MODELS FOR TREES**
Assoc. Prof. Dr. Omer Shujat BHATTI Prof. Dr. M. Asad GHUFRAN Prof. Dr. Atta Ullah SHAH Muzaffar Aziz IQBAL	*University of Management and Technology, Pakistan* *International Islamic University, Pakistan* *Karakoram International University, Pakistan*	**UNVEILING THE POTENTIAL OF EPIDEMIC-RESILIENT ARCHITECTURE THROUGH CULTURAL INTEGRATION & RESPONSIVENESS FOR DEVELOPING COUNTRIES: A VIRTUAL REALITY EXPLORATION IN PAKISTAN WITH FOCUS ON END-USER PARTICIPATION IN HEALTHCARE FACILITIES SUSTAINABILITY**
Prof. Mohammed WAHEEB	*The Hashemite University, Jordan*	**NORTH HEJAZ AND SOUTHERN LEVANT: DEEP HISTORICAL INTERSECTION, TRADE NETWORKS, AND FUTURE PROSPECTS IN LIGHT OF REGIONAL DEVELOPMENT VISION**
Dr. Roxana Mihaela MOISOIU	*U.S.P.E.E. "C. Stere", Chişinău, Moldova; Colegiul German "Goethe", Bucharest, Romania*	**ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTERNATIONAL SECURITY: EMERGING THREATS, STRATEGIC OPPORTUNITIES AND GLOBAL CHALLENGES**
Ayşegül YÜKSEK Hadice DİLMAÇ Abdulkadir LEVENT Mehmet Fırat BARAN	*Batman University, Türkiye*	**GREEN-SYNTHESIZED NANOPARTICLES FOR RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES IN HYDROGEN STORAGE AND BATTERY TECHNOLOGIES**

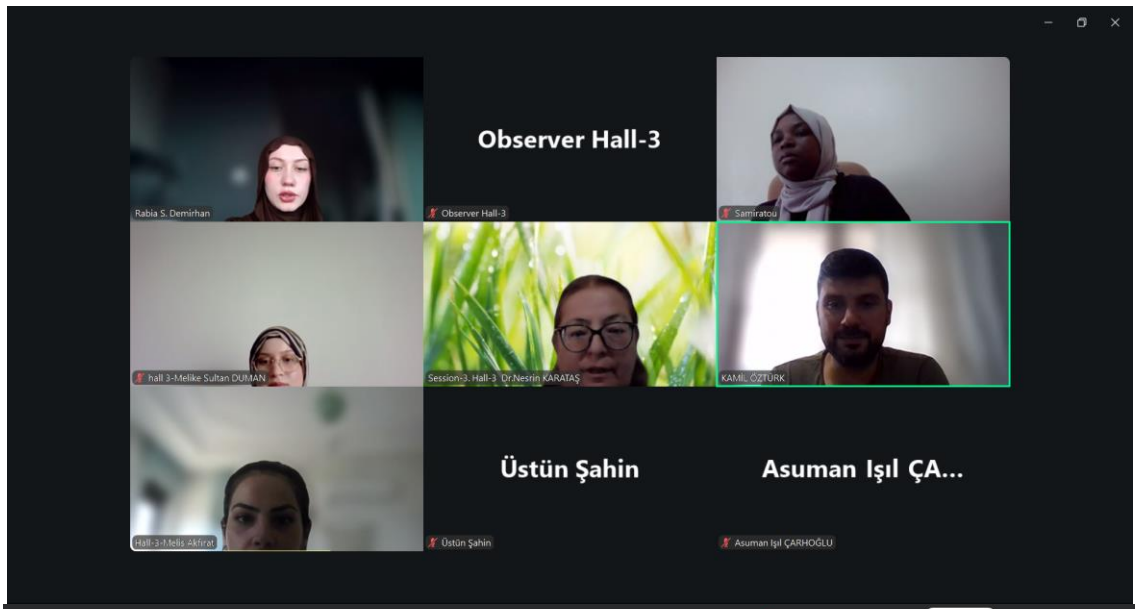
CONFERENCE GALLERY



İKSAD
JAPAN
非常通話装置
EMERGENCY TELEPHONE
IKSAD
INSTITUTE
DIPLOMACY

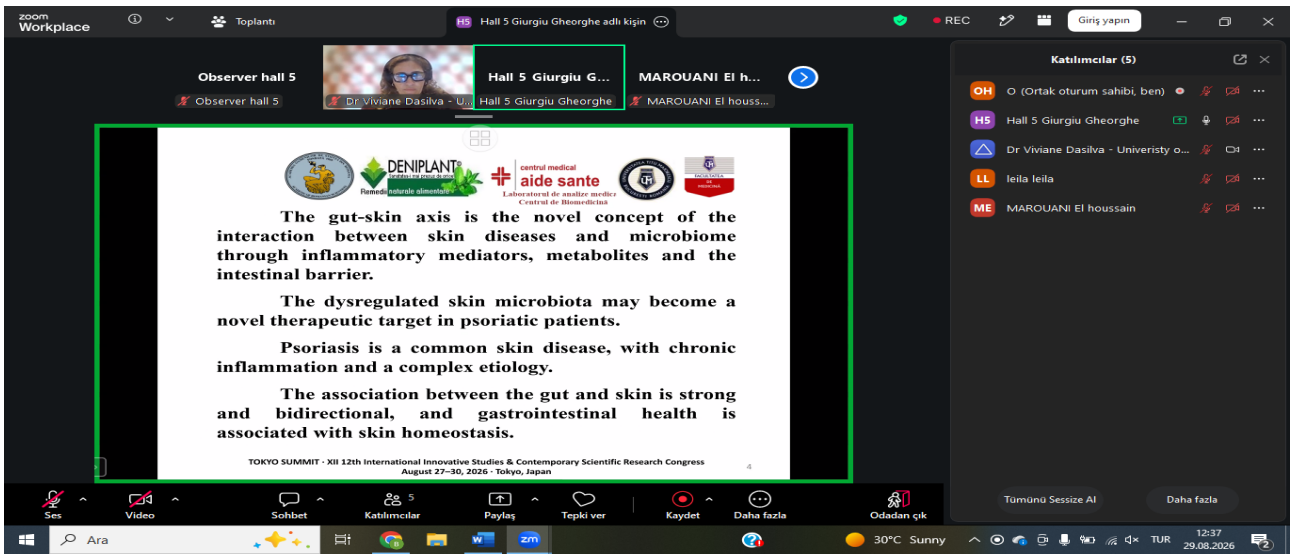
zoom Workplace
Toplantı - HALL 3
REC
Giriş yapın
Observer Hall-3
Hall3 - Ümmühan Akhisar
Observer Hall-3
Hall-3 Nagehan Cantürk
Hall 3 - Kaan Karaaslan
Hall-3 Gönül Balkır
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Kaydet
Daha fazla
Odadan çık

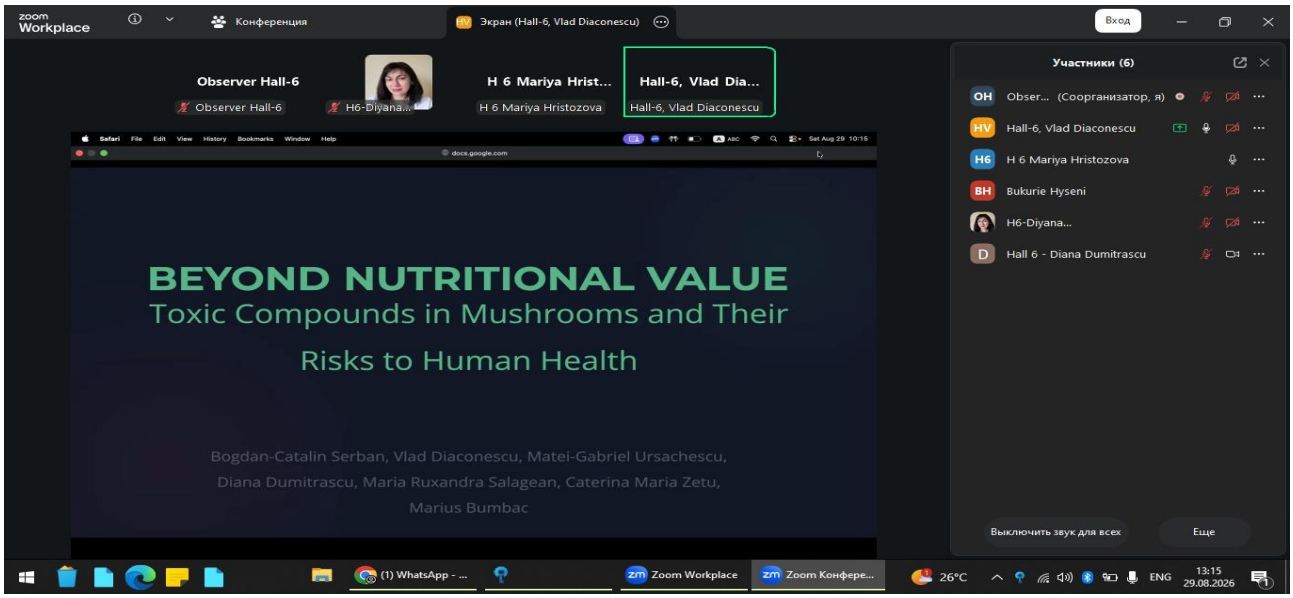

zoom Workplace
Toplantı - HALL 3
REC
Giriş yapın
Observer Hall-3
Sesi Açmayı İste
Session-2 · Hall-3 Recep Bozkurt
Observer Hall-3
HALL 3- Sarah Anjam
hall 3 Merve Erdem
Hall-3 / ASELSANNET/ GÖKÇE DENİZ ACAR
Hall-3, Kemal Ozan Lüle
Hall-3 Özge Özsoy
Hall-3, Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ
hayat ayaz hall3
M
hall 3-Melike Sultan DUMAN
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
Ara
12:29
29.08.2026

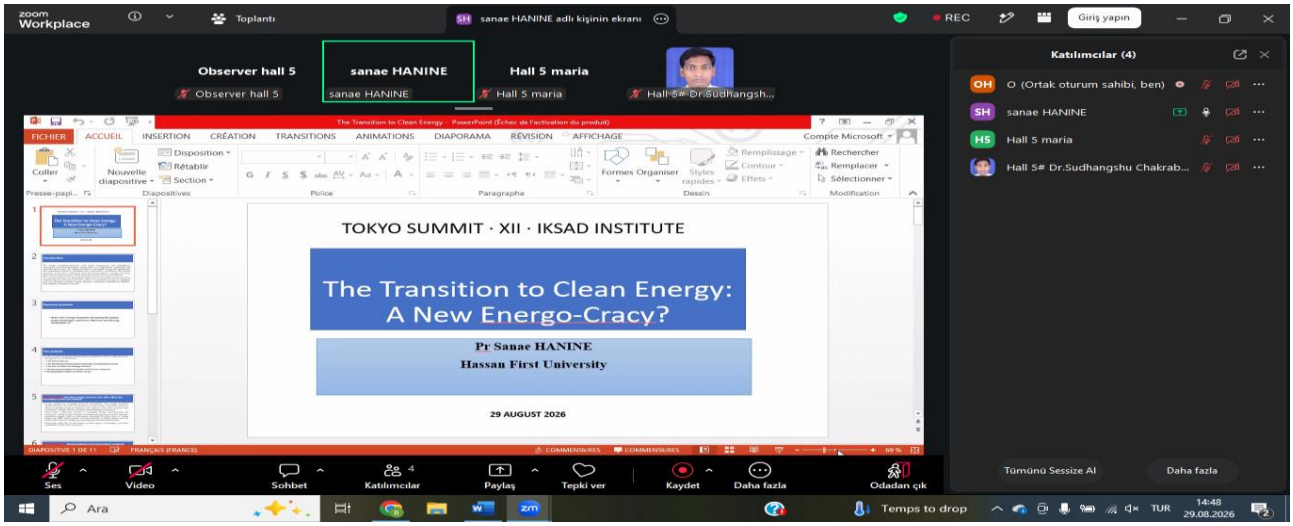

Observer Hall-3
Rabia S. Demirhan
Observer Hall-3
Samiratou
hall 3-Melike Sultan DUMAN
Session-3. Hall-3 Dr.Nesrin KARATAŞ
KAMIL ÖZTÜRK
Üstün Şahin
Asuman Işıl ÇA...
Hall-3-Hellis Akfirat
Üstün Şahin
Asuman Işıl ÇARHOĞLU

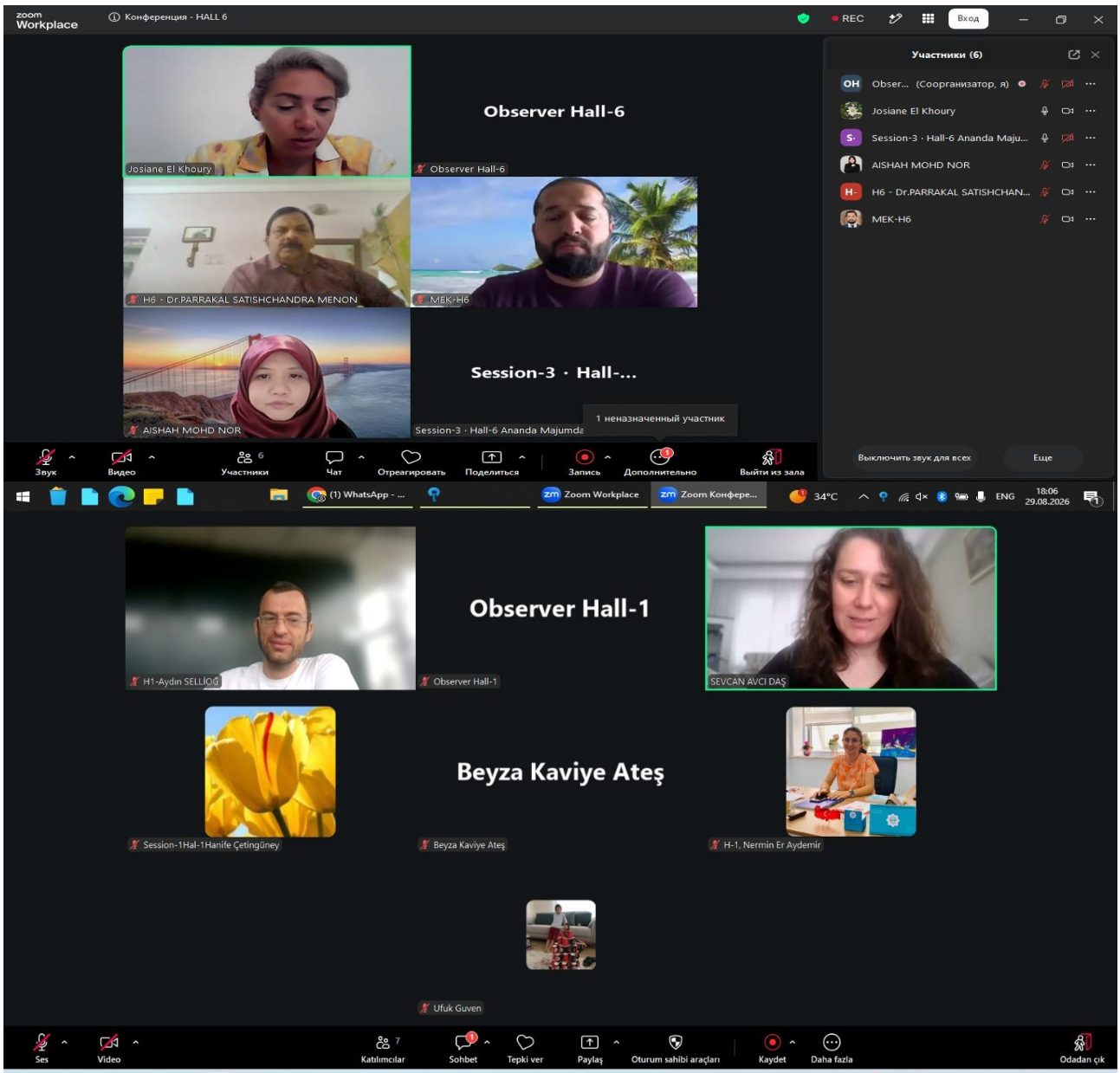
zoom Workplace
Toplantı - HALL 4
REC
Giriş yapın
Observer Hall-4
Ruhan Benlikaya
Observer Hall-4
H-4, BENHARAF EL MOSTAFA
Lolakhon Ettibae...
Zürriye Gündüz
Xilola Abdushukurova
Lolakhon Ettibaeva
H4-Sofia Kerouad
Shahzaib KHAN
H4-Sofia Kerouad
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

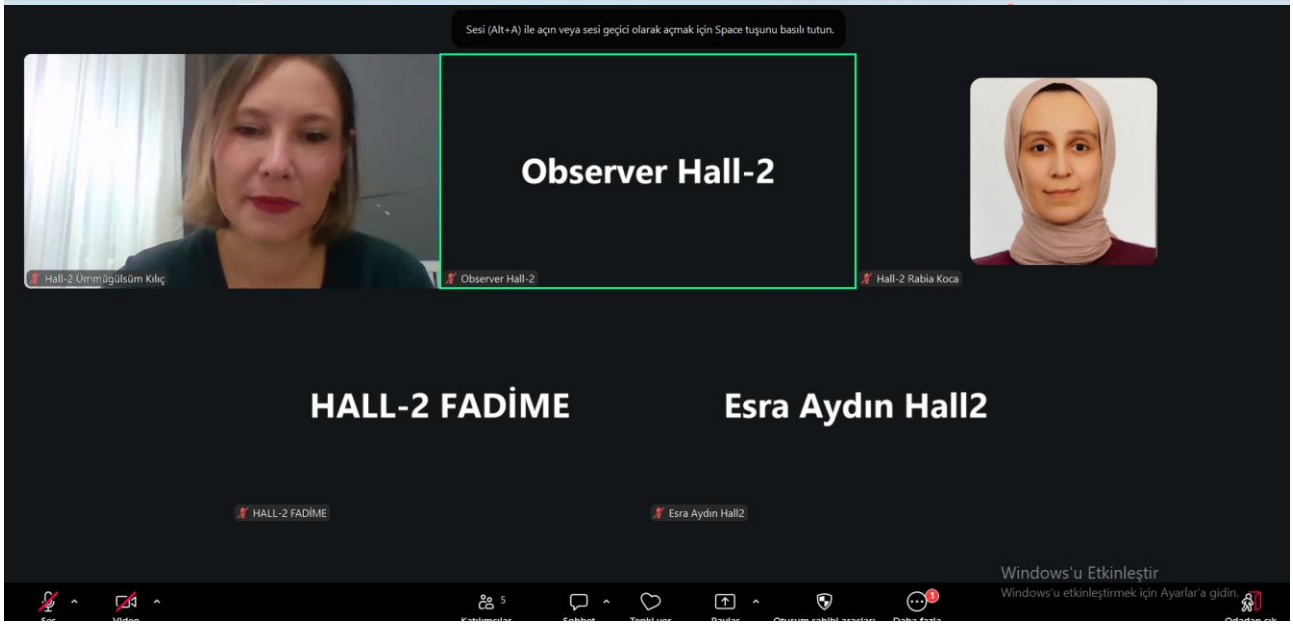
zoom Workplace
Toplantı - HALL 4
Giriş yapın
Observer Hall-4
Ristina Siti Sundari
Observer Hall-4
Obeten Bassey Ukabi
MSc.Selvije Lajqi
Session-3-Hall-4 Santi Susanti
Sorea Adzajlic
MSc.Selvije Lajqi
Hall 4 Santi
Hall 4 Santi
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık
14:57
29.08.2026

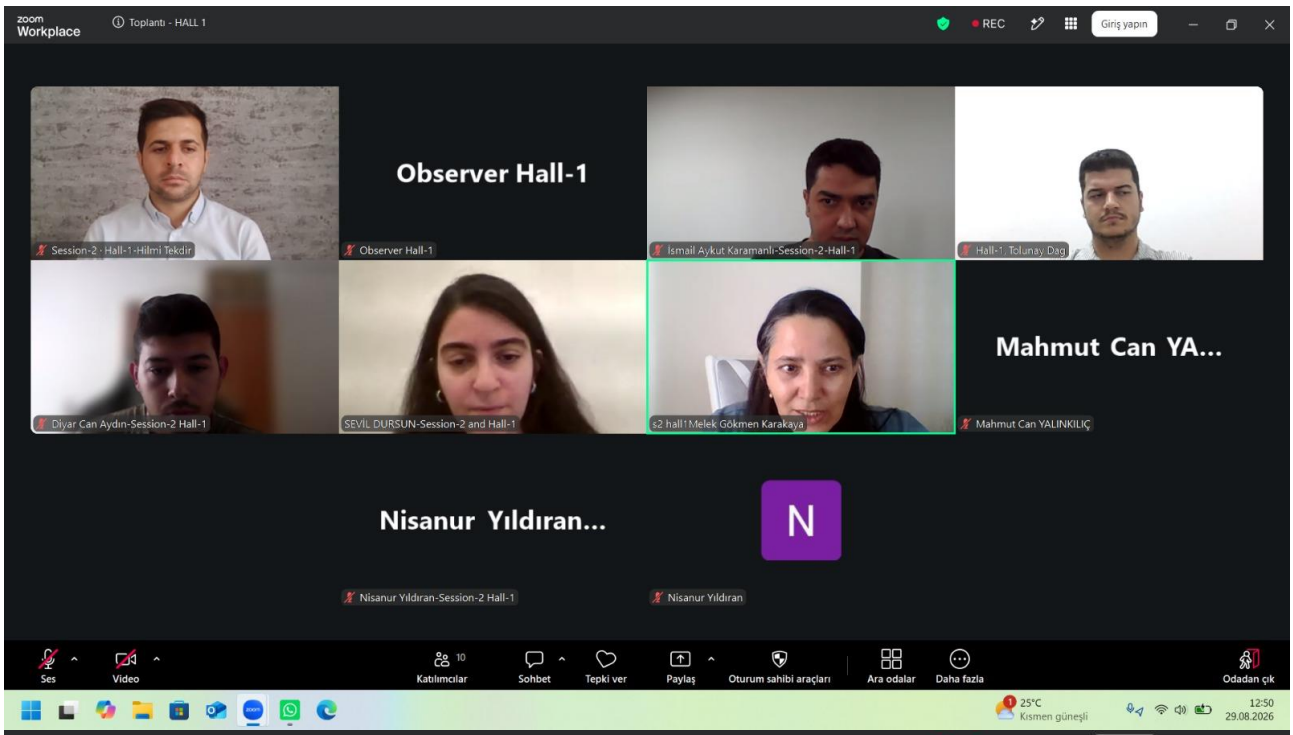

zoom Workplace
Toplantı
Hall 5 Giurgiu Gheorghe adlı kişin
REC
Giriş yapın
Observer hall 5
Hall 5 Giurgiu G...
MAROUANI El h...
Katılımcılar (5)
O (Ortak oturum sahibi, ben)
Hall 5 Giurgiu Gheorghe
Dr Viviane Dasilva - Univeristy o...
leila leila
MAROUANI El houssain
DENIPLANT
centrul medical aide sante
The gut-skin axis is the novel concept of the interaction between skin diseases and microbiome through inflammatory mediators, metabolites and the intestinal barrier.
The dysregulated skin microbiota may become a novel therapeutic target in psoriatic patients.
Psoriasis is a common skin disease, with chronic inflammation and a complex etiology.
The association between the gut and skin is strong and bidirectional, and gastrointestinal health is associated with skin homeostasis.
TOKYO SUMMIT · XII 12th International Innovative Studies & Contemporary Scientific Research Congress
August 27–30, 2026 · Tokyo, Japan
Ses
Video
Sohbet
Katılımcılar
Paylaş
Tepki ver
Kaydet
Daha fazla
Odadan çık
Tümünü Sessize Al
Daha fazla
Ara
30°C Sunny
TUR
12:37
29.08.2026

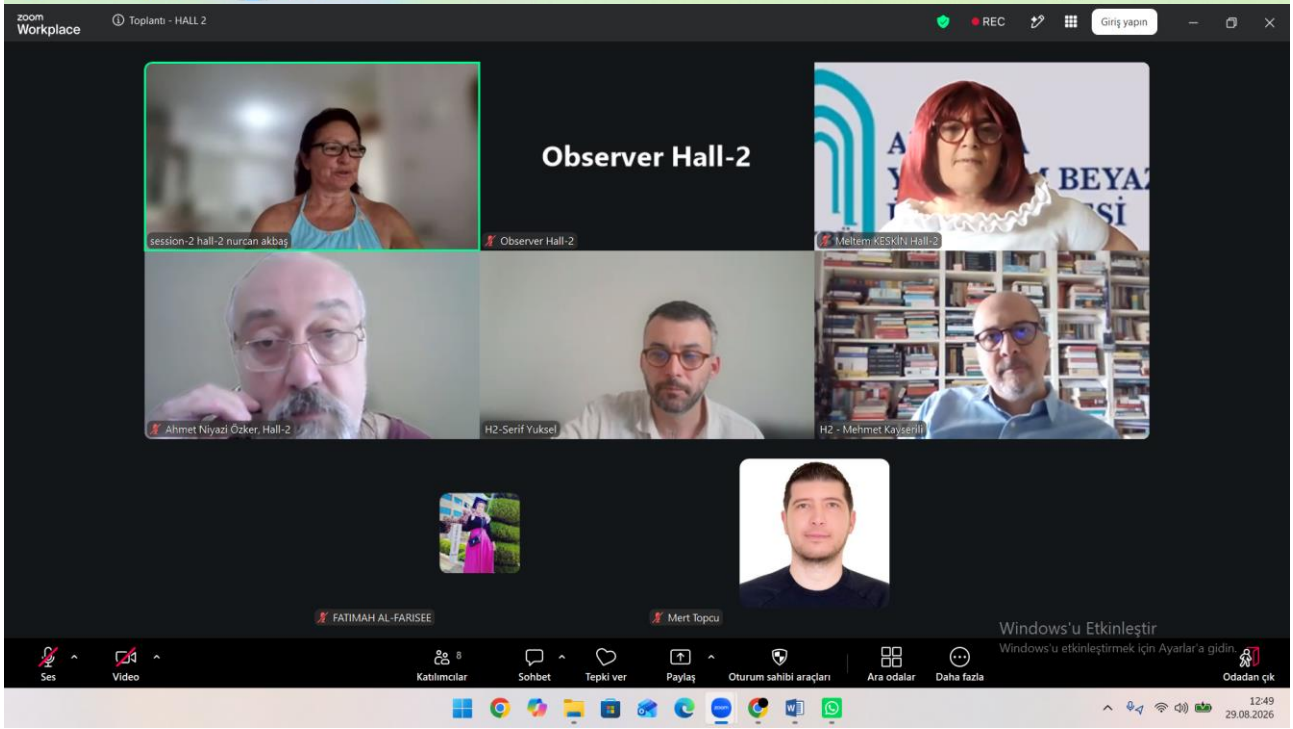

zoom Workplace
Конференция
Экран (Hall-6, Vlad Diaconescu)
Вход
Observer Hall-6
H 6 Mariya Hrist...
Hall-6, Vlad Dia...
Участники (6)
Obser... (Соорганизатор, я)
Hall-6, Vlad Diaconescu
H 6 Mariya Hristozova
Bukurie Hyseni
H6-Diyana...
Hall 6 - Diana Dumitrascu
BEYOND NUTRITIONAL VALUE
Toxic Compounds in Mushrooms and Their
Risks to Human Health
Bogdan-Catalin Serban, Vlad Diaconescu, Matei-Gabriel Ursachescu,
Diana Dumitrascu, Maria Ruxandra Salagean, Caterina Maria Zetu,
Marius Bumbac
Выключить звук для всех
Еще
(1) WhatsApp - ...
Zoom Workplace
Zoom Конфере...
26°C
ENG
13:15
29.08.2026


zoom Workplace
Toplantı
sanae HANINE adlı kişinin ekranı
REC
Giriş yapın
Observer hall 5
sanae HANINE
Hall 5 maria
Katılımcılar (4)
O (Ortak oturum sahibi, ben)
sanae HANINE
Hall 5 maria
Hall 5# Dr.Sudhangshu Chakrab...
TOKYO SUMMIT · XII · IKSAD INSTITUTE
The Transition to Clean Energy:
A New Energo-Cracy?
Pr Sanae HANINE
Hassan First University
29 AUGUST 2026
Ses
Video
Sohbet
Katılımcılar
Paylaş
Tepki ver
Kaydet
Daha fazla
Odadan çık
Tümünü Sessize Al
Daha fazla
Ara
Temps to drop
TUR
14:48
29.08.2026

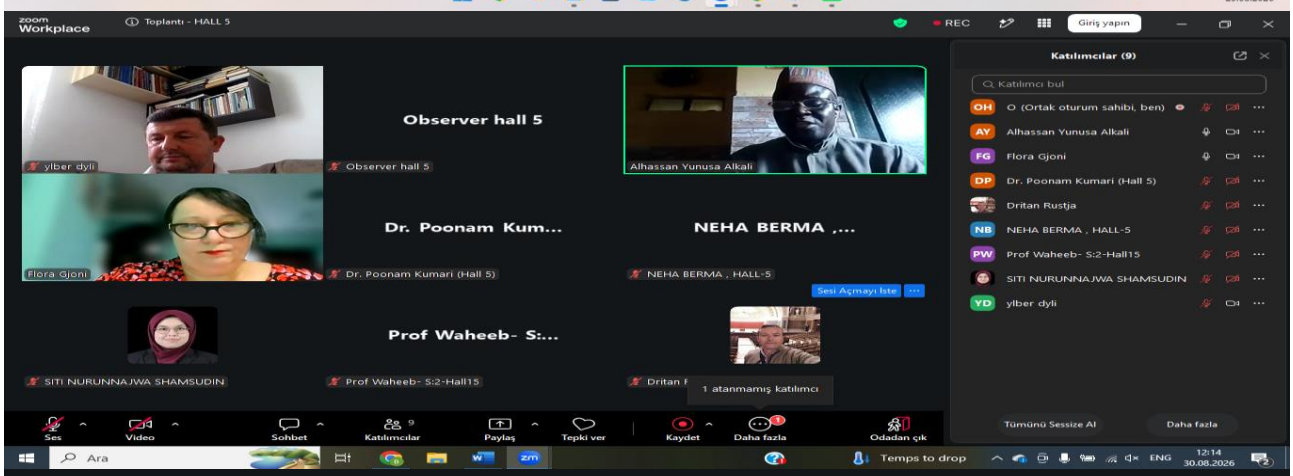

Observer Hall-6
Josiane El Khoury
Observer Hall-6
H6 - Dr.PARRAKAL SATISHCHANDRA MENON
MEK-H6
AISHAH MOHD NOR
Session-3 · Hall-...
Session-3 · Hall-6 Ananda Majumda
Участники (6)
Josiane El Khoury
AISHAH MOHD NOR
MEK-H6
Observer Hall-1
H1-Aydın SELLİÇİ
Observer Hall-1
SEVCAN AVCI DAŞ
Beyza Kaviye Ateş
Session-1Hal-1Hanife Çetingüney
Beyza Kaviye Ateş
H-1, Nermin Er Aydemir
Ufuk Guven

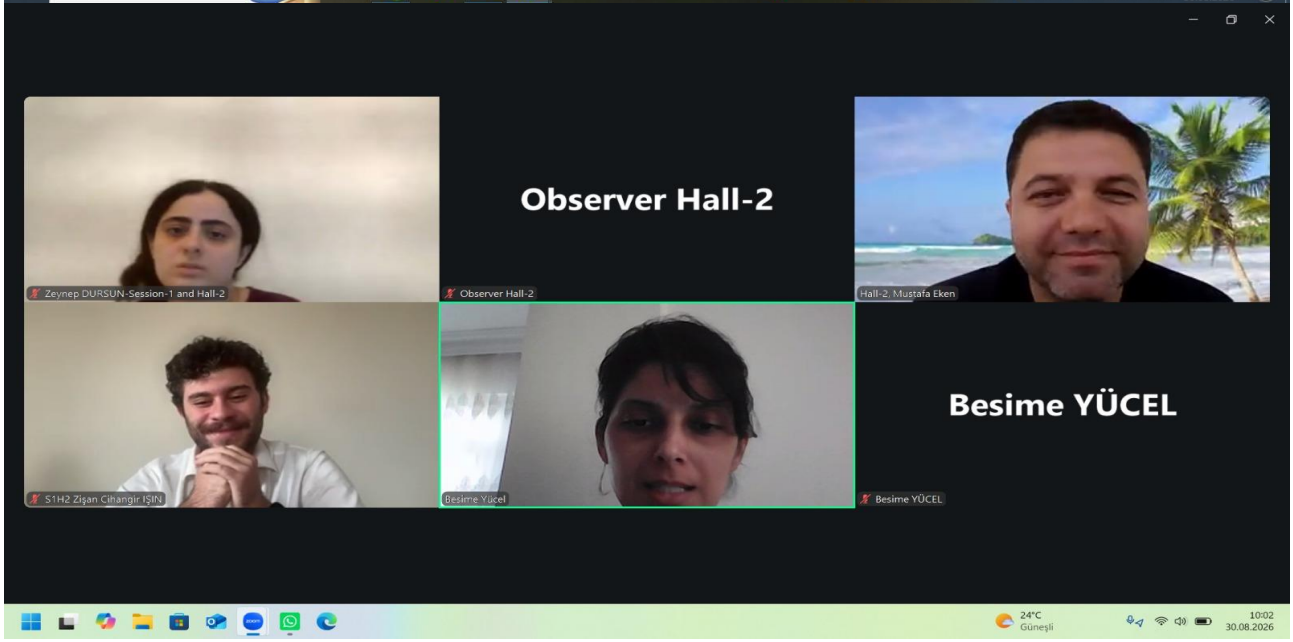

Observer Hall-2
Hall-2 Ümmügülsüm Kılıç
Observer Hall-2
Hall-2 Rabia Koca
HALL-2 FADİME
Esra Aydın Hall2
HALL-2 FADİME
Esra Aydın Hall2

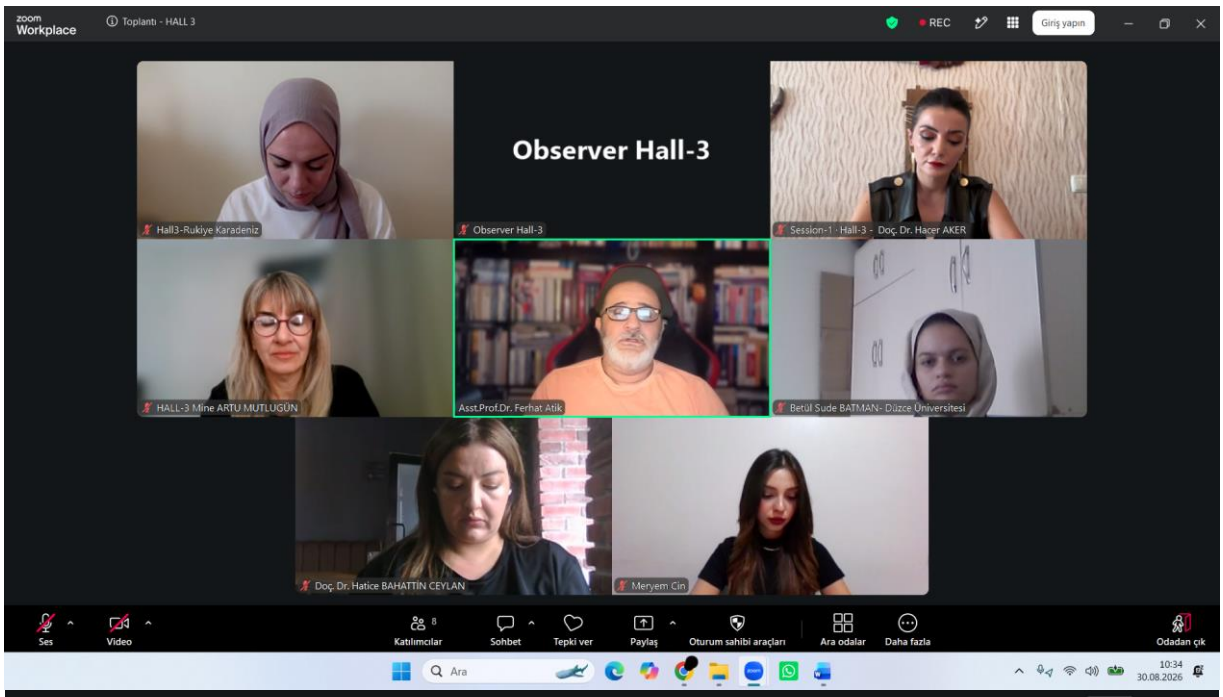

zoom Workplace
Toplantı - HALL 1
REC
Giriş yapın
Observer Hall-1
Session-2 - Hall-1-Hilmi Tekdir
Observer Hall-1
İsmail Aykut Karamanlı-Session-2-Hall-1
Hall-1: Tolunay Dag
Diyar Can Aydın-Session-2 Hall-1
SEVİL DURSUN-Session-2 and Hall-1
s2 hall1 Melek Gökmen Karakaya
Mahmut Can YA...
Mahmut Can YALINKILIÇ
Nisanur Yıldıran...
N
Nisanur Yıldıran-Session-2 Hall-1
Nisanur Yıldıran
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
25°C
Kısmen güneşli
12:50
29.08.2026


zoom Workplace
Toplantı - HALL 2
REC
Giriş yapın
Observer Hall-2
session-2 hall-2 nurcan akbaş
Observer Hall-2
Meltem KESKİN Hall-2
Ahmet Niyazi Özker, Hall-2
H2-Serif Yuksel
H2 - Mehmet Kayserili
FATIMAH AL-FARISEE
Mert Topcu
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
12:49
29.08.2026

Toplantı - HALL 2
Observer Hall-2
Hall 2 , Uğur Arcagok
Hall-2 Erman GÖKMEN
Hall 2- zeynep kaptan
Hall-2 Tuğba ÖZYILDIZ
Prof Dr Özlem Atay Hall 2
Dilek PENPECE
Hall-2 Ilyas Temel Şafak
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.


Toplantı - HALL 5
Observer hall 5
ylber dyli
Alhassan Yunusa Alkali
Dr. Poonam Kum...
NEHA BERMA ,...
Flora Gjoni
Prof Waheeb- S:...
SITI NURUNNAJWA SHAMSUDIN
Katılımcılar (9)
O (Ortak oturum sahibi, ben)
Alhassan Yunusa Alkali
Flora Gjoni
Dr. Poonam Kumari (Hall 5)
Dritan Rustja
NEHA BERMA , HALL-5
Prof Waheeb- S:2-Hall15
SITI NURUNNAJWA SHAMSUDIN
ylber dyli


Observer Hall-2
Zeynep DURSUN-Session-1 and Hall-2
Hall-2, Mustafa Eken
S1H2 Zişan Cihangir IŞIN
Besime YÜCEL


zoom Workplace
Toplantı - HALL 3
REC
Giriş yapın
Observer Hall-3
Hall3-Rukiye Karadeniz
Observer Hall-3
Session-1 · Hall-3 - Doç. Dr. Hacer AKER
HALL-3 Mine ARTU MUTLUGÜN
Asst.Prof.Dr. Ferhat Atik
Betül Sude BATMAN- Düzce Üniversitesi
Doç. Dr. Hatice BAHATTIN CEYLAN
Meryem Cin
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
Ara
10:34
30.08.2026

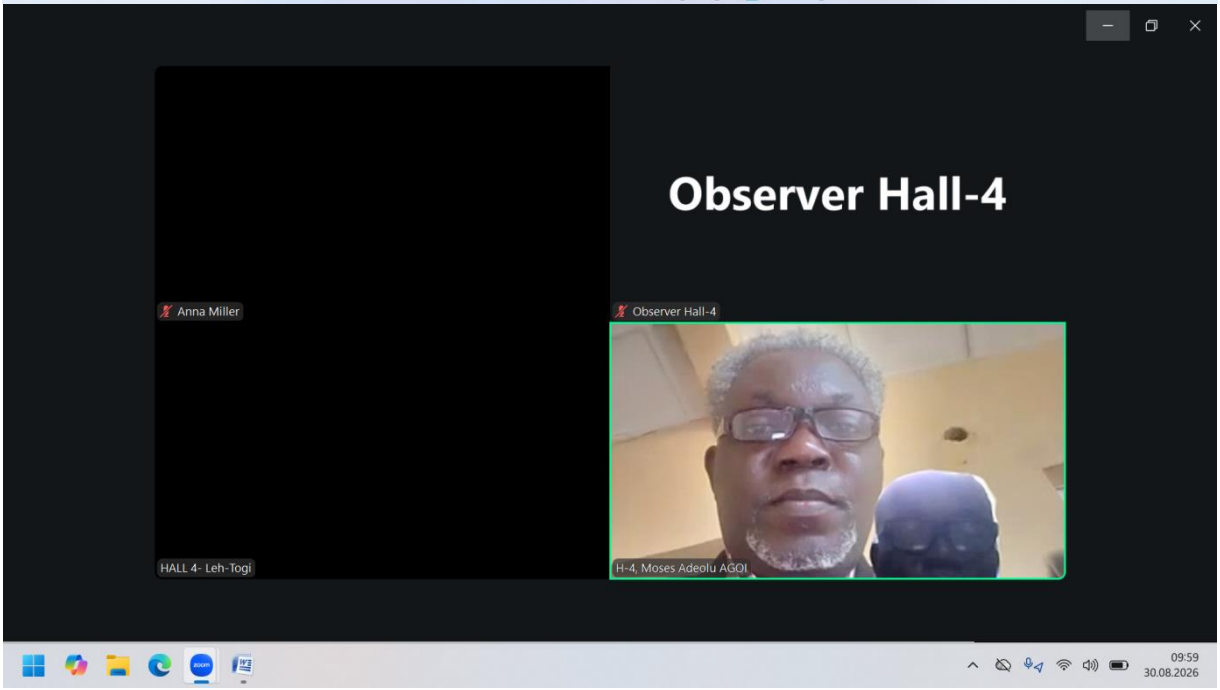

Observer Hall-4
Anna Miller
HALL 4- Leh-Togi
Observer Hall-4
H-4, Moses Adeolu AGOI
09:59
30.08.2026

TABLE OF CONTENTS

Author(s)	Topic Title	No
Murat ARSLAN Ümit Muhammet KOÇYİĞİT Eren H. BOSTANCI Hakan ÜNVER Ebru Nur AY	INVESTIGATION OF THE CHOLINERGIC EFFECTS OF NOVEL BENZIMIDAZOLIUM-CHALCONE HYBRID DERIVATIVES	1
Mehmet AYDIN Mukadder GUNERI	FROM PRACTICE TO CURRICULUM: AI LITERACY AND PROMPT ENGINEERING INTEGRATION IN HIGHER EDUCATION	3
Hatice ŞAHİN Ümit Muhammet KOÇYİĞİT Salih GÖRGÜN Ali GÜNLÜ	EVALUATION OF THE IN VITRO EFFECTS OF SOME METAL IONS ON LIVER CARBONIC ANHYDRASE OF ACIPENSER BAERII (BRANDT, 1869)	4
Hanife ÇETİNGÜNEY Uğur BÜYÜK	PEDAGOGICAL DIMENSIONS OF ENGINEERING TEACHING IN SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' EXPERIENCES WITH TECHNOLOGY, INSTRUCTIONAL PROCESS, AND ASSESSMENT	5
Hanife ÇETİNGÜNEY Uğur BÜYÜK	INTEGRATION OF THE ENGINEERING DESIGN PROCESS INTO SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' KNOWLEDGE, AWARENESS, AND EXPERIENCES	22
Sevcan Filiz AVCI DAŞ Uğur BÜYÜK	EXAMINING THE STEM CAREER IDENTITY OF MIDDLE SCHOOL STUDENTS PARTICIPATING IN ROBOTICS COMPETITIONS THROUGH FREE CAREER DRAWINGS	38
Aydın SELLİOĞ Mehmet KÜÇÜKGÖZ Mehmet Gazi ASLAN	ACCESSIBILITY IN SCIENCE EDUCATION: EXPERIENCES OF SYRIAN-ORIGIN BLIND STUDENTS AND A BLIND SCIENCE TEACHER	46
Aydın SELLİOĞ İsmail Bahadır ÇETİN	WHO THINKS, WHO DECIDES? PRODUCTIVE EPISTEMIC FRICTION IN GENERATIVE AI-SUPPORTED SCIENCE LEARNING	48
Ufuk GÜVEN Beyza Kaviye ATEŞ	PRE-SERVICE CLASSROOM TEACHERS' ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE	50
Nermin ER AYDEMİR	A TEXTLINGUISTIC ANALYSIS OF THE TEXTS IN 5TH-GRADE TURKISH COURSEBOOKS	52
Ümmügülsüm KILIÇ Atiye KARAKUL Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA	PLAY IN THE HOSPITAL AND THE NURSE'S ROLE IN PLAY ACTIVITIES	54
Ümmügülsüm KILIÇ Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA Atiye KARAKUL	NUTRITIONAL MANAGEMENT IN PREMATURE INFANTS AND THE IMPORTANCE OF BREAST MILK BANKING	61
Rabia KOCA Mehmet BULDUK Veysel CAN	PREDICTING PRESSURE ULCERS AND THE RISK OF FALLS IN PEDIATRIC INTENSIVE CARE USING BIG DATA ANALYTICS	72
Rabia KOCA Mehmet BULDUK Veysel CAN	ASSESSMENT OF THE MENTAL HEALTH CONSEQUENCES OF CYBERBULLYING AMONG ADOLESCENTS USING DIGITAL MONITORING TOOLS AND NURSING INTERVENTIONS	78
Nedim KIZILTAŞ Mehmet BULDUK Veysel CAN	DIGITAL ADDICTION IN CHILDREN AND ADOLESCENTS	85
Nedim KIZILTAŞ Mehmet BULDUK Veysel CAN	MOBILE AND TELEHEALTH APPLICATIONS IN PAEDIATRIC CHRONIC CONDITIONS	90

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Ömer Seyfi ACAR Şenay ARLI	PROCEDURAL PAIN BURDEN: CURRENT EVIDENCE AND NURSING APPROACHES IN THE PREVENTION OF PAIN ASSOCIATED WITH CHEST TUBE REMOVAL	95
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	THE RIGHT TO GENETIC INTEGRITY: A NEW MANIFESTATION OF HUMAN DIGNITY	101
Z. Gönül BALKIR Ecem KOCAOĞLAN	THE CONCEPT OF THE DIGITAL BODY AND THE CONSTRUCTION OF IDENTITY THROUGH THE DIGITAL BODY	112
Nagehan CANTÜRK	THE RIGHT TO BE FORGOTTEN IN THE CONTEXT OF THE PERSONAL DATA PROTECTION LAW: AN OVERVIEW	125
Kaan KARAASLAN	LINKING THE INSURER'S PERFORMANCE OBLIGATION TO A PARAMETRIC TRIGGER: A COMPARATIVE LEGAL ANALYSIS WITH TRADITIONAL INDEMNITY INSURANCE	127
Asuman BOLKAN Z. Gönül BALKIR	FROM RATIONAL DECISION-MAKING TO COGNITIVE BIAS: THE BEHAVIORAL LIMITS OF LEGAL DECISION-MAKING	129
Asuman BOLKAN Z. Gönül BALKIR	THE IMPACT OF BEHAVIORAL FINDINGS ON THE LEGAL SUBJECT: THE TRANSFORMATION OF LEGAL THOUGHT	140
Sumayya AKRAM Matloob AHMAD Sana ASLAM	DESIGN, SYNTHESIS, IN SILICO AND IN VITRO UREASE INHIBITION STUDIES OF PYRIDYLPIPERAZINE-BASED CARBODITHIOATES	149
El Mostafa BENHARAF Ali BARHOUMI Ahmed MOUFTI Mohamed TAOUFIK Mohammed CHAFI Abdellah ZEROUAL Mohammed EL IDRISSI	COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF NOVEL ORGANIC PHOTOSENSITIZERS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS: ELECTRONIC AND OPTICAL INSIGHTS	150
Shahzaib KHAN Muhammad USMAN	DESIGNING STRONTIUM ALUMINATE-REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOHYBRID FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES	151
Muhammad MOEEZ Ansar RAFEEQ	ELEMENTALLY DOPED BIOMASS-DERIVED ACTIVATED CARBON (SM-DOPED MSAC) FOR ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE	152
Sofia KEROUAD	BIOSYNTHESIS OF MGFE2O4 NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACT FOR EFFICIENT LEAD AND MERCURY REMOVAL FROM WATER: ADSORPTION ISOTHERMS, KINETICS, REGENERATION PERFORMANCE AND DFT STUDIES	153
Lolakhon ETTIBAEVA Ruhan BENLİKAYA Pınar GÜNER Aylin ER	SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND MULTIMODAL BIOACTIVITY ANALYSIS OF MENTHOL LYSINATE	154
Khilola ABDUSHUKUROVA Ruhan BENLİKAYA Zürriye GÜNDÜZ	SYNTHESIS AND SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF RAGOSIN WITH TRISODIUM SALT OF GLYCYRRHIZIC ACID	165
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	MOLECULAR ENCAPSULATION: FROM FUNDAMENTAL PRINCIPLES TO EVERYDAY APPLICATIONS	172
Ravana GULIYEVA Nigar ALIYEVA Fidan MAMMADOVA Aysel RUSTAMOVA Shabnam ALIYEVA	CHEMICAL DIVERSITY OF ENDOPHYTIC FUNGI ASSOCIATED WITH MEDICINAL PLANTS: A HIDDEN SOURCE OF DRUG CANDIDATES	174

Author(s)	Topic Title	No
Narmin MAMMADOVA		
Gheorghe GIURGIU Manole COJOCARU	OPTIMIZING OUTCOMES IN PSORIASIS: IMPACT OF DENIPLANT NUTRACEUTICALS	176
MOSTEFAOUI Leila HADJARI Mohammed Khaladi Hadj Mostafa	ASSOCIATION BETWEEN SGLT2 INHIBITOR THERAPY AND CARDIOVASCULAR BIOMARKERS IN PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME	177
Yelyzaveta SIRCHAK Ivan VASHCHENKO Ivan PUSHKASH Vasyl BARANI Stepan SIRCHAK Stanislav TSOIKA	NON-INVASIVE DIAGNOSIS OF HEPATIC STEATOSIS IN PATIENTS WITH METABOLIC DYSFUNCTION-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE AFTER CHOLECYSTECTOMY	178
Yelyzaveta SIRCHAK Victoriya CHENDEY Aliona STOIKA Taras CHENDEY Monika MAROSHAN	THE LEVEL OF B VITAMINS AND HOMOCYSTEINE IN PATIENTS WITH METABOLIC-ASSOCIATED STEATOTIC LIVER DISEASE AND CARDIOVASCULAR SYSTEM DAMAGE	179
Yelyzaveta SIRCHAK Andrea ANDRIICHUK Irina SMOLANKA Ivan LEMKO Michaylo STAN Dmytro DUBOVENKO	PSYCHOSOMATIC FEATURES AND THEIR RELATIONSHIP WITH INDICATORS OF LIVER FUNCTION IN PATIENTS WITH AUTOIMMUNE THYROIDITIS AND METABOLIC-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE	180
Bhawana GUPTA Mansi MAURYA	COMPREHENSIVE REHABILITATION APPROACHES FOR WOMEN ACROSS THE LIFESPAN: FROM ADOLESCENCE TO POST-MENOPAUSE	181
Barakah A. MASUUD Kafayah A. JIDDAH	KNOWLEDGE AND PRACTICE OF PERSONAL HYGIENE TOWARDS CHOLERA PREVENTION AND CONTROL AMONG RESIDENTS OF OSIN COMMUNITY, ILORIN WEST LGA, KWARA STATE	182
El Houssain MAROUANI Fatima ECHARHABILI Soad EL ABBDI Brahim EL HOUATE Abdessamad MOUHSSINE Adnane HAKEM Abdelaati EL KHIAT Omar EL HIBA	SOCIO-DEMOGRAPHIC VULNERABILITY AND HEALTHCARE ACCESS AMONG DIALYSIS PATIENTS: IMPLICATIONS FOR NEPHROTOXIC RISK IN OUARZAZATE PROVINCE, MOROCCO	183
Viviane DASILVA Franciele MAFTUM	DEEP QEEG AS AN OBJECTIVE SUPPORT FOR TRANSDIAGNOSTIC DIFFERENTIAL ASSESSMENT ACROSS ANXIETY, BURNOUT, AND DEPRESSION	185
Diyana ZHELYAZKOVA Dobromira SHOPOVA Svetlin ALEKSANDROV Maria HRISTOZOVA	INCOMPLETE SURFACE ACQUISITION DURING EXTRAORAL SCANNING OF DENTAL IMPRESSIONS: CONTRIBUTING FACTORS AND CLINICAL RELEVANCE	196
Maria HRISTOZOVA Diyana ZHELYAZKOVA Dobromira SHOPOVA	FACE-GUIDED DIGITAL DIAGNOSTIC WAX-UP FOR INDIVIDUALIZED AESTHETIC PROSTHETIC REHABILITATION	210
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	ENZYMATIC STRATEGIES IN MEAT PROCESSING: FROM TENDERIZATION TO BYPRODUCT VALORIZATION	221

Author(s)	Topic Title	No
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	CONJUGATED MICROPOROUS POLYMERS: SYNTHESIS, PROPERTIES AND EMERGING APPLICATIONS	223
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	POLYSACCHARIDES IN COSMETOLOGY: NATURAL MATERIALS FOR ADVANCED AND SUSTAINABLE FORMULATIONS	225
Bogdan-Catalin SERBAN Matei-Gabriel URSACHESCU Vlad DIACONESCU Caterina ZETU Maria Ruxandra SALAGEAN Diana DUMITRAȘCU Octavian BUIU Marius BUMBAC	BEYOND NUTRITIONAL VALUE: TOXIC COMPOUNDS IN MUSHROOMS AND THEIR RISKS TO HUMAN HEALTH	227
Reda CHAHIR Océane PERTEGAZ Salma CHAKIR Noureddine HAMMANI Hinde AASSILA Marie POTIER-CARTEREAU Naoual OUKKACHE	VENOM PEPTIDOME OF ANDROCTONUS MAURITANICUS AND NAJA HAJE: LC-MS/MS PROTEOMIC PROFILING, ANTIPROLIFERATIVE AND ANTIMIGRATORY ACTIVITIES	229
Bukurie HYSENI Adrian HOXHA	NUTRITION-MENTAL HEALTH AWARENESS AND SCHOOL-BASED SUPPORT AMONG ALBANIAN ADOLESCENTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY	230
İsmail Aykut KARAMANLI	THE EFFECT OF INFILL PATTERN ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, ABSORBED ENERGY AND SURFACE HARDNESS OF ADDITIVELY MANUFACTURED PLA SAMPLES	231
Sevil DURSUN	DIGITAL TWIN-BASED MULTIPHYSICS MONITORING OF THE FDM PROCESS	240
Sevda ŞİMŞEK UZUN Kürşat TANRIVER Diyar Can AYDIN	CFD ANALYSIS OF COUNTERFLOW CHANNEL TYPE HEAT EXCHANGERS	250
Hilmi TEKDİR Tuba YETİM	EVALUATION OF SURFACE HARDNESS, TOPOGRAPHY, AND SCRATCH BEHAVIOR OF SOL-GEL DIP-COATED COO CERAMIC COATINGS ON LPBF-FABRICATED TI6AL4V ALLOY FOR AEROSPACE APPLICATIONS	252
Tarık GÜNEŞ Tolunay DAĞ	MAINTENANCE CHALLENGES IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: A CONCEPTUAL REVIEW	260
Tolunay DAĞ Tarık GÜNEŞ	HUMAN FACTORS IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	269
Teymuraz ABBASOV Aydan MAMMADOVA Nisanur YILDIRAN	PURIFICATION OF INDUSTRIAL FLUIDS THROUGH MAGNETIC FILTRATION: ANALYSIS OF PARTICLE CAPTURE IN PERMANENT MAGNET FILTERS	277
Mahmut Can YALINKILIÇ	SALES FORECASTING FOR PRODUCTION PLANNING USING REAL SALES DATA WITH THE PROPHET MODEL	282
Mehmet KAYSERİLİ Şerif YÜKSEL	THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON TURKEY'S INTERNATIONAL TRADE WITH THE EU AND BRICS+ COUNTRIES	283

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Fatimah AL-FARISEE Ezoza NASRİDDİNOVA	THE IMPACT OF CYBER RISKS ON THE FINANCIAL PERFORMANCE OF ISLAMIC BANKS	285
Mert TOPCU	GOVERNMENT EFFECTIVENESS AND GROWTH IN ADVANCED COUNTRIES	291
Mert TOPCU	URBANIZATION AND GOVERNMENT EXPENDITURE IN DEVELOPED COUNTRIES	296
Ahmet Niyazi ÖZKER	FISCAL SUSTAINABILITY AND FISCAL SPACE IN TÜRKİYE: CURRENT CHALLENGES AND POLICY OPTIONS	301
Meltem KESKİN	FINANCIAL SUSTAINABILITY IN PROFESSIONAL FOOTBALL CLUBS: AN EVALUATION OF THE DUTCH FOOTBALL MODEL	312
Merve ERDEM	THE ETHICAL DIMENSIONS OF OFF-LABEL DRUG USE AND THE RESEARCH GAP IN TÜRKİYE	327
Kemal Ozan LÜLE	FROM RDW-CV TO RDW-SD: GLOBAL RESEARCH TRENDS, METHODOLOGICAL REPORTING, AND CLINICAL APPLICATIONS OF RED CELL DISTRIBUTION WIDTH IN CARDIOMETABOLIC DISEASES	328
Özge ÖZSOY Nezihe OTAY LÜLE	MEDITERRANEAN DIET IN NAFLD AND MASLD: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS OF GLOBAL RESEARCH TRENDS	336
Gökçe Deniz ACAR Burak ERSEN Ahmet KOLUMAN	MICROBIAL RISK ASSESSMENT: CONVENTIONAL APPROACHES VS. MACHINE LEARNING AND THEIR IMPACT ON PREDICTIVE MICROBIOLOGY	345
Sarah ANJAM Lina Zeyad Tareq ALHAKEEM Mehmet ÖZTÜRK	IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM B14	366
Sarah ANJAM Marwah Mahmood Abdulrazzaq AL-JANABI Mehmet ÖZTÜRK	IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTOBACILLUS GASSERI ATCC 33323	367
Zeliha KESKİN ALKAÇ	DETERMINATION OF AFLATOXIN B1 CONTAMINATION IN PISTACHIOS PRODUCED IN TÜRKİYE	368
Hayat AYAZ Fırat AŞIR	MICRO- AND NANOPLASTICS AND HUMAN HEALTH: SYSTEMIC BIODISTRIBUTION AND TARGET ORGANS	374
Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ Mutlu Can ASLANPAY	SYSTEMS BIOLOGY-BASED ANALYSIS OF GENE EXPRESSION CHANGES IN CELL FUSION	376
Soufiane ZIANI Driss KHATTACH	DEEP STRUCTURE AND TECTONIC GEOMETRY OF THE SOUTHERN GIBRALTAR ARC (RIF BELT, MOROCCO): INSIGHTS FROM GRAVITY AND AEROMAGNETIC DATA	394
Mounir BOUTARBOUCH Khadija EL-MOUSTAQIM Jamal MABROUKI	ELECTROCHEMICAL ADVANCED OXIDATION PROCESSES COUPLED WITH BIOLOGICAL TREATMENTS FOR THE REMOVAL OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER	395
Aamir MUNIR	ADVANCING NATURAL SCIENCES THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GEOSPATIAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT	396
Rabar Mohammed HUSSEIN	CLIMATE CHANGE IMPACTS ON FRESHWATER ECOSYSTEMS IN THE KURDISTAN REGION, IRAQ	397
Ayesha BATOOL Hafsa NAEEM Zainab FATIMA Tawseef KHAN	CLIMATE CHANGE AND PLASTIC POLLUTION: A SHARED ORIGIN, A SHARED SOLUTION	398

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Fatima-Ezzahra JAAYEFAR Jamila DAHMANI	DATA CAPITALIZATION ON BORAGO OFFICINALIS: PHYTOCHEMICAL COMPOSITION, BOTANICAL CHARACTERISTICS, AND PHARMACOLOGICAL ACTIVITIES	399
Oussama MAHMOUDI	ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ANIMAL PRODUCTION: MECHANISMS, SELECTIVE PRESSURES, AND MITIGATION STRATEGIES WITHIN THE ONE HEALTH FRAMEWORK	400
Bellil DASSINE Gharout-Sait ALIMA Djoudi FERHAT Bellil ZAHRA Mendil OUIDAD Manseur LYTICIA Dib-Sait SABRINA	MYCOBACTERIUM SPP. ASSOCIATED WITH BARBARY MACAQUE	401
Sanae HANINE	THE TRANSITION TO CLEAN ENERGY: GEOPOLITICAL IMPLICATIONS	402
Faiza BAGHIDA Mourad BOUGHRARA Mohamed KEROUAD	INVESTIGATION OF VACANCY DEFECTS IN CU, SE, AND CUI-BASED MATERIALS: A FIRST-PRINCIPLES STUDY	422
Sudhangshu CHAKRABORTY Mun MAJUMDER	DESIGN AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A PZT-BASED PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING SYSTEM FOR HUMAN FOOTSTEP POWER GENERATION	423
Ismail LAGRINI Mohamed BENCHEIKH	IMPACT OF FLATTENING FILTER REMOVAL AND SECONDARY COLLIMATOR ON THE ENERGETIC PROPERTIES OF A 6 MV PHOTON BEAM USING MONTE CARLO SIMULATION	424
I. G. SAIDU Umar ZANGINA	DYNAMIC MODELING AND SIMULATION OF A THREE-PHASE INDUCTION MOTOR USING A MATLAB/SIMULINK S-FUNCTION	425
Umar ZANGINA Ismaila Garba SAIDU	RISK-AWARE REINFORCEMENT LEARNING–MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR DYNAMIC PESTICIDE ROUTING IN PRECISION AGRICULTURE	426
Muhammad Zaky Rizqullah NURROSIDI Mahros DARSI	THE EFFECT OF CHOPPER BLADE PATTERNS ON THE PERFORMANCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHOPPER MACHINE	436
Falah Fatima ZAHRA Hamdane HASNA El. Ghailassi TOURIA	MICROSTRUCTURAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF METAKAOLIN-BASED GEOPOLYMERS FOR RADIATION PROTECTION	437
Umme Habiba	A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS FRAMEWORK FOR GDP, UNEMPLOYMENT RATE, AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS	438
Manel DJEBAILI	FROM ENERGY ESTIMATES TO STABILITY IN NONLINEAR FRACTIONAL EVOLUTION PROBLEMS	439
Sathyamoorthy SIVASANKARI Vembu ANANTHASWAMY Moorthy SUBHA	APPLICATION OF NEW APPROXIMATE ANALYTICAL METHOD FOR SOLVING OSCILLATOR EQUATIONS IN PHYSICAL SCIENCES	440
Jeya Kumar ANANTHA JOTHI Vembu ANANTHASWAMY Moorthy SUBHA	A MATHEMATICAL ANALYSIS OF DYNAMIC SIR EPIDEMIOLOGICAL MODEL	442
Daejin PARK	HW/SW CO-DESIGN, LLVM, HARDWARE-PERFORMANCE-MANAGEMENT, RUNTIME TUNING	444
Sarra Djihane SEBAA Mustapha BOUAKKAZ	A COMPARATIVE ANALYSIS OF LATE FUSION AND VISION-LANGUAGE PRETRAINING FOR MULTI-LABEL CHEST X-RAY CLASSIFICATION	445

Author(s)	Topic Title	No
Sedat GOLGİYAZ	THREE-CLASS HONEYBEE TOXICITY PREDICTION WITH HETEROGENEOUS VOTING ENSEMBLES: A COMPARATIVE STUDY ON THE APISTOX BENCHMARK	446
Gülcan ÖZTÜRK	DISTINGUISHING TRAIT AND STATE CHARACTERISTICS IN MAJOR DEPRESSIVE DISORDER THROUGH SPEECH ANALYSIS: AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACH	456
Zişan Cihangir IŞIN Erşan IŞIN Beyşan Tarık IŞIN Mustafa Kemal TOPCU Tamer IŞIN	EXAMINING THE INVISIBLE RISKS OF CONNECTED AI GOVERNANCE WITHIN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL STANDARDS AND A PROPOSAL FOR A NEW MODEL: DECLARATION-CENTRIC AI GOVERNANCE	483
Hakan ŞİMŞEK Gülfem KIZILTAN	PREDICTIVE ANALYSIS OF AIRLINE OVERBOOKING LEVELS USING A FUZZY LOGIC-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM	499
Mustafa Kemal TOPCU Zişan Cihangir IŞIN Fatma GEZGİN Erşan IŞIN Beyşan Tarık IŞIN	COMPUTER-ASSISTED RING FIXATORS FOR SIX-AXIS DEFORMITY CORRECTION: AN EXAMINATION OF INNOVATION MILESTONES AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION	500
Merve GÜLER Nuri Murat YAĞMURLU	A NUMERICAL STUDY USING THE LEAST SQUARES METHOD WITH QUINTIC HERMITE BASIS FUNCTIONS	516
Doğan Salih TEPİCİ Deniz ADIGÜZEL Serkan TÜYLÜ İsmail DEMİR	MULTI-CRITERIA DETERMINATION OF EMERGENCY EVACUATION ROUTES IN UNDERGROUND COAL MINES DURING FIRES USING VENTILATION OPTIMIZATION AND THE A* ALGORITHM	517
Onur EZGİN Serkan TÜYLÜ Deniz ADIGÜZEL İsmail DEMİR	FINANCIAL EVALUATION OF PRODUCTION PLANNING IN A COAL MINE	524
Zeynep KAPTAN Özlem ATAY	GENDER IN ACADEMIC HIERARCHY: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON THE CAREER AND MANAGEMENT PROCESSES OF FEMALE ACADEMICS IN TÜRKİYE	532
Erman GOKMEN Busra OZDENIZCI KOSE	THE GREEN-DIGITAL LEADERSHIP LANDSCAPE: THEORIES, CAPABILITIES, AND RESEARCH GAPS	534
Erman GOKMEN Busra OZDENIZCI KOSE	NAVIGATING THE TWIN TRANSFORMATION IN SMES: ENABLERS, BARRIERS, AND LEADERSHIP CAPABILITIES	544
Uğur ARCAGÖK	ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN SUSTAINABILITY INDICES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	551
İlyas Temel ŞAFAK Serhat ATA	THE EFFECTS OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM ON CORPORATE BRAND REPUTATION	560
İlyas Temel ŞAFAK Serhat ATA	FROM GREEN DISCOURSE TO VERIFIED PERFORMANCE: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GREENWASHING RISK, THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM, AND CORPORATE BRAND REPUTATION	573
Dilek PENPECE DEMİRER	UNVEILING WEBSITE FEATURES AND DIGITAL MARKETING STRATEGIES OF ONLINE FOOD DELIVERY PLATFORMS IN TURKEY	585
Tuğba ÖZYILDIZ	THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY ON ENTREPRENEURIAL ORIENTATION: A STUDY OF UNIVERSITY STUDENTS	600
Deniz ARSLAN Rabia Sultan DEMIRHAN	A REVIEW OF THE EFFECTS OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) ON BITUMEN AND BITUMINOUS MIXTURES	611
Asuman Isil CARHOGLU Melis AKFIRAT	STRUCTURAL BEHAVIOR OF AN OFFSHORE STRUCTURE UNDER EARTHQUAKE EFFECTS	622

Author(s)	Topic Title	No
Melike Sultan DUMAN Nilüfer ÜLGÜDÜR Emine MALKOÇ	BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS ON THE USE OF FOREST-DERIVED WASTE AS ADSORBENTS	629
Samiratou ABDOULAYE MAMANE Ustun SAHIN	COW MANURE INCREASES THE CHLOROPHYLL CONTENT (SPAD) AND IMPROVES CABBAGE YIELD UNDER FULL AND DEFICIT IRRIGATION	643
Samiratou ABDOULAYE MAMANE Ustun SAHIN	THE EFFECT OF COW MANURE FERTILIZATION ON MEMBRANE DAMAGE DIMINISHED YIELD IN DEFICIT-IRRIGATED WHITE CABBAGE	650
Kamil ÖZTÜRK Mesut NAMLI	EFFECTS OF PHTHALOCYANINES WITH DIFFERENT METAL CENTERS ON PHYSIOLOGICAL STRESS RESPONSES IN BUCKWHEAT (FAGOPYRUM ESCULENTUM)	657
Mulikat Folashade USMAN Jameelah USMAN	ASSESSMENT OF THE PROBLEM AND PROSPECTS OF SMALL AND MEDIUM SCALE ENTERPRISES (SMES) IN NIGERIA	666
Muhammad IMRAN	BEYOND ENVIRONMENTAL CONCERN: WHAT DRIVES SUSTAINABLE FASHION CONSUMPTION AMONG GENERATION Z?	667
Depy Muhamad PAUZY Ristina Siti SUNDARI Hary FIRMANSYAH	INTERNAL MARKETING, CUSTOMER ORIENTATION, AND MARKETING PERFORMANCE: A STUDY AT BAMBOO HANDICRAFT	668
Murtala Mohammed ALAMAI Fatima ABDULAZEEZ	MAULUD CELEBRATIONS AS URBAN RELIGIOUS EVENTS IN NIGERIA: CULTURAL DYNAMICS, SIGNIFICANCE, LOGISTICS MANAGEMENT AND CHALLENGES	669
Selvije LAJQI Soreja ADZAJLIC Florinda VOKSHI Diana VOKSHI	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN KOSOVO: CHALLENGES, INNOVATION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PEJA AND RUGOVA	684
Obeten B. UKABI Adanna R. OKEKE Igoche JOHN Godwin E. AGBOR Ollawa Onyejiuwaka CHRISTIANA Oloyede Aduragbemi MOSES	YOUTH-CENTRED AGRICULTURAL INITIATIVES AND ICT SKILLS ACQUISITION PROGRAMMES AS DUAL PATH-WAYS FOR SUSTAINABLE POVERTY REDUCTION IN CROSS RIVER STATE, NIGERIA	685
Santi SUSANTI Susi INDRIANI Saparuddin MUKHTAR Dwi Kismayanti RESPATI	ENHANCING VOCATIONAL ACCOUNTING TEACHERS' COMPETENCE IN DEVELOPING CO-CURRICULAR MODULES AND DIGITAL DASHBOARD-BASED FINANCIAL STATEMENT VISUALIZATION	693
Dilshoda MUBARAKOVA	CULTURAL LANGUAGE EDUCATION AND INSTITUTIONS: CURRENT TRENDS	699
Yasmine Al GHARIB Naim El ROUADI	HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS (HEIS) AS A CATALYST FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: FOCUS ON UNIVERSITY COMMUNITY ENGAGEMENT (UCE) TO ACHIEVE SOCIAL INNOVATION	704
Vandana Gaur VASHISHT	EFFECTIVENESS OF A STRUCTURED MULTISENSORY READING INTERVENTION (JUMP–READ) ON FOUNDATIONAL ENGLISH READING SKILLS OF GRADE III LEARNERS IN DELHI GOVERNMENT SCHOOLS	705
Aminu GARBA Mohammed MUSA Ahmed Abdullahi BARKUTA Abdulrahman JIMADA	IMPACT OF TEACHERS' MOTIVATION ON THE JOB PERFORMANCE OF PRIMARY SCHOOL TEACHERS IN CHANCHAGA LOCAL GOVERNMENT AREA OF NIGER STATE, NIGERIA	706
SALAMI Amadou SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée	EFL TEACHING LEARNING AND EVALUATION IN BENIN SECONDARY SCHOOLS IN TIME OF CRISIS	707

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Abosede Temitope OMONIYI	EFFECTS OF MULTIMODAL ANNOTATION AND PERFORMANCE CIRCLE INSTRUCTIONAL STRATEGIES ON SENIOR SECONDARY STUDENTS' COMPREHENSION AND APPRECIATION OF POETIC LITERATURE-IN-ENGLISH IN IBADAN METROPOLIS, NIGERIA	708
Mohd Shahbaz KHAN Sameer Babu M	NEEDS ANALYSIS FOR ESP CURRICULUM DEVELOPMENT IN ENGINEERING EDUCATION	709
Ibrahim Adamu USMAN Muhammad Musa SAMBO Mahmud Moshood MUSA	DIGITAL TRANSFORMATION AND E-LEARNING IN TVET IN NORTH-WEST UNIVERSITIES IN NIGERIA	710
Afshan NASEEM Muhammad Ahmad RAMAY	BRIDGING THE DIVIDE: AVAILABILITY AND UTILIZATION OF MATHEMATICS-FOCUSED STEM RESOURCES IN SECONDARY SCHOOLS OF PAKISTAN	711
Ananda MAJUMDAR	PERFORMING AUTHORITY: ELITE POWER, REPRESENTATION, AND EXCHANGE IN EARLY MODERN EUROPE	712
Ananda MAJUMDAR	THE ROLE OF RELIGION IN DEVELOPMENT OUTCOMES IN EMERGING ECONOMIES	719
Parrakal Satishchandra MENON Senbagavalli M	DEVASTATION DUE TO EARTHQUAKE IN THE NORTHWESTERN AND CENTRAL VENEZUELA DURING JUNE 2026 AND ITS CONSEQUENCES IN THE MINDFULNESS OF THE CITIZENS	726
Josiane EL KHOURY	CONSTRUCTING WOMANHOOD IN LEBANESE JEWELRY ADVERTISING: CELEBRITY ENDORSEMENT VERSUS EMOTIONAL BRANDING	727
Laila MRABTI Said ZERRAD Fedwa NEJJAR Hakima ELHATRI	BARRIERS TO VOLUNTEERING AMONG SOCIAL WORKERS IN THE HEALTH SECTOR: A QUALITATIVE STUDY FROM MOROCCO	728
Petra ANDITS	EXCESS AS AN ENGINE: FACEBOOK COMMENT LOGORRHEA AND THE PRODUCTION OF HYPERBOLE—A DISCOURSE ANALYSIS OF HUNGARIAN POLITICAL THREADS	729
Nasiru MUSA	SLANG AND ITS IMPLICATION TOWARDS EFFECTIVE COMMUNICATION	730
Zuliza Mohd KUSRIN	LEGAL LITERACY BEFORE MARRIAGE: RETHINKING PREMARITAL EDUCATION IN MALAYSIA	731
Mehmet Emin KALGI	A SOCIO-PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF THE RELIGIOUS PERCEPTIONS OF JA'FARIS	738
Alper EYİNÇ Şifanur KILIÇ Derya ALTIN İsminaz Şifa KAYA Esin SEZGİN	INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CHILDREN'S EMOTION EXPRESSIVENESS AND PARENTING ATTITUDES	741
Alper EYİNÇ Esin SEZGİN	THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL ACHIEVEMENT GOALS AND EMOTION REGULATION AMONG HIGH SCHOOL SENIORS	749
Hakan POLAT Burak MENEK	EFFECTS OF PERCUSSION MASSAGE THERAPY ON MUSCLE MECHANICAL PROPERTIES, FUNCTIONAL MOBILITY, BALANCE, AND JOINT POSITION SENSE IN INDIVIDUALS WITH CHRONIC POST-STROKE SPASTICITY	759
Zuhal KAYA	EXAMINATION OF WEBSITE FEATURES OF PUBLIC AND PRIVATE HOSPITALS: A STUDY IN AFYONKARAHİSAR PROVINCE	773
Gizem BÜYÜKÖNDER Mümüne Merve PARLAK	EVALUATION OF YOUTUBE VIDEOS ON SPEECH AND LANGUAGE IN ALZHEIMER'S DISEASE: A METHODOLOGICAL STUDY	780
Belkıs Şule GÜNDÜZ Seda KARAÇAY YIKAR Evşen NAZİK	PERINATOLOGY AND PATIENT SAFETY	785
Belkıs Şule GÜNDÜZ	EVIDENCE-BASED PRACTICES IN ACTIVE MANAGEMENT OF CHILDBIRTH	795

Author(s)	Topic Title	No
Seda KARAÇAY YIKAR Evşen NAZİK		
Pınar AKARÇAY Besime YÜCEL	INTERSECTING DYNAMICS OF SPATIAL VIOLENCE: URBICIDE AND CULTURAL GENOCIDE IN SARAJEVO AND MOSTAR	811
Pınar AKARÇAY Besime YÜCEL	URBICIDE IN UKRAINE: SYSTEMATIC URBAN DESTRUCTION AS A WAR STRATEGY	819
Zeynep DURSUN	AHISKA TURKS: FROM EXILE TO FERGANA	825
Adnan Bülent BALOĞLU Tamer IŞIN	THE RELIGION OF THE CITY: A HISTORICAL AND CONCEPTUAL ANALYSIS OF CITIES THAT TRANSFORM RELIGIONS AND RELIGIONS THAT TRANSFORM CITIES	836
Ferhat ATİK	DIGITAL MANIFESTATION: RECONSTRUCTING VISIBILITY AND TRUTH THROUGH SUFI THEOPHANY IN DATA REGIMES	845
Onur ER Betül Sude BATMAN	THE EXAMPLE OF "BARBIE'S DREAMHOUSE" IN THE CONTEXT OF SEMIOTICS: THE PERCEPTION OF BEAUTY IN MEDIA AIMED AT CHILDREN	846
Ferhat ATİK	AFFECTIVE EROSION IN DIGITAL NEWS CONSUMPTION: DESENSITIZATION TO IMAGES OF DISASTER, WAR, AND CRISIS	848
Hacer AKER Salih KESKİN	WHOSE STORY, WHOSE BODY? NARRATIVE PERSONHOOD AND THE ERASURE OF VICTIMS IN SERIAL KILLER CINEMA	850
Hacer AKER Salih KESKİN	CAN THE UNFORGIVABLE BE FORGIVEN? ACID VIOLENCE, QISAS, AND THE ETHICS OF THE WOUNDED FACE IN IRANIAN CINEMA	857
Mine ARTU MUTLUGÜN	ENTROPIC POST-MEDDAH: THE DIGITAL CONSTRUCTION OF STORYTELLING IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE ENTROPIC TRANSFORMATION OF CULTURE	862
Stella Suanu Leh-Togi ZOBEASHIA Olabisi Peter ABIOYE Udeme Joshua Josiah IJAH Oluwafemi Adebayo OYEWOLE	MICROBIAL DYNAMICS-DRIVEN OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION SYSTEMS	864
Mahwish SALMAN	ECO-FRIENDLY ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA TO ALLEVIATE DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS	865
Thoraya DAHMANE Zakia KACI Ali AROUS Taher KARAHACANE	INVENTORY OF MEDICINAL PLANTS IN THE AZAZGA REGION (TIZI-OUZOU)	866
Moses Adeolu AGOI Olayemi Grace ABIMBOLA Oluwadamilola Peace AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED GENOMIC SEQUENCING FOR PRECISION DETECTION AND PREDICTION OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN VETERINARY PATHOGENS	867
Onuoha L. U. Adiele P. N. U. KALU Atasie C. N. Onwuka U. R.	EFFECT OF PARTICIPATORY TRAINING ON FARMERS' KNOWLEDGE AND ADOPTION OF VEGETABLE VALUE ADDITION TECHNOLOGIES	868
Christopher Anieken AKPAN Comfort Uzuanjemen UDUIGWOME	EMERGING ISSUES IN IMPLEMENTING ANIMAL HUSBANDRY AS TRADE/ENTREPRENEURSHIP SUBJECT IN SENIOR SECONDARY SCHOOLS IN EDO STATE, NIGERIA	869
Ion PETRE Flavia BARNA Miruna Lucia NACHESCU Razvan BOBORA	ARTIFICIAL INTELLIGENCE–DRIVEN PREDICTION OF TREATMENT-RELATED HEMATOLOGIC CHANGES IN STAGE III CERVICAL CANCER	870

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Daian Ionel POPA Tiberiu BULEU Cristian PETRE		
Sabina LACHOWICZ-WIŚNIEWSKA Agata KOTOWSKA Anna MILLER	MULTIMORBIDITY AND DIET QUALITY AMONG OLDER ADULTS ATTENDING UNIVERSITIES OF THE THIRD AGE IN POLAND	872
Alhassan Yunusa ALKALI Mohammed JIBRIL Abubakar A. EJIKO Mohammed MAISHERA	ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA	873
Alhassan Yunusa ALKALI Mohammed JIBRIL Abubakar A. EJIKO Mohammed MAISHERA	EFFECT OF PYTON'S FOUR-STEP INSTRUCTIONAL MODEL ON STUDENTS' PERFORMANCE, INTEREST, AND RETENTION IN FOUNDRY AND FORGING IN COLLEGES OF EDUCATION IN NORTH-CENTRAL NIGERIA	876
Neha BERMA Poonam KUMARI	LEGAL CHALLENGES AND COMPLIANCES IN THE IMPLEMENTATION OF BIOMEDICAL WASTE MANAGEMENT IN INDIA	879
Siti Nurunnajwa SHAMSUDIN	THE HALAL LOGO AS A SHARIAH-COMPLIANCE ASSURANCE MECHANISM IN MUSLIM CONSUMERS' NUTRACEUTICAL CONSUMPTION IN MALAYSIA	880
Flora GJONI Ylber DYLI	SHKODËR, THE CITY OF BICYCLES: CYCLING CULTURE AS A FORM OF BOTTOM-UP SMART MOBILITY	881
Dritan RUSTJA Flora GJONI	THE CHANGING GEOGRAPHY OF PROTECTED AREAS IN ALBANIA	896
Mohammed WAHEEB	APPLICATIONS OF PROPHETIC ARCHAEOLOGY BETWEEN NORTHERN HIJAZ AND SOUTHERN LEVANT: THE MILITARY EXPEDITIONS OF THE PROPHET CASE STUDY	904
Mulikat Folashade USMAN Jameelah USMAN	THE IMPACT OF RELATIONSHIP BETWEEN COMMUNICATION STYLES AND MARITAL DISHARMONY AMONG SECONDARY SCHOOL TEACHERS IN WAMAKKO LOCAL GOVERNMENT AREA SOKOTO	905
Manijeh FIROOZY Mehrnoosh KHAKI	ONLINE INTERVENTIONS FOR PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN CANCER SURVIVORS: A NARRATIVE REVIEW	906
Manijeh FIROOZY Hasti MOHAMMADPOUR	ENDOCRINE THERAPY-INDUCED MOOD AND COGNITIVE DYSFUNCTION IN BREAST CANCER: FROM NEUROBIOLOGICAL MECHANISMS TO PSYCHOSOCIAL CARE	907
Anas HAMDANI Abdellatif BOUTAGAYOUT Atman ADIBA	GENOMIC PREDICTION MODELS FOR TREES	908
Omer Shujat BHATTI M. Asad GHUFRAN Atta Ullah SHAH Muzaffar Aziz IQBAL	UNVEILING THE POTENTIAL OF EPIDEMIC-RESILIENT ARCHITECTURE THROUGH CULTURAL INTEGRATION & RESPONSIVENESS FOR DEVELOPING COUNTRIES	909
Mohammed WAHEEB	NORTH HEJAZ AND SOUTHERN LEVANT: DEEP HISTORICAL INTERSECTION, TRADE NETWORKS, AND FUTURE PROSPECTS IN LIGHT OF REGIONAL DEVELOPMENT VISION	910
Roxana Mihaela MOISOIU	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTERNATIONAL SECURITY: EMERGING THREATS, STRATEGIC OPPORTUNITIES AND GLOBAL CHALLENGES	912
Ayşegül YÜKSEK Hadice DİLMAÇ Abdulkadir LEVENT Mehmet Fırat BARAN	GREEN-SYNTHESIZED NANOPARTICLES FOR RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES IN HYDROGEN STORAGE AND BATTERY TECHNOLOGIES	913

東京サミット · © 2026 IKSAD Institute

Author(s)	Topic Title	No
Meryem CİN Hatice BAHATTİN CEYLAN	AI-ASSISTED VISUAL NARRATIVE DESIGN IN GRAPHIC DESIGN: PRODUCING A SHORT FILM FROM HISTORICAL PHOTOGRAPHS	916

YENİ BENZİMİDAZOLYUM-KALKON HİBRİT TÜREVLERİNİN KOLİNERJİK ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE CHOLINERGIC EFFECTS OF NOVEL BENZIMIDAZOIUM-CHALCONE HYBRID DERIVATIVES

Murat ARSLAN
Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Suşehri Sağlık Yüksekokulu, Hemşirelik Bölümü, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4379-2119

Ümit Muhammet KOÇYİĞİT
Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Eczacılık Fakültesi- Farmasötik Biyokimya Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8710-2912

Eren H. BOSTANCI
Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Eczacılık Fakültesi- Farmasötik Biyokimya Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID ID https://orcid.org/0000-0001-8511-2316

Hakan ÜNVER
Prof. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, Eskişehir, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4858-4039

Ebru Nur AY
Dr. Öğr. Üyesi., İstinye Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Bölümü, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7121-4362

ÖZET

Bu çalışmada, benzimidazolyum ve kalkon farmakoforlarının birleştirilmesiyle tasarlanan yeni hibrit bileşiklerin kolinerjik sistem üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, çeşitli substitüe benzimidazolyum-kalkon türevleri sentezlenmiş ve yapıları spektroskopik yöntemlerle aydınlatılmıştır. Elde edilen bileşiklerin kolinerjik aktivitesi, özellikle asetilkolinesteraz (AChE) ve bütirilkolinesteraz (BChE) enzimleri üzerindeki inhibitör etkileri üzerinden değerlendirilmiştir. Ayrıca, bileşiklerin antioksidan potansiyelleri ve yapısal özellikleri ile biyolojik aktiviteleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Sonuçlar, bazı türevlerin anlamlı düzeyde kolinesteraz inhibitör aktivite sergilediğini ve potansiyel nörodejeneratif hastalık tedavilerinde aday moleküller olabileceğini göstermiştir. Bu bulgular, benzimidazolyum-kalkon hibritlerinin ilaç geliştirme çalışmalarında umut verici bir yapı iskeleti sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Benzimidazolyum, Kalkon, Asetilkolinesteraz (AChE), Bütirilkolinesteraz (BuChE)

Destek/Teşekkür:
Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından ***SSYO-2026-002*** *numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.*

ABSTRACT

In this study, it was aimed to investigate the cholinergic effects of newly designed hybrid compounds combining benzimidazolium and chalcone pharmacophores. For this purpose, a series of substituted benzimidazolium–chalcone derivatives were synthesized and structurally characterized using spectroscopic techniques. The cholinergic activities of the synthesized compounds were evaluated based on their inhibitory effects on acetylcholinesterase (AChE) and butyrylcholinesterase (BChE) enzymes. In addition, the antioxidant potentials of the compounds and the relationship between their structural features and biological activities were examined.

The results demonstrated that some derivatives exhibited significant cholinesterase inhibitory activity and could be considered as potential candidates for the treatment of neurodegenerative diseases. These findings suggest that benzimidazolium–chalcone hybrids represent a promising scaffold for drug development studies.

Keywords: Benzimidazolium, Chalcone, Acetylcholinesterase (AChE), Butyrylcholinesterase (BuChE)

Acknowledgement:
This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Sivas Cumhuriyet University under project number ***SSYO-2026-002****.*

FROM PRACTICE TO CURRICULUM: AI LITERACY AND PROMPT ENGINEERING INTEGRATION IN HIGHER EDUCATION

Mehmet AYDIN
Director of Infrastructure & Cloud Architecture, ESH Bilisim / Siaflex | IBM Champion 2026
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-6407-1090

Dr. Mukadder Guneri
Independent Researcher
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-4384-6183

Abstract
Policies grew. Curricula did not. UNESCO checked over 450 institutions in 2023. Fewer than ten percent had written anything formal on AI. That number went up by 2025, but here's the catch: writing a policy and teaching a class are not the same act, and the distance between them is still wide open. Turkey shows the same split. Elcicek (2024) surveyed 870 students, found literacy low. Erdem (2025) found something more specific: project-based programs do raise competency, but the ethical and safety piece keeps falling short, every single time, which is more or less the exact problem this paper is trying to solve. We come from two different places ourselves. One of us spent twenty years in corporate IT, hands in the actual work. The other teaches and writes academically while using AI tools daily. Put those two views in one study and you get something neither field produces alone, no exaggeration there. Method-wise, this is systematic literature review paired with interpretive phenomenological analysis. The four-tier model leans on Bloom's taxonomy and constructivist theory, moving from basic awareness, through prompt design, into critical evaluation, and finally ethical integration. Tier three is where it gets interesting. Catching a hallucination is the easy half. The hard half is teaching someone to question an answer that sounds correct, not just one that's obviously wrong, and most curricula skip this entirely. They shouldn't. The model travels across disciplines fine, and for institutions stuck at the policy-statement stage, it offers somewhere concrete to actually start.
Keywords*:* AI literacy, prompt engineering, epistemic autonomy, higher education curriculum, Bloom's taxonomy, generative AI.

ACİPENSER BAERİİ (BRANDT, 1869) KARACİĞERİ KARBONİK ANHİDRAZI ÜZERİNE BAZI METAL İYONLARININ IN VITRO ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF THE IN VITRO EFFECTS OF SOME METAL IONS ON LIVER CARBONIC ANHYDRASE OF ACIPENSER BAERII (BRANDT, 1869)

Hatice ŞAHİN
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Fen Bilimleri Enstitüsü-Biyokimya Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-6359-6625

Ümit Muhammet KOÇYİĞİT
Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Eczacılık Fakültesi- Farmasötik Biyokimya Ana Bilim Dalı, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8710-2912

Salih GÖRGÜN
Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi- Fen Fakültesi- Biyokimya Bölümü, Sivas, Türkiye.
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2121-2577

Ali GÜNLÜ
Prof. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Bölümü, Muğla, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9662-7497

ÖZET

Bu çalışmada, *Acipenser baerii* (Brandt, 1869) karaciğerinden karbonik anhidraz (EC 4.2.1.1) (CA) enzimi, Sepharose-4B-L-tirozin-sülfonamid afinite kromatografisi kullanılarak kısmi olarak saflaştırılmıştır. Saflaştırma parametreleri, karaciğer CA-I için %17,80 saflık, %43,58 verim ve 1,85 EU/mg protein spesifik aktivite olarak belirlenmiştir. Karaciğer CA-II için ise bu parametreler 10,6 kat saflık, %16,1 verim ve 1,107 EU/mg protein spesifik aktivite olarak bulunmuştur. Saflaştırma basamakları SDS-PAGE ile analiz edilmiştir. Ayrıca, elde edilen enzim preparatları üzerine ağır metal iyonlarının inhibitör etkileri araştırılmıştır. Karaciğer CA-I için IC50 değerleri (mM) sırasıyla 1,494 (Co^{2+}), 1,566 (Cd^{2+}), 1,390 (Cu^{2+}), 0,587 (Pb^{2+}) ve 0,987 (Fe^{2+}) olarak belirlenirken; karaciğer CA-II için bu değerler 1,432 (Co^{2+}) ve 0,608 (Cd^{2+}) olarak bulunmuştur. Karaciğer CA-II için Cu^{2+}, Pb^{2+} ve Fe^{2+}metallerinin IC_{50} değerleri saptanamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Karbonik anhidraz (EC 4.2.1.1), *Acipenser baerii* (Brandt,1869), saflaştırma, karaciğer, ağır metal etkisi

ABSTRACT

In this study, carbonic anhydrase (EC 4.2.1.1) (CA) enzyme from the liver of Siberian Sturgeon *Acipenser baerii* (Brandt,1869) was partially purified using Sepharose-4B-L-tyrosine sulfanilamide affinity chromatography. The purification parameters were determined as 17.80% purity, 43.58% yield, and a specific activity of 1.85 EU/mg protein for liver CA-I. These parameters were found to be 10.6 purity, 16.1% yield, and 1.107 EU/mg protein specific activity for the liver CA-II. Purification steps were analysed by SDS-PAGE. Additionally, the inhibitory effects of heavy metal ions on the obtained enzyme preparations were investigated. While IC_{50} values (mM) for liver CA-I were determined as 1.494 (Co^{2+}), 1.566 (Cd^{2+}), 1.390 (Cu^{2+}), 0.587 (Pb^{2+}), 0.987 (Fe^{2+}), these values for liver CA-II were found to be 1.432 (Co^{2+}), 0.608 (Cd^{2+}). The IC_{50} values of Cu^{2+}, Pb^{2+}, and Fe^{2+} could not be determined for the liver carbonic anhydrase CA II.

Keywords: Carbonic Anhydrase (EC 4.2.1.1), *Acipenser baerii* (Brandt,1869), purification, liver, heavy metal effect

FEN EĞİTİMİNDE MÜHENDİSLİK ÖĞRETİMİNİN PEDAGOJİK BOYUTLARI: ÖĞRETMEN ADAYLARININ TEKNOLOJİ, ÖĞRETİM SÜRECİ VE DEĞERLENDİRME DENEYİMLERİ

PEDAGOGICAL DIMENSIONS OF ENGINEERING TEACHING IN SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' EXPERIENCES WITH TECHNOLOGY, INSTRUCTIONAL PROCESS, AND ASSESSMENT

Bilim Uzm. Hanife ÇETİNGÜNEY
Erciyes Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
ORCID: 0000-0002-2159-2207

Prof. Dr. Uğur BÜYÜK
Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
ORCID: 0000-0002-6830-8349

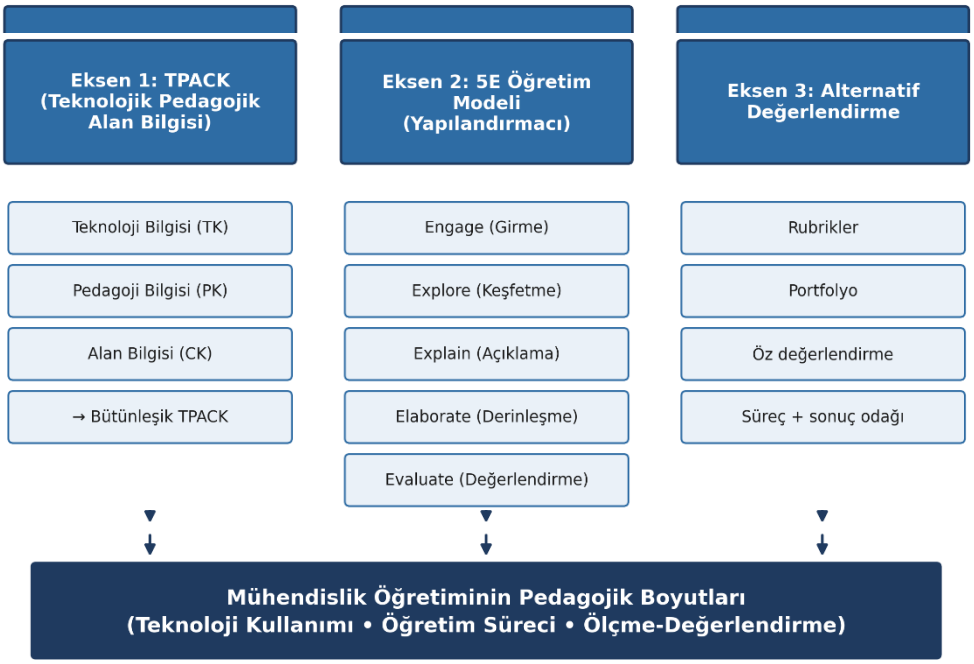
ÖZET
Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına; teknoloji kullanımı, öğretim süreci ve değerlendirme uygulamaları ilişkin deneyimlerini fenomenolojik bir yaklaşımla ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji yaklaşımıyla yürütülmüştür. Katılımcılar, ölçüt örnekleme tekniğiyle belirlenen ve öğretmenlik uygulamaları kapsamında mühendislik tasarım etkinliklerine yer vermiş sekiz fen bilimleri öğretmen adayından (altı kadın, iki erkek) oluşmaktadır. Veriler yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla toplanmış; olgunun yaşantısal anlamını sistematik biçimde çözümlemek üzere betimsel içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Bulgular dört ana tema altında ele alınmaktadır: (1) teknoloji ve mühendislik eğitimi; (2) mühendislik becerilerinin öğretim basamakları; (3) fen eğitiminde mühendislik yöntemleri; (4) değerlendirme ve ölçme süreçleri. Öğretmen adayları simülasyon programları, 3B modelleme araçları ve kodlama platformlarını öğretimde yenilikçi fırsatlar olarak değerlendirmiş; ancak altyapı yetersizliği ve öğrenciler arası dijital erişim farklılıklarını temel engeller olarak tanımlamıştır. Adaylar, proje tabanlı öğrenme ve 5E modeli gibi pedagojik yaklaşımları mühendislik tasarım süreciyle bütünleştirme eğilimi göstermiş; değerlendirme süreçlerinde ise rubrik ve portfolyo gibi alternatif yöntemleri öne çıkarmıştır. Bununla birlikte teknoloji bilgisinin pedagojik bilgiye dönüşümünde ve sürecin yinelemeli aşamalarının yönetiminde belirgin gelişim alanları saptanmıştır. Araştırma bulguları, öğretmen yetiştirme programlarında pedagojik içerik bilgisini teknoloji entegrasyonu ve süreç odaklı değerlendirmeyle bütünleştiren uygulamalı içeriklere duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Mühendislik öğretimi, pedagojik yeterlik, teknoloji entegrasyonu, ölçme-değerlendirme, fenomenoloji.

ABSTRACT
This study aims to reveal, through a phenomenological approach, the experiences of prospective science teachers regarding the pedagogical dimensions of engineering teaching; technology use, instructional processes, and assessment practices. The research was conducted using a phenomenological design within a qualitative research framework. Participants consisted of eight prospective science teachers (six female, two male) selected through criterion sampling, all of whom had incorporated engineering design activities into their teaching practicum. Data were collected through semi-structured interviews and analyzed through descriptive content analysis in order to systematically interpret the lived meaning of the phenomenon. Findings are organized around four main themes: (1) technology use in engineering teaching; (2) instructional steps for engineering skills; (3) methods for teaching engineering in science education; and (4) assessment and evaluation processes. Prospective teachers regarded simulation programs, 3D modeling tools, and coding platforms as innovative instructional opportunities, while identifying infrastructure deficiencies and disparities in students' digital access as primary obstacles. They reported a tendency to integrate pedagogical frameworks such as project-based learning and the 5E model with the engineering design process, and emphasized alternative assessment methods including rubrics and portfolios. Nevertheless, notable areas for growth emerged in transforming

technological knowledge into pedagogical knowledge and in managing the iterative phases of the process. The findings highlight the need for teacher education programs to develop applied content that integrates pedagogical content knowledge with technology use and process-oriented assessment practices.
Keywords: Engineering teaching, pedagogical competence, technology integration, assessment and evaluation, phenomenology.

GİRİŞ

Küresel ölçekte hız kazanan teknolojik dönüşüm, fen ve mühendislik eğitimini köklü biçimde yeniden biçimlendirmektedir. Fen bilimleri öğretmenleri, artık yalnızca bilimsel kavramları aktarmakla değil; öğrencilerin bu kavramları gerçek dünya problemlerine uygulayabilecekleri mühendislik temelli öğrenme deneyimlerini tasarlayabilmekle de yükümlüdür (NRC, 2012; NGSS, 2013). Bu beklenti, öğretmenin üstlendiği rolü temelden dönüştürmektedir: bilgi aktarıcılığından pedagojik süreç tasarımcılığına, tek boyutlu içerik sunumundan teknoloji entegrasyonunu da kapsayan çok katmanlı bir öğretim anlayışına geçiş kaçınılmaz hâle gelmektedir (Mishra & Koehler, 2006). Türkiye'de 2018 yılında güncellenen Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı, fen ve mühendislik uygulamalarını temel öğrenme alanı olarak programa dâhil etmiş; öğrencileri disiplinler arası bir bakış açısıyla bilgi üretimine ve ürün geliştirmeye yönlendirmeyi açık bir hedef olarak belirlemiştir (MEB, 2018). Bu programsal dönüşüm, öğretmen adaylarının yalnızca mühendislik tasarım sürecini bilmelerini değil; bu süreci teknolojiyle donatılmış, pedagojik olarak gerekçelendirilmiş ve süreç odaklı biçimde değerlendirilen öğrenme ortamlarına dönüştürebilmelerini de gerektirmektedir.
Bu araştırmanın kavramsal temeli birbiriyle eklemlenmiş üç teorik eksen üzerine kurulmaktadır; bu çerçeve Şekil 1'de görselleştirilmektedir.



Şekil 1. TPACK, 5E modeli ve alternatif değerlendirme eksenlerini gösteren kavramsal çerçeve.

Birinci eksen TPACK: Mishra ve Koehler'in (2006) geliştirdiği TPACK çerçevesi, öğretmenin yetkinliğini teknoloji bilgisi (TK), pedagoji bilgisi (PK) ve alan bilgisi (CK) olmak üzere üç bileşenin dinamik etkileşimi olarak tanımlamaktadır. Bu çerçeve, Shulman'ın (1986) pedagojik alan bilgisi (PAB) kavramını teknoloji boyutuyla genişleten bir kuramsal soy çizgisine dayanmaktadır. Etkili mühendislik öğretimi için öğretmenin hangi teknolojinin hangi pedagojik bağlamda ve hangi mühendislik içeriğiyle birleştirilmesi gerektiğini bilmesi zorunludur (Ünal, 2013; Aksoğan & Bulut Özek, 2020).

İkinci eksen 5E Öğretim Modeli: Bybee ve arkadaşlarının (2006) geliştirdiği 5E modeli (Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate), mühendislik tasarım sürecinin yinelemeli yapısıyla yüksek uyumluluk gösteren yapılandırmacı bir öğretim çerçevesi sunmaktadır. Proje tabanlı öğrenme ve problem tabanlı öğrenmeyle birleştirildiğinde bu model, öğrencilerin gerçek dünya senaryoları üzerine tasarım yapmalarını ve test etmelerini mümkün kılmaktadır (Krajcik & Blumenfeld, 2006; English, 2016). Mühendislik tasarımının fen sınıflarına entegrasyonu, bütünleşik STEM çerçevelerinde de disiplinler arası bağ kuran temel bir bağlam olarak konumlandırılmaktadır (Bybee, 2013; Kelley & Knowles, 2016).

Üçüncü eksen Alternatif Değerlendirme: Rubrikler, portfolyo ve öz değerlendirme gibi alternatif yöntemler; mühendislik tasarım sürecinin tüm boyutlarını bütüncül biçimde görünür kılmaktadır (Brookhart, 2013; Andrade, 2010; Jonsson & Svingby, 2007).

Uluslararası alanyazın incelendiğinde, teknoloji ile mühendislik eğitiminin kesiştiği araştırmaların öncelikle simülasyon araçlarının kavramsal öğrenmeye etkisine (Al Arabi vd., 2022; Kefalis vd., 2025) ve STEM uygulamalarında dijital araç kullanımına (Novak & Wisdom, 2018) yoğunlaştığı görülmektedir. Mühendislik tasarımının fen sınıflarına taşınmasına ilişkin temel çalışmalar, sürecin K-12 düzeyinde nasıl yapılandırılabileceğine dair erken çerçeveler sunmuş (Apedoe vd., 2008; Brophy vd., 2008); daha güncel çalışmalar ise mühendislik tasarım sürecinin öğretim basamaklarını fen eğitimi bağlamında ayrıntılandırmıştır (Ganesh & Schnittka, 2014; Winarno vd., 2020). Öğretmen adaylarının teknoloji entegrasyonu sürecindeki pedagojik kararlarını ele alan araştırmalar ise oldukça sınırlı kalmaktadır (Cunningham & Carlsen, 2014). Capobianco ve arkadaşları (2018), öğretmenlerin mühendislik tasarım temelli fen öğretimini uygulama biçimlerinin sınıf bağlamına ve öğretmen bilgisine göre belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Ulusal alanyazın ele alındığında, Türkiye'deki mühendislik eğitimi araştırmalarının büyük çoğunluğunun STEM çatısı altında genel tutum ve farkındalık ölçümlerine (Bakırcı & Kutlu, 2018) ya da mühendislik tasarım sürecinin öğrenci başarısı üzerindeki etkisine (Kınık Topalsan, 2018) odaklandığı görülmektedir. Teknoloji erişimindeki bölgesel ve sosyoekonomik eşitsizliklerin öğretim süreçlerini biçimlendiren yapısal bir değişken olduğu da ulusal çalışmalarda giderek daha fazla vurgulanmaktadır (Altun & Bangir-Alpan, 2021).

Alanyazındaki bu görünümden hareketle üç kritik boşluk tespit edilmektedir. Birincisi, mevcut araştırmaların büyük çoğunluğu öğretmen adaylarının teknolojiyi kullanıp kullanmadığını ölçmekte; hangi pedagojik kararlar çerçevesinde kullandıklarını ise derinlemesine incelememektedir. İkincisi, mühendislik tasarım sürecine özgü değerlendirme uygulamaları öğretmen adaylarının deneyim perspektifinden fenomenolojik bir çerçevede araştırılmamıştır. Üçüncüsü, teknoloji kullanımı, öğretim yöntemleri ve değerlendirme süreçlerini bütüncül biçimde ele alan çalışmalar ulusal alanyazında neredeyse hiç yer bulmamıştır.

Araştırmanın Amacı ve Alt Problemler

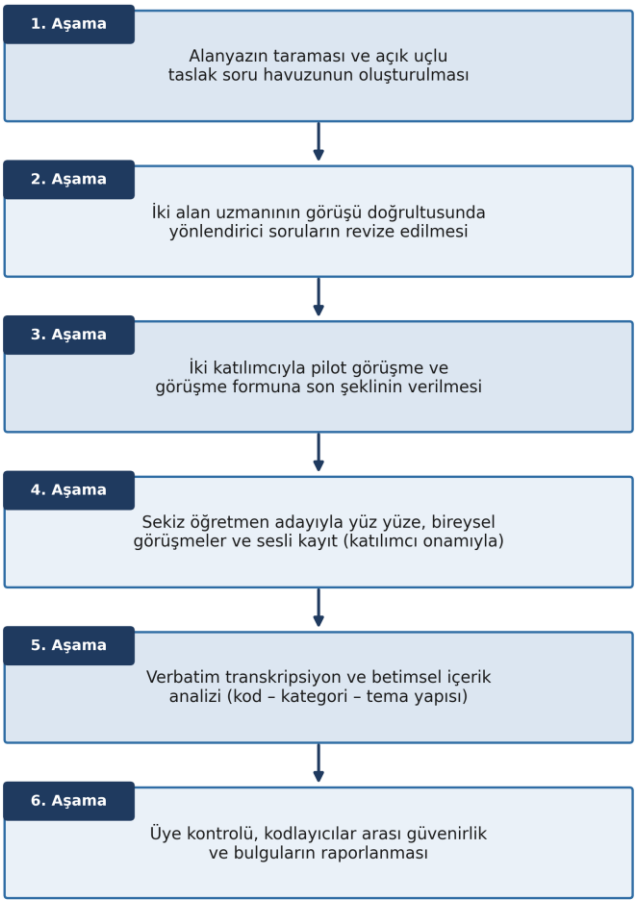
Bu araştırma, öğretmenlik uygulamaları kapsamında mühendislik tasarım etkinliklerini sınıfa taşımış fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına (teknoloji kullanımı, öğretim süreci ve değerlendirme uygulamaları) ilişkin deneyimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranmaktadır:

- Öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminde teknoloji ve dijital araç kullanımına ilişkin deneyimleri nasıldır?
- Öğretmen adaylarının mühendislik becerilerini öğretim sürecine yansıtma ve basamaklandırma biçimleri nasıl şekillenmektedir?
- Öğretmen adayları fen eğitiminde mühendislik öğretiminde hangi yöntemleri tercih etmekte ve bu yöntemleri uygulamada ne tür güçlüklerle karşılaşmaktadır?
- Öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecini değerlendirme ve ölçme uygulamaları nasıl kurgulanmaktadır?

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma desenlerinden olgubilim (fenomenoloji) yaklaşımıyla yürütülmüştür. Olgubilim; belirli bir olguyu ya da deneyimi yaşayan bireylerin o deneyime yükledikleri öznel anlamları, araştırmacının ön kabullerini paranteze alarak derinlemesine keşfetmeyi amaçlar (Creswell, 2019; Merriam, 2013). Fen eğitiminde mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına ilişkin öğretmen adaylarının deneyimlerinin öznel anlamının anlaşılması bu araştırmanın temel amacını oluşturduğundan, olgubilim deseni araştırma sorularıyla doğrudan uyum içindedir. Bu çalışmada olgubilim, olgunun yaşantısal anlamını açığa çıkaran kuramsal ve yöntemsel bir yönelim olarak benimsenmiş; verilerin çözümlenmesinde ise bu yönelimle uyumlu biçimde betimsel içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Yaşantısal deneyim verilerinin sistematik kod–kategori–tema yapısı içinde çözümlenmesi, olgubilim deseni ile içerik analizini bütünleştiren yaygın ve kabul gören bir uygulamadır (Patton, 2002; Silverman, 2013; Yıldırım & Şimşek, 2016). Araştırma sürecinin altı aşamasını gösteren akış şeması Şekil 2'de sunulmaktadır.



Şekil 2. Araştırma sürecinin altı aşamasını gösteren akış şeması.

Bu araştırmada her iki araştırmacı da mühendislik öğretimine ilişkin kişisel deneyimlerini veri toplamadan önce yazılı olarak kayıt altına almış; araştırmacı ön kabullerinin bulgular üzerindeki etkisini en aza indirmek üzere paranteze alma ilkesi uygulanmıştır (Moustakas, 1994). Ayrıca araştırmacı ile katılımcılar arasında öğretim sürecinden kaynaklanabilecek bir güç ilişkisinin yanıtları biçimlendirmesini önlemek amacıyla, katılımcılara verecekleri yanıtların hiçbir akademik değerlendirmeyle ilişkilendirilmeyeceği açıkça bildirilmiştir.

Çalışma Grubu

Araştırma, öğretmenlik uygulamaları dersi kapsamında mühendislik tasarım etkinliklerine yer veren fen bilimleri öğretmen adaylarıyla yürütülmüştür. Amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği benimsenmiştir. Katılımcıların belirlenmesinde üç temel ölçüt gözetilmiştir: (1) fen bilimleri öğretmenliği lisans programına kayıtlı olmak, (2) öğretmenlik uygulamaları kapsamında mikro-öğretim yapmış olmak ve (3) araştırmaya gönüllü katılmayı kabul etmek. Sekizinci görüşmeden sonra yeni tema ya da kategori üretiminin durduğu gözlenmiş, teorik doyuma ulaşıldığı değerlendirilmiş; böylece sekiz fen bilimleri öğretmen adayı (altı kadın, iki erkek) çalışmaya dâhil edilmiştir (Lincoln & Guba, 1985; Patton, 2002). Katılımcılara ÖA-1'den ÖA-8'e kadar kodlar atanmıştır.

Veri Toplama Aracı ve Süreci

Araştırmacılar tarafından geliştirilen ve açık uçlu sorulardan oluşan yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır (Kvale & Brinkmann, 2009). Görüşme formunun geliştirilmesinde önce kapsamlı bir alanyazın taraması yapılmış; taslak form eğitim alanında uzman iki akademisyenin değerlendirmesine sunulmuştur. Uzman önerileri doğrultusunda katılımcıyı sınırlandırma riski taşıyan sorular yeniden yazılmıştır; örneğin başlangıçta yer alan "Mühendislik becerilerini fen eğitimine entegre ederken proje tabanlı öğrenmeyi nasıl kullanırsınız?" sorusu, katılımcının kendi yöntem repertuarını açığa çıkaracak biçimde "Mühendislik becerilerini fen eğitimine entegre ederken hangi yöntemleri kullanırsınız?" olarak revize edilmiştir. Revizyon sonrası iki katılımcıyla pilot görüşme yapılmış ve forma son şekli verilmiştir. Görüşmeler yüz yüze ve bireysel olarak gerçekleştirilmiş; katılımcı onaylı sesli kayıtlar verbatim transkripte dönüştürülmüştür.

Veri Analizi

Veriler betimsel içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir (Krippendorff, 2018; Miles vd., 2014). Transkriptler satır satır okunarak kodlanmış; kodlar kategoriler altında birleştirilmiş, kategoriler dört ana temada yapılandırılmıştır. Örneğin "altyapı yetersizliği", "internet hızının yetersizliği", "teknolojinin hızlı değişimi" ve "donanım eksikliği" kodları birleştirilerek "altyapı ve donanım sorunları" kategorisi oluşturulmuş; bu kategori diğer ilgili kategorilerle birlikte "teknoloji ve mühendislik eğitimi" teması altında toplanmıştır. Kodlama, olgubilim yönelimine uygun biçimde katılımcıların ifadelerine dayalı ve tümevarımsal olarak yürütülmüş, böylece anlamların önceden belirlenmiş kategorilere zorlanması engellenmiştir.

Geçerlik ve Güvenirlik

İnandırıcılık kapsamında her katılımcıya ait transkript ve ilk kodlamalar üye kontrolü amacıyla ilgili katılımcıyla paylaşılmış; aktarılabilirlik için araştırma bağlamı, katılımcı özellikleri ve veri toplama süreci ayrıntılı biçimde betimlenmiştir (Guba, 1981; Lincoln & Guba, 1985).

Tutarlık ve doğrulanabilirlik açısından kodlayıcılar arası güvenirlik, alanında uzman bağımsız bir akademisyenin gerçekleştirdiği ikinci kodlama üzerinden Miles ve Huberman'ın (1994) formülü kullanılarak hesaplanmıştır: Güvenirlik = Görüş Birliği / (Görüş Birliği + Görüş Ayrılığı) × 100. Yapılan hesaplama sonucunda kodlayıcılar arası uyum oranı %84 olarak bulunmuş ve bu değerin, nitel araştırmalarda kabul gören %80 eşiğinin üzerinde olduğu görülmüştür (Miles vd., 2014).

Etik

Bu araştırma, Erciyes Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu'nun 30.01.2025 tarihli ve 024 sayılı kararıyla etik onay almıştır. Tüm katılımcılara araştırmanın amacı ve kapsamı açıklanmış; gönüllü katılım ve gizlilik hakları konusunda bilgilendirilmiş onam alınmıştır. Katılımcıların kimlik bilgileri kodlama yoluyla anonimleştirilmiştir.

BULGULAR

Dört alt probleme yanıt aranmış, bulgular dört ana tema altında yapılandırılmıştır. Araştırmanın bütüncül tematik yapısı Şekil 3'te görselleştirilmektedir.

Şekil 3. Dört ana temayı gösteren tematik harita.

Tema 1: Öğretmen Adaylarının Teknoloji ve Mühendislik Eğitimi ile İlgili Görüşleri
Bu tema; mühendislik öğretiminde kullanılan dijital araçları, öğrenciye uyarlama stratejilerini, süreçteki güçlükleri ve yeterlik algılarını kapsamaktadır. Bulgular TPACK çerçevesi üzerinden yorumlanmıştır.

Tablo 1. Mühendisliği öğretirken teknoloji kullanımı

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Simülasyon ve görselleştirme	Simülasyon programları (PhET, Algodoo)	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Online deney araçları, eğitim uygulamaları	ÖA-2
Sunum ve öğretim	Akıllı tahta	ÖA-3, ÖA-8
	Sunum programları / araçları	ÖA-3, ÖA-8
	Eğitim videoları	ÖA-8
Dijital destek	Yapay zekâ araçları, Web 2.0 araçları	ÖA-4, ÖA-7
Tasarım ve üretim	3B tasarım/modelleme (Tinkercad, AutoCAD)	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7
Kodlama ve elektronik	Kodlama araçları (Arduino, mBlock)	ÖA-1, ÖA-6

Tablo 1 incelendiğinde, teknoloji kullanımının simülasyon programları (katılımcıların çoğunluğu) ve 3B tasarım araçları (katılımcıların yarısından fazlası) etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu örüntü, adayların teknoloji bilgisi (TK) boyutunda görece güçlü bir donanıma sahip olduğunu; ancak teknolojik pedagojik bilgi (TPK) boyutunda gelişme sürecinde bulunduklarını ortaya koymaktadır (Mishra & Koehler, 2006). ÖA-1'in ifadesi bu teknoloji repertuarını özetlemektedir:
"Simülasyonlar (PhET gibi), 3B tasarım programları (Tinkercad), basit kodlama araçları (Arduino veya mBlock) olabilir." (ÖA-1)

Tablo 2. Mühendisliği öğretirken teknolojiyi öğrenciye uyarlama

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Dijital modelleme ve simülasyon	Simülasyon, interaktif uygulamalar	ÖA-2, ÖA-6
	Dijital modelleme	ÖA-1
	Sanal deneylerle maliyet/güvenlik avantajı	ÖA-6
Görev ve yönlendirme	Basit, yönlendirmeli görevler, grup çalışması, rol paylaşımı	ÖA-3, ÖA-4
Öğrenci profili ve altyapı	Öğrencilerin dijital hâkimiyeti, altyapı sorunları	ÖA-7

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Araştırma ve sunum becerileri	Araştırma ve sunum	ÖA-8
Kodlama ve somut üretim	Blok tabanlı kodlama, sensörlü cihaz tasarımı	ÖA-5

Tablo 2, adayların teknolojiyi öğrenciye uyarlarken dijital modelleme ve simülasyonu öne çıkardığını; uyarlama stratejilerinin öğrenci profili ve altyapı koşullarına duyarlı biçimde çeşitlendiğini göstermektedir. Özellikle sanal deneylerin maliyet ve güvenlik avantajına yapılan vurgu, adayların teknolojiyi yalnızca araç değil, pedagojik bir olanak olarak değerlendirme eğilimini yansıtmaktadır. ÖA-6 bu yaklaşımı şöyle ifade etmiştir:
"Öğrencilere simülasyonlar üzerinden sanal deneyler yaptırılarak maliyet ve güvenlik riski azaltılır." (ÖA-6)

Tablo 3. Mühendisliği teknolojiye uyarlarken zorlanılan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Altyapı ve donanım sorunları	Altyapı yetersizliği	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-7, ÖA-8
	İnternet hızının yetersizliği, teknolojinin hızlı değişimi, donanım eksikliği	ÖA-4, ÖA-6
Yazılım ve araç kaynaklı zorluklar	Yazılımların ağır olması, araçların çalışmaması	ÖA-1, ÖA-2
Öğrenci farklılıkları ve erişim sorunları	Eşit erişim sorunu	ÖA-3, ÖA-5
	Öğrencilerin farklı hızlarda öğrenmesi	ÖA-2
	Öğrencilerin teknoloji kullanımının gelişmemiş olması	ÖA-5
Çevresel ve bölgesel koşullar	Köy okullarında imkânsızlık	ÖA-4

Tablo 3, en sık dile getirilen güçlüğün altyapı ve donanım yetersizliği olduğunu ortaya koymaktadır. Eşit erişim sorunu ve köy okullarındaki imkânsızlık gibi kodlar, sürecin yalnızca bireysel pedagojik yetkinlikle açıklanamayacak yapısal bir dijital erişim eşitsizliğine işaret etmektedir. ÖA-4 bu yapısal engeli açıkça ifade etmiştir:
"Okullardaki teknolojik donanım eksikliği ve internet hızı en büyük kısıtlayıcı faktör olabiliyor. Hele ki köy okullarında bu çalışmaları yapmak neredeyse imkânsız." (ÖA-4)

Tablo 4. Mühendisliği teknolojiye uyarlarken yeterli oldukları noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Teknolojiyi ders içeriklerine uyarlama	Teknolojiyi ders içeriklerine entegre etme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-8
	Öğrencilerin kavramları anlamalarını destekleme	ÖA-2
	Sunum ve dijital içerik hazırlama	ÖA-3
	Dijital okuryazarlık, öğretim teknolojilerini materyal tasarımına uyarlama	ÖA-6
Öğrenci gelişimi ve rehberlik	Öğrencilerin sosyal becerilerini geliştirme	ÖA-4, ÖA-5
	Teknoloji kullanma seviyesini yeterli görme	ÖA-5

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Kişisel motivasyon ve merak	Araştırma yapma isteği ve merak, teknolojiye karşı kişisel ilgi ve heves	ÖA-7

Tablo 4, adayların kendilerini en yetkin hissettikleri alanın teknolojiyi ders içeriklerine uyarlama olduğunu; bunu öğrenci gelişimi-rehberlik ve kişisel motivasyon-merak boyutlarının izlediğini göstermektedir. Yeterlik algısının içerik entegrasyonunda yoğunlaşması, TPK gelişiminin olumlu bir başlangıç çekirdeği taşıdığına işaret etmektedir. ÖA-5 güçlü yönlerini şu şekilde ifade etmiştir:
"Kendimi yeterli gördüğüm noktalar ise disiplinler arası etkileşimi sağlama, öğrenciye rehberlik yapma ve teknoloji kullanma seviyemdir." (ÖA-5)

Tema 2: Öğretmen Adaylarının Mühendislik Becerileri ve Öğretim Basamakları ile İlgili Görüşleri
Bu tema; öğretim basamaklarını, etkinlikleri, güçlükleri ve yeterlik algılarını kapsamaktadır. Bulgular 5E modeli perspektifinden yorumlanmıştır.

Tablo 5. Mühendislik becerilerinde kullanılan basamaklar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Klasik mühendislik tasarım basamakları	Problemi belirleme / tanımlama	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Planlama ve tasarım yapma	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Çözüm yolları geliştirme / hayal etme / öneri oluşturma	ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Test etme	ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Prototip / model oluşturma	ÖA-3, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Geliştirme / iyileştirme	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
Model entegrasyonu	5E modeli entegrasyonu	ÖA-1
	Probleme dayalı öğrenme stratejisi	ÖA-7

Tablo 5'te problemi belirleme ve planlama-tasarım basamaklarının katılımcıların büyük çoğunluğunca dile getirilmesi, klasik tasarım sürecinin başlangıç adımlarına ilişkin güçlü bir farkındalığa işaret etmektedir. Buna karşın "geliştirme/iyileştirme" basamağının yalnızca üç adayla sınırlı kalması, MTS'nin döngüsel yapısının öğretim sürecine yeterince yansıtılamadığını düşündürmektedir (Daly vd., 2012). ÖA-5'in ifadesi bu konudaki en kapsamlı pedagojik yaklaşımı yansıtmaktadır:
"Mühendislik tasarım becerilerinde ilk olarak öğrenciden problemi tanımlamasını isterim… İyileştirme aşamasında ise modelin zayıf ya da hatalı yönlerini nasıl düzeltebileceklerini düşünmelerini sağlarım." (ÖA-5)

Tablo 6. Basamaklarda öğrencilere yaptırılan etkinlikler

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Tasarım ve planlama	Tasarım çizimi / planlama	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-8
Problem tanımlama	Problemi tanımlama / senaryo sunma	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6
Değerlendirme	Test etme ve değerlendirme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-8

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Üretim	Prototip / model oluşturma	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-5, ÖA-8
Çözüm geliştirme	Çözüm geliştirme / fikir üretme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-4, ÖA-5
İş birliği	Paylaşma / sunma / grup çalışması	ÖA-4, ÖA-5, ÖA-8
İyileştirme	Geliştirme / iyileştirme	ÖA-1, ÖA-5
Öğretim stratejileri	Pedagojik entegrasyon (5E, PTÖ, çalışma kâğıtları)	ÖA-1, ÖA-7

Tablo 6, öğrencilere yaptırılan etkinliklerin ağırlıklı olarak tasarım-planlama ve problem tanımlama etrafında kümelendiğini; pedagojik model entegrasyonunun (5E, PTÖ, çalışma kâğıtları) yalnızca iki adayla sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu örüntü, etkinliklerin klasik tasarım adımlarıyla güçlü, açık pedagojik çerçevelerle ise görece zayıf biçimde ilişkilendirildiğine işaret etmektedir. ÖA-2 etkinlik akışını şöyle özetlemiştir:
"Öğrencilere problem tanımlama, fikir üretme, çözüm planlama ve adım adım tasarım yapma etkinlikleri yaptırırım." (ÖA-2)

Tablo 7. Basamaklarda zorlanılan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Zaman ve planlama zorlukları	Sabır ve zaman gerektirmesi; zaman yönetimi	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-7, ÖA-8
Müfredat / ders saati	Müfredat yoğunluğu, ders saati yetersizliği	ÖA-1, ÖA-5
Öğrenci motivasyonu	Motivasyon kaybı, pes etme eğilimi	ÖA-5, ÖA-6
Öğrenci seviyesi	Öğrenci seviyesine uygun yönlendirme	ÖA-2
İçerik ve problem seçimi	Gerçekçi problem bulma, kazanımlara entegre etme	ÖA-7

Tablo 7, en sık karşılaşılan güçlüğün sürecin sabır ve zaman gerektirmesi ile zaman yönetimi olduğunu ortaya koymaktadır. Müfredat yoğunluğu, öğrenci motivasyonu ve gerçekçi problem seçimi bunu tamamlayan güçlükler olarak öne çıkmaktadır. ÖA-7 planlama ve süreç yönetimine ilişkin yeterlik kaygısını açıkça dile getirmiştir:
"Bu süreçte en çok zorlandığım nokta; konuya uygun gerçekçi bir problem durumu bulup bunu kazanımlara entegre etmek ve döngünün her aşamasını kuralına uygun, eksiksiz planlayabilmek." (ÖA-7)

Tablo 8. Basamaklarda yeterli olunan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Problem belirleme ve seçimi	Problem belirleme, günlük hayat senaryoları, örnek seçme	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-7
Rehberlik ve öğrenci yönlendirme	Öğrencileri doğru sorularla yönlendirme, rehberlik	ÖA-1, ÖA-5, ÖA-6
Öğrenci katılımı ve motivasyonu	Öğrenci motivasyonu ve aktif katılım	ÖA-6, ÖA-8
Etkinlik planlama ve süreç yönetimi	Etkinlik planlama, süreci anlaşılır aktarma, rehberlik	ÖA-2, ÖA-3
Disiplinler arası yaklaşım	Disiplinler arası ilişki kurma	ÖA-5

Tablo 8, adayların kendilerini en yetkin hissettikleri alanların problem belirleme-seçimi ve rehberlik-yönlendirme etrafında kümelendiğini; öğrenci katılımı, etkinlik planlama ve disiplinler arası ilişki kurmanın bunu tamamladığını göstermektedir. ÖA-1 güçlü yönlerini şöyle ifade etmiştir:
"Problem belirleme aşamasında, öğrencilerin günlük hayatıyla bağ kurabilecekleri, onları gerçekten heyecanlandıracak senaryolar oluşturma konusunda; uygulama sırasında ise doğrudan cevap vermek yerine öğrencileri doğru sorularla sorgulamaya yönlendirme konusunda başarılı olacağımı düşünüyorum." (ÖA-1)

Tema 3: Öğretmen Adaylarının Fen Eğitiminde Mühendislik Uygulamalarına İlişkin Görüşleri
Bu tema öğretmen adaylarının fen eğitiminde mühendisliği öğretirken kullandıkları yöntemleri, ölçme değerlendirme aşamasında tercih ettikleri araçları kapsamaktadır. Veriler tablolar aracılığıyla sunulmuştur.

Tablo 9. Fen eğitiminde mühendisliği öğretirken kullanılan yöntemler

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Proje tabanlı yaklaşım	Proje tabanlı öğrenme / öğretim	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
İş birliği ve sosyal etkileşim	İş birlikli öğrenme	ÖA-1, ÖA-5, ÖA-7, ÖA-8
Problem tabanlı yaklaşım	Problem tabanlı öğrenme	ÖA-2, ÖA-7, ÖA-8
Sorgulama ve araştırma	Sorgulamaya dayalı / araştırma odaklı öğrenme	ÖA-1, ÖA-4
Model temelli yaklaşım	5E öğrenme modeli	ÖA-5, ÖA-7
Yenilikçi yaklaşım	Tasarım odaklı düşünme	ÖA-6
Öğrenme kuramı	Yapılandırmacı yaklaşım	ÖA-6

Tablo 9'da proje tabanlı öğrenmenin neredeyse tüm katılımcılar (yedi aday) tarafından benimsenmesi dikkat çekmektedir. Ancak bu yöntemi yapılandırmacı bir gerekçeyle temellendiren yalnızca bir aday bulunmaktadır. ÖA-6'nın ifadesi teorik gerekçelendirmenin nadir örneklerinden biridir:
"Proje tabanlı öğrenme ve tasarım odaklı düşünme yöntemlerini tercih ediyorum. Çünkü bu yöntemler öğrenciyi merkeze alır ve sorumluluk yükler. Yapılandırmacı yaklaşım sayesinde bilgi kalıcı hâle gelmektedir." (ÖA-6)

Tablo 10. Yöntemlerde zorlanılan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Sınıf yönetimi ve disiplin	Aktif öğrenme gürültüsü, sınıf kontrolü, kalabalık sınıf yönetimi	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-7
Zaman yönetimi ve program baskısı	Zaman baskısı, zaman yönetimi	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7
Öğrenci katılımı ve farklılıklar	Öğrencilerin farklı hızlarda ilerlemesi, sürece katılmama	ÖA-2, ÖA-8
Ölçme-değerlendirme araçları	Ölçme-değerlendirme araçlarını belirleme	ÖA-5

Tablo 10, yöntemlerin uygulanmasında en sık karşılaşılan güçlüklerin sınıf yönetimi-disiplin ile zaman yönetimi-program baskısı olduğunu göstermektedir. Aktif öğrenme süreçlerinin gürültü ve kalabalık

sınıf koşullarıyla birlikte anılması, mühendislik temelli yöntemlerin geleneksel sınıf düzeniyle yapısal bir gerilim içinde olduğunu düşündürmektedir. ÖA-1 görüşünü şu şekilde sunuştur:
"Mühendislik uygulamaları doğası gereği hareketli, tartışmalı ve bazen gürültülü süreçlerdir. Bu "aktif öğrenme gürültüsünü" ile "disiplinsizlik" arasındaki ince çizgiyi korumak, özellikle kalabalık sınıflarda yüksek konsantrasyon gerektirip zorluk çıkarabilir."

Tablo 11. Yöntemlerde yeterli olunan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Öğrenci motivasyonu ve katılımı	Gerçek hayat senaryoları, öğrenciyi sürece dahil etme, etkinlik planlama	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-8
Öğretim yöntemleri ve yaklaşımlar	Uygun yöntem seçimi, sorgulama, araştırma-sorgulamaya dayalı öğrenme, yapılandırmacı yaklaşım	ÖA-2, ÖA-4, ÖA-7
Planlama ve esneklik	Esnek ve modüler ders planı, etkinlik yönlendirme	ÖA-6, ÖA-8
Beceri ve değer kazandırma	Eleştirel düşünme, iş birliği, empati, sorumluluk bilinci	ÖA-5

Tablo 11, adayların yöntem boyutunda kendilerini öğrenci motivasyonu-katılımı, uygun yöntem seçimi ve esnek planlama alanlarında yeterli gördüğünü; ÖA-5'in ise mühendislik uygulamalarını bilişsel ve sosyal-duygusal becerilerle ilişkilendirdiğini göstermektedir:
"...eleştirel düşünme, iş birliği, empati ve sorumluluk bilinci gibi becerilerin gelişimine katkı sağladığını düşünüyorum." (ÖA-5)

Tema 4: Öğretmen Adaylarının Değerlendirme ve Ölçme Süreçlerine İlişkin Görüşleri
Bu tema; değerlendirme araçlarını, güçlükleri ve yeterlik algılarını kapsamaktadır. Bulgular alternatif değerlendirme perspektifinden yorumlanmıştır (Brookhart, 2013; Panadero & Jonsson, 2013).

Tablo 12. Mühendislik becerilerini değerlendirme araçları

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Merkezî değerlendirme aracı	Rubrikler (dereceli puanlama anahtarları)	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
Süreç + sonuç değerlendirme	Çaba, revizyon, iş birliği, düşünme süreçleri	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
Gözlem ve kontrol listeleri	Öğretmen gözlemi, kontrol formları	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-8
Öz değerlendirme	Öğrencinin kendi sürecini sorgulaması	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7
Portfolyo	Öğrencinin gelişimini bütüncül görme	ÖA-7
Sunumlar	Öğrencinin ürününü sözlü/görsel ifadesi	ÖA-8

Tablo 12'de rubriklerin tüm katılımcılarca benimsenmesi araştırmanın en tutarlı bulgusudur. Bununla birlikte portfolyonun yalnızca bir adayla sınırlı kalması, sistematik süreç belgelemeye ilişkin önemli bir farkındalık boşluğuna işaret etmektedir. ÖA-4'ün ifadesi rubrik kullanımındaki pedagojik derinliği yansıtmaktadır:
"Sadece finaldeki ürüne değil, tüm tasarım sürecine odaklanan Dereceli Puanlama Anahtarı (Rubrik) kullanırım. Süreçteki çaba, iş birliği ve tasarımın geliştirilme aşamaları puanlamamda etkili olur." (ÖA-4)

Tablo 13. Değerlendirmede zorlanılan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Zaman yönetimi ve pratiklik	Değerlendirmenin zaman alması	ÖA-1, ÖA-6, ÖA-7
Objektiflik ve adalet	Objektif puanlama yapma zorluğu	ÖA-3, ÖA-8
	Kriterleri eşit ve adil uygulama	ÖA-2
Kalabalık sınıflarda dönüt	Bireysel dönüt verme zorluğu	ÖA-4
Grup çalışmaları	Grup katkısını belirleme ve taraflı değerlendirmeleri önleme	ÖA-5

Tablo 13, değerlendirme sürecinde en çok zorlanılan noktaların zaman yönetimi-pratiklik ile objektiflik-adalet olduğunu ortaya koymaktadır. Grup çalışmalarında bireysel katkıyı belirleme güçlüğü, mühendislik tasarım sürecinin iş birlikli doğasından kaynaklanan özgün bir değerlendirme sorununa işaret etmektedir. ÖA-5 bu güçlüğü şöyle ifade etmiştir:
"Karşılaşacağım zorluk grup çalışmalarında kimin ne kadar katkı sağladığını belirlemek, öğrencilerin birbirleri hakkında taraflı değerlendirme yapmasını önlemek olabilir." (ÖA-5)

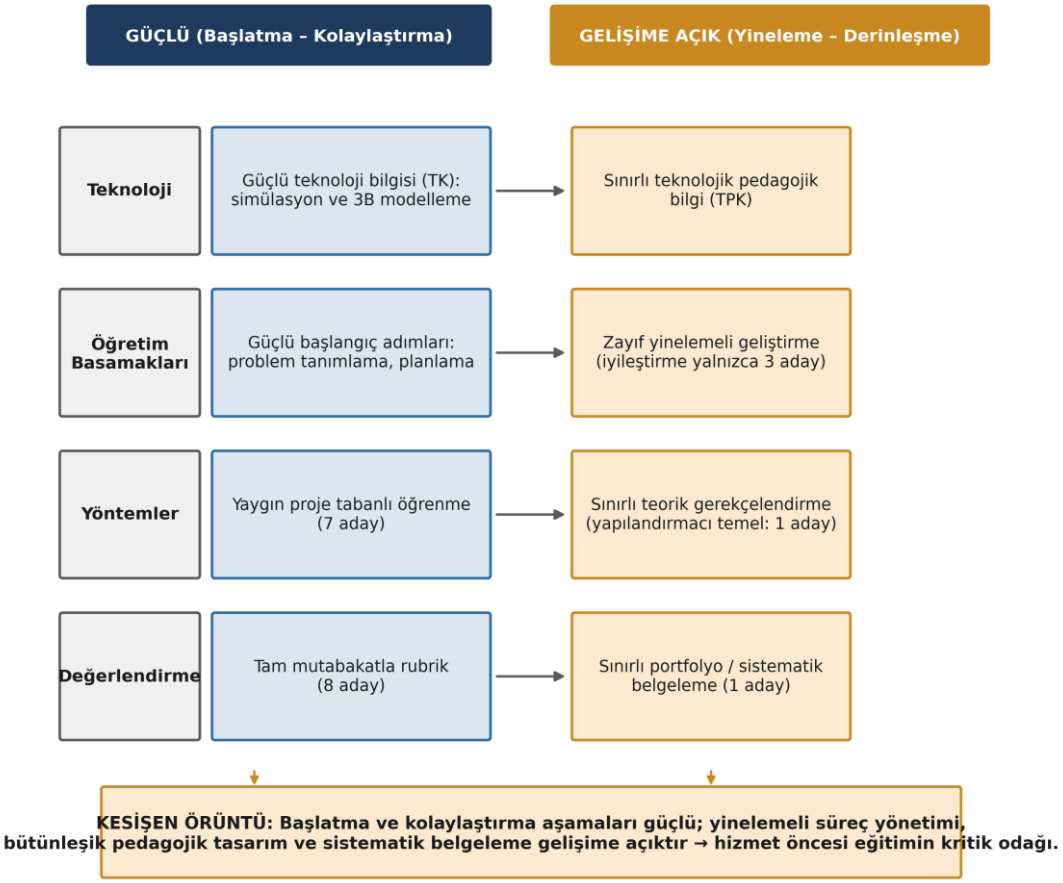
Tablo 14. Değerlendirmede yeterli olunan noktalar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Süreç odaklı değerlendirme	Sürece ve sonuca göre değerlendirme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-7
Rubrik kullanımı	Rubrik oluşturma / adil değerlendirme	ÖA-4, ÖA-8
Geri bildirim / kanıta dayalı yaklaşım	Yapıcı geri bildirim verme	ÖA-2, ÖA-5, ÖA-6
	Veriye dayalı değerlendirme	ÖA-2, ÖA-5

Tablo 14, adayların değerlendirme boyutunda kendilerini en yetkin hissettikleri alanın süreç odaklı değerlendirme olduğunu; rubrik oluşturma, yapıcı geri bildirim ve veriye dayalı değerlendirmenin bunu tamamladığını göstermektedir. ÖA-2 bu yeterliği şöyle ifade etmiştir:
"Kendimi yeterli gördüğüm nokta, öğrencilerin ürünlerini hem sürece hem sonuca göre değerlendirebilmem ve geri bildirim verebilmemdir." (ÖA-2)

TARTIŞMA

Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına ilişkin deneyimlerini dört ana tema çerçevesinde ortaya koymuştur. Bulgular ile kuramsal açıklamalar arasındaki ilişkiler Şekil 4'te görselleştirilmektedir.



Şekil 4. Bulgular, kuramsal açıklamalar ve çıkarımlar arasındaki ilişkileri gösteren tartışma sentez şeması.

Teknoloji Bulgularının Tartışılması

Adayların simülasyon ve 3B modelleme araçlarında güçlü teknoloji bilgisi (TK) ortaya koyması, STEM eğitiminde dijital simülasyonların kavramsal öğrenmeye olumlu etkilerini belgeleyen uluslararası araştırmalarla uyumludur (Al Arabi vd., 2022; Kefalis vd., 2025). Bununla birlikte bu teknoloji bilgisinin pedagoji bilgisiyle (TPK düzeyine) henüz tam olarak dönüşemediği görülmektedir (Mishra & Koehler, 2006; Ünal, 2013). Altyapı yetersizliği ve dijital erişim eşitsizliği ise bireysel pedagojik yetkinliğin ötesinde yapısal bir sorun olarak öne çıkmaktadır (Sezgin, 2025; Ökten, 2024).

Öğretim Basamakları Bulgularının Tartışılması

MTS'nin başlangıç basamaklarında güçlü bir farkındalık sergilenmesi, öğretim sürecine tam aktarımda belirgin güçlükler yaşanmasıyla birlikte okunduğunda, adayların ne öğreteceğini kavramsal düzeyde bildiğini; ancak bunu derinlikli bir pedagojik süreç olarak tasarlayamadığını ortaya koymaktadır. "Geliştirme" basamağının görece ihmal edilmesi, Daly ve arkadaşlarının (2012) bulgularıyla örtüşmekte; 5E modelinin derinleştirme (Elaborate) ve değerlendirme (Evaluate) aşamalarının sınıf ortamında uygulanmasındaki yapısal engellerle de ilişkilendirilebilir (Capobianco vd., 2018).

Yöntemler Bulgularının Tartışılması

Proje tabanlı öğrenmenin neredeyse tüm katılımcılarca benimsenmesi umut verici olmakla birlikte, bu yöntemin teorik gerekçesiyle temellendirilerek uygulandığına dair kanıt oldukça sınırlıdır. Alanyazında "proje çalışması" ile "proje tabanlı öğrenme" arasındaki kavramsal bulanıklığın yaygın olduğu belgelenmiştir (Dym vd., 2005). Sınıf yönetimi güçlüğünün katılımcıların yarısı tarafından öne

çıkarılması, Capobianco ve arkadaşlarının (2012) aktif öğrenme süreçlerinin geleneksel sessiz sınıf normlarıyla yapısal gerilim içinde olduğunu ortaya koyan bulgusuyla örtüşmektedir.

Değerlendirme Bulgularının Tartışılması

Rubriklerin tüm katılımcılarca benimsenmesi ile objektiflik güçlüğünün eş zamanlı öne çıkması bir paradoks oluşturmaktadır: adaylar rubrik kullanmakta, ancak rubrik tasarlayıp geliştirme yetkinliğine henüz erişememektedir (Jonsson & Svingby, 2007). Portfolyonun yalnızca bir adayla sınırlı kalması bu araştırmanın en özgün bulgusunu oluşturmakta; sistematik süreç belgelemenin henüz pedagojik bir pratik hâline gelmediğine işaret etmektedir (Boud & Falchikov, 2006). Geri bildirimin değerlendirme yeterliliği olarak yalnızca üç adayla ifade edilmesi, Hattie ve Timperley'in (2007) geri bildirimi öğrenmeyi etkileyen en güçlü araçlardan biri olarak tanımlayan bulgusuyla kıyaslandığında önemli bir farkındalık açığını gün yüzüne çıkarmaktadır.

Tüm Temaları Kesen Örüntü

Dört temanın bulguları bir arada değerlendirildiğinde, araştırma boyunca tutarlı biçimde tekrar eden bir örüntü öne çıkmaktadır: başlatma ve kolaylaştırma aşamalarında güçlü olan yetkinlikler; yineleme, derinleştirme ve sistematik belgeleme aşamalarında belirgin biçimde zayıflamaktadır. Teknolojide güçlü TK fakat sınırlı TPK, öğretim basamaklarında güçlü başlangıç fakat zayıf geliştirme, değerlendirmede yaygın rubrik fakat sınırlı portfolyo örüntüsü, aynı yapısal boşluğun farklı görünümleridir. Bu tutarlı örüntü, hizmet öncesi eğitimin en kritik gelişim alanını tanımlamaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç

Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına ilişkin deneyimlerini dört tema çerçevesinde ortaya koymuştur. Teknoloji boyutunda adaylar simülasyon ve 3B modelleme araçlarında güçlü TK ortaya koymakta; ancak TPK düzeyine henüz yeterince ulaşamamaktadır. Öğretim basamakları boyutunda başlangıç adımları güçlü, yinelemeli geliştirme aşaması zayıftır. Yöntemler boyutunda proje tabanlı öğrenme baskın olmakla birlikte teorik gerekçe sınırlı kalmakta; değerlendirme boyutunda rubrik kullanımında tam mutabakat bulunurken portfolyo yalnızca bir adayla sınırlı kalmaktadır. Tüm temaları kesen örüntü, başlatma ve kolaylaştırma aşamalarının güçlü; yinelemeli süreç yönetimi, bütünleşik pedagojik tasarım ve sistematik belgelemenin ise gelişime açık olduğudur. Bu araştırma, Türkiye'de öğretmen adaylarının mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarını olgubilim yaklaşımıyla inceleyen özgün bir çalışma olarak ulusal alanyazına katkı sunmaktadır.

Uygulamaya Yönelik Öneriler

Öğretmen yetiştirme programlarında TPACK çerçevesini mühendislik pedagojisiyle bütünleştiren uygulamalı dersler müfredata sistematik biçimde eklenmelidir. 5E modeli ile MTS'yi birleştiren uygulamalı modüller, adayların yinelemeli geliştirme aşamalarındaki eksikliğini giderecektir. Rubrik tasarımı atölyeleri ve portfolyo tabanlı değerlendirme deneyimleri programın zorunlu bileşenleri hâline getirilmelidir. Yapısal düzeyde ise simülasyon yazılımları, maker ekipmanları ve esnek ders saati düzenlemelerinin yaygınlaştırılması; farklı sosyoekonomik bölgelerdeki okullara yönelik altyapı eşitlenmesi politikaları, dijital erişim eşitsizliğinden kaynaklanan engelleri azaltmak için zorunludur.

Araştırmaya Yönelik Öneriler

Bu araştırmanın öz-bildirime dayalı yapısı göz önünde bulundurulduğunda, gelecek çalışmaların sınıf gözlemleri ve video analizlerini içeren çoklu veri kaynaklarıyla adayların gerçek öğretim uygulamalarını doğrudan incelemesi gerekmektedir. TPACK gelişimini boylamsal olarak izleyecek çalışmalar, hangi program bileşenlerinin bu gelişimi desteklediğine ilişkin dinamik bir anlayış sunacaktır. Farklı coğrafi bölgelerden katılımcıları kapsayan çalışmalar ise altyapı eşitsizliğinin gerçek boyutunu ortaya koyacaktır.

BEYANLAR
Teşekkür: *Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından SDK-2025-14892 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destek için teşekkür eder.*

Veri Seti Paylaşım Bildirimi: Bu araştırmada kullanılan veri seti, aynı katılımcılarla yürütülen ve fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecine ilişkin bilgi, farkındalık ve deneyimlerini inceleyen tamamlayıcı bir çalışmanın verilerini de kapsamaktadır. Söz konusu tamamlayıcı çalışma mühendislik tasarım sürecine ilişkin bilgi ve farkındalığa odaklanırken, bu makale mühendislik öğretiminin pedagojik boyutlarına (teknoloji, öğretim süreci ve değerlendirme) odaklanmaktadır. Her iki çalışma farklı araştırma soruları, kuramsal çerçeveler ve tematik kümeler çerçevesinde bağımsız analizlerle

Kaynakça

Aksoğan, M., & Bulut Özek, M. (2020). Öğretmen adaylarının teknoloji yeterlilikleri ile teknolojiye bakış açısı arasındaki ilişki. *Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11*(2), 301–311.

Al Arabi, K., Tairab, H., Wardat, Y., Belbase, S., & Alabidi, S. (2022). Enhancing the learning of Newton's second law of motion using computer simulations. *Journal of Baltic Science Education, 21*(6), 946–966.

Altun, N., & Bangir-Alpan, G. (2021). Temel eğitim programlarında dijital okuryazarlık. *Journal of Research in Education and Society, 8*(2), 280–294.

Andrade, H. L. (2010). Students as the definitive source of formative assessment. H. L. Andrade & G. J. Cizek (Ed.), *Handbook of formative assessment* (s. 90–105). Routledge.

Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M., & Schunn, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms. *Journal of Science Education and Technology, 17*(5), 454–465.

Bakırcı, H., & Kutlu, E. (2018). Fen bilimleri öğretmenlerinin FeTeMM yaklaşımı hakkındaki görüşlerinin belirlenmesi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, 9*(2), 367–389.

Boud, D., & Falchikov, N. (2006). Aligning assessment with long-term learning. *Assessment & Evaluation in Higher Education, 31*(4), 399–413.

Brookhart, S. M. (2013). *How to create and use rubrics for formative assessment and grading*. ASCD.

Brophy, S., Klein, S., Portsmore, M., & Rogers, C. (2008). Advancing engineering education in P-12 classrooms. *Journal of Engineering Education, 97*(3), 369–387.

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.

Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness*. BSCS.

Capobianco, B. M., DeLisi, J., & Radloff, J. (2018). Characterizing elementary teachers' enactment of high-leverage practices through engineering design-based science instruction. *Science Education, 102*(2), 342–376.

Capobianco, B. M., French, B. F., & Diefes-Dux, H. A. (2012). Engineering identity development among pre-adolescent learners. *Journal of Engineering Education, 101*(4), 698–716.

Creswell, J. W. (2019). *Nitel araştırmacılar için 30 temel beceri* (H. Özcan, Çev. Ed.). Anı Yayıncılık.

Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices. *Journal of Science Teacher Education, 25*(2), 197–210.

Daly, S. R., Yılmaz, S., Christian, J. L., Seifert, C. M., & Gonzalez, R. (2012). Design heuristics in engineering concept generation. *Journal of Engineering Education, 101*(4), 601–629.

Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education, 94*(1), 103–120.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1

Ganesh, T. G., & Schnittka, C. G. (2014). Engineering education in the middle grades. Ş. Purzer, J. Strobel, & M. E. Cardella (Ed.), *Engineering in pre-college settings*. Purdue University Press.

Guba, E. G. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Educational Communication and Technology, 29*(2), 75–91.

Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research, 77*(1), 81–112.

Jonsson, A., & Svingby, G. (2007). The use of scoring rubrics: Reliability, validity and educational consequences. *Educational Research Review, 2*(2), 130–144.

Kefalis, C., Skordoulis, C., & Drigas, A. (2025). Digital simulations in STEM education: Insights from recent empirical studies, a systematic review. *Encyclopedia, 5*(1), 10. https://doi.org/10.3390/encyclopedia5010010

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z

Kilty, T. J., & Burrows, A. C. (2019). Secondary science preservice teachers' perceptions of engineering. *Education Sciences, 9*(2), 107.

Kınık Topalsan, A. (2018). Sınıf öğretmenliği öğretmen adaylarının geliştirdikleri mühendislik tasarım temelli fen öğretim etkinliklerinin değerlendirilmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 15*(1), 186–219.

Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (s. 317–334). Cambridge University Press.

Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4. baskı). Sage.

Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (2. baskı). Sage.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage.

MEB. (2018). *Fen bilimleri dersi öğretim programı*. Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı.

Merriam, S. B. (2013). *Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber* (S. Turan, Çev. Ed.). Nobel Yayıncılık.

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3. baskı). Sage.

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record, 108*(6), 1017–1054.

Moustakas, C. (1994). *Phenomenological research methods*. Sage.

NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18290

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13165

Novak, E., & Wisdom, S. (2018). Effects of 3D printing project-based learning on preservice elementary teachers' science attitudes, beliefs, and content knowledge. *Journal of Science Education and Technology, 27*(5), 412–432.

Ökten, M. S. (2024). Türkiye'de dijital dönüşümün eğitimdeki fırsat eşit(siz)liği üzerindeki etkileri. *Sosyolojik Bağlam Dergisi, 5*(3), 531–556.

Panadero, E., & Jonsson, A. (2013). The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. *Educational Research Review, 9*, 129–144.

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3. baskı). Sage.

Sezgin, S. (2025). Yapay zekâ çağında dijital uçurumu yeniden düşünmek. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13*(17), 1–28.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4–14. https://doi.org/10.2307/1175860

Silverman, D. (2013). *Doing qualitative research: A practical handbook* (4. baskı). Sage.

Ünal, E. (2013). *Öğretmen adaylarının teknoloji entegrasyonu öz-yeterlik algıları ve teknolojik pedagojik içerik bilgisi yeterlikleri arasındaki ilişkinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Winarno, N., Rusdiana, D., Samsudin, A., Susilowati, E., Ahmad, N., & Afifah, R. M. A. (2020). The steps of the engineering design process (EDP) in science education. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists, 8*(4), 1345–1360.

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.

FEN EĞİTİMİNDE MÜHENDİSLİK TASARIM SÜRECİNİN ENTEGRASYONU: ÖĞRETMEN ADAYLARININ BİLGİ, FARKINDALIK VE DENEYİMLERİ

INTEGRATION OF THE ENGINEERING DESIGN PROCESS INTO SCIENCE EDUCATION: PROSPECTIVE TEACHERS' KNOWLEDGE, AWARENESS, AND EXPERIENCES

Bilim Uzm. Hanife ÇETİNGÜNEY
Erciyes Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
ORCID: 0000-0002-2159-2207

Prof. Dr. Uğur BÜYÜK
Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
ORCID: 0000-0002-6830-8349

ÖZET
Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecinin fen eğitimine entegrasyonuna ilişkin bilgi, farkındalık ve deneyimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırma, nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji yaklaşımıyla yürütülmüştür. Katılımcılar, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniğiyle belirlenen ve öğretmenlik uygulamaları kapsamında mühendislik tasarım etkinliklerine yer vermiş sekiz fen bilimleri öğretmen adayından (altı kadın, iki erkek) oluşmaktadır. Veriler araştırmacılar tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmış, olgunun yaşantısal anlamını sistematik biçimde çözümlemek üzere betimsel içerik analizi yöntemiyle analiz edilmiştir. Bulgular üç ana tema çerçevesinde ele alınmaktadır: (1) mühendislik öğretimine yönelik bilgi, farkındalık ve hazırlık; (2) mühendislik becerilerinin fen eğitimine entegrasyonu ve uygulama süreci; (3) mühendislik ile ilişkilendirilen beceriler ve öğrencilere uyarlama. Öğretmen adayları mühendislik tasarım sürecinin temel adımlarına ilişkin farkındalık taşımakta, elektrik devreleri gibi fizik temelli konuları ve sürdürülebilirlik içeriklerini entegrasyonda öncelikli alan olarak değerlendirmektedir. Bununla birlikte kaynak ve zaman kısıtları, sınıf yönetimi sorunları ile öğrencilerde özgün fikir üretme güçlüğü önemli engeller olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca mühendislik etiği ve sosyal etki boyutunun katılımcılarca neredeyse hiç dile getirilmemesi, araştırmanın dikkat çeken bulgularından biridir. Araştırma bulguları, öğretmen yetiştirme programlarında mühendislik tasarım sürecine yönelik uygulamalı derslerin artırılması ve sürdürülebilirlik ile etik boyutların müfredata entegre edilmesi gerektiğine işaret etmektedir.
Anahtar Kelimeler: Fen eğitimi, mühendislik tasarım süreci, mühendislik entegrasyonu, öğretmen adayları, fenomenoloji.

ABSTRACT
This study aims to investigate the knowledge, awareness, and experiences of prospective science teachers regarding the integration of the engineering design process into science education. The research was conducted using a phenomenological design within a qualitative research framework. Participants consisted of eight prospective science teachers (six female, two male) selected through criterion sampling, a purposive sampling technique, all of whom had incorporated engineering design activities into their teaching practicum. Data were collected via a semi-structured interview form developed by the researchers and analyzed through descriptive content analysis in order to systematically interpret the lived meaning of the phenomenon. The findings are organized around three main themes: (1) knowledge, awareness, and preparedness related to engineering teaching; (2) the integration of engineering teaching skills into science education and implementation processes; and (3) skills associated with engineering and their adaptation to students. The prospective teachers demonstrated awareness of the fundamental steps of the engineering design process and identified physics-based topics such as electrical circuits, along with sustainability themes, as priority areas for integration. However, resource and time constraints, classroom management difficulties, and challenges in fostering student creativity emerged as significant obstacles. Notably, the dimensions of engineering ethics and social impact were almost entirely absent from participants' accounts.

The findings suggest that teacher education programs should expand hands-on coursework addressing the engineering design process and integrate sustainability and ethical dimensions into the curriculum.
Keywords: Science education, engineering design process, engineering integration, prospective teachers, phenomenology.

GİRİŞ

Bilim ve teknolojide küresel ölçekte hız kazanan rekabet, toplumların eğitim anlayışlarını köklü biçimde dönüştürmektedir. 21. yüzyılda fen eğitimi artık yalnızca kuramsal bilgi aktarımıyla sınırlı değildir; bunun yerine bilgiyi ürüne dönüştürebilen, karmaşık sorunlara çözüm geliştirebilen ve yenilikçi düşünceler ortaya koyabilen bireyler yetiştirmeyi amaçlamaktadır (Avrupa Komisyonu, 2024; TÜBİTAK, 2024). Bu çerçevede özgün düşünme, eleştirel bakış, iş birliği ve bilgi yönetimi gibi üst düzey becerilerin kazandırılması çağdaş eğitim sistemlerinin öncelikli hedefleri arasındadır (Çavaş vd., 2020; Joynes vd., 2019; Mayer, 2019). Nitekim üst düzey düşünme becerilerine yönelik ulusal araştırmaların son yıllarda belirgin biçimde artması (Öz, 2023), bu becerilerin fen eğitimi gündemindeki merkezî konumunu yansıtmaktadır. Söz konusu becerilerin fen eğitimine aktarılmasında mühendislik odaklı eğitim yaklaşımı giderek stratejik bir işlev üstlenmektedir. Mühendislik; insan ihtiyaçlarını karşılayan ve yaşamı kolaylaştıran çözümlerin sistematik problem çözme süreçleriyle ortaya konulması olarak tanımlanmakta (Okulu & Oğuz Ünver, 2021), bu tanımıyla mühendisliği yalnızca teknik bir disiplin olmanın ötesine taşıyarak bir düşünme ve öğrenme biçimi olarak konumlandırmaktadır (English, 2016).

Bu araştırmanın kavramsal temeli, Mühendislik Tasarım Süreci (MTS) ve yapılandırmacı öğrenme kuramı olmak üzere iki eksen üzerine inşa edilmiştir. MTS; problem tanımlama, kısıtları belirleme, alternatif çözümler geliştirme, prototip oluşturma, test etme ve yeniden tasarlama aşamalarından oluşan yinelemeli bir süreçtir (NRC, 2012; Cunningham & Carlsen, 2014). Ulusal Araştırma Konseyi'nin K-12 Fen Eğitimi Çerçevesi (NRC, 2012) ve Yeni Nesil Fen Standartları (NGSS, 2013), mühendislik pratiklerini fen okuryazarlığının ayrılmaz bir bileşeni olarak ele almakta, öğrencilerin bilimsel kavramları öğrenmekle kalmayıp mühendislik süreçlerini de deneyimlemesini zorunlu kılmaktadır. MTS'nin bu yinelemeli yapısı, tasarım odaklı düşünme (design thinking) geleneğiyle de yakından ilişkilidir. Problemi insan merkezli biçimde tanımlama, fikir üretme ve prototipler üzerinden öğrenme döngüsü hem mühendislik hem de eğitim bağlamlarında yenilikçi çözüm üretmenin ortak zeminini oluşturmaktadır (Brown, 2008; Razzouk & Shute, 2012). Tasarım odaklı düşünmenin öğretmen eğitimine yansımaları, öğretmenlerin öğrenme deneyimini yeniden kurgulamasına olanak tanıyan güçlü bir pedagojik araç olarak değerlendirilmektedir (Girgin, 2019). Bu çerçeve yapılandırmacı öğrenme kuramıyla doğrudan örtüşmektedir. Bilginin bireyin aktif deneyimi ve çevreyle etkileşimi aracılığıyla inşa edildiğini savunan yapılandırmacılık (Jonassen vd., 1999; Kolb, 1984), MTS'nin yinelemeli ve deneyimsel yapısına güçlü bir kuramsal zemin oluşturmaktadır. Vygotsky'nin (1978) sosyokültürel kuramı ise mühendislik etkinliklerindeki iş birliği, akran etkileşimi ve rehberli destek süreçlerinin öğrenmeyi nasıl ilerlettiğini açıklayarak bu kuramsal zemini tamamlamaktadır.

Mühendisliğin fen eğitimine entegrasyonu, bütünleşik STEM eğitimi tartışmalarının da merkezinde yer almaktadır. Bütünleşik STEM çerçeveleri, mühendislik tasarımını disiplinler arası bağ kuran bir bağlam ve içerikleri anlamlı kılan bir bütünleyici olarak konumlandırmakta (Bybee, 2013; Kelley & Knowles, 2016), ancak bu bütünleşme, mühendisliğe özgü pedagojik bilginin ayrı bir uzmanlık alanı olarak geliştirilmesini de gerekli kılmaktadır. Öte yandan söz konusu süreçlerin sınıf ortamına taşınması büyük ölçüde öğretmen yeterliliklerine bağlıdır. Bu noktada Shulman'ın (1986) Pedagojik Alan Bilgisi (PAB) çerçevesi belirleyici bir rol üstlenmektedir. Öğretmenin yalnızca konuyu bilmesi değil, onu öğretilebilir kılacak pedagojik donanıma sahip olması gerekmektedir. Mühendislik öğretimi söz konusu olduğunda bu donanım; mühendislik tasarım sürecine ilişkin kavramsal bilgiyi, bu süreci sınıf ortamında yönetme becerisini ve öğrencilerin yaşadığı güçlüklere dair farkındalığı kapsamaktadır (Cunningham & Carlsen, 2014; Hammack vd., 2024).

Uluslararası alanyazın incelendiğinde, mühendislik entegrasyonuna yönelik araştırmaların özellikle son on yılda öğretmen yetiştirme programları bağlamında belirgin biçimde yoğunlaştığı dikkat çekmektedir.

Hammack ve arkadaşları (2024), mühendislik öğrenme fırsatlarının bir fen dersine entegre edilmesinin öğretmen adaylarının öz-yeterlik algılarını ve sonuç beklentilerini olumlu yönde etkilediğini, ancak bu etkinin uygulamalı deneyimlerle desteklenmediğinde kalıcılık kazanamadığını ortaya koymuştur. Kilty ve Burrows (2019), ABD'de öğrenim gören öğretmen adaylarının büyük çoğunluğunun mühendisliği fen bilimleriyle bütünleşik değil, ayrı bir disiplin olarak algıladığını saptamış; bu kavramsal yanlış anlamanın hizmet öncesi eğitimin erken aşamalarında giderilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Cunningham ve Carlsen (2014), öğretmen adaylarının mühendislik pratiklerini öğretme konusundaki bilgi eksikliklerini sistematik biçimde belgelemiştir. English (2016) ise mühendislik tasarım süreçlerinin K-12 düzeyinde fen eğitimiyle entegrasyonunun yalnızca öğrenci başarısını değil, öğretmen pedagojisini de köklü biçimde dönüştürdüğüne dikkat çekmiştir. Benzer biçimde Wang ve arkadaşları (2011), öğretmenlerin STEM entegrasyonuna ilişkin algıları ile sınıf içi uygulamaları arasında belirgin farklar bulunduğunu, entegrasyonun çoğunlukla disiplinlerden yalnızca birinin baskın olduğu sınırlı bir biçimde gerçekleştiğini göstermiştir. Hira ve Hynes (2019) ise tasarım temelli araştırma yaklaşımının, üniversite öncesi mühendislik eğitiminde katılımı genişletmeye yönelik güçlü bir yöntemsel zemin sunduğunu ortaya koymuştur.

Ulusal alanyazın ele alındığında, Türkiye'de mühendislik odaklı fen eğitimi araştırmalarının büyük ölçüde STEM/STEAM çatısı altında yürütüldüğü görülmektedir. Adıgüzel Ulutaş ve arkadaşları (2023), Türkiye'de yürütülen STEM eğitimi çalışmalarını mühendislik tasarım süreci uygulamaları bağlamında incelemiş ve mühendislik boyutunun çoğunlukla STEM bütünü içinde ele alındığını, bağımsız bir pedagojik alan olarak yeterince derinleştirilmediğini ortaya koymuştur. Yıldırım ve Altun (2015), STEM eğitimi ve mühendislik uygulamalarının fen bilgisi laboratuvar dersine entegrasyonunu incelemiş ve bu uygulamaların öğretmen adaylarının bilimsel süreç becerileri ve öğrenme çıktıları üzerinde olumlu etkiler ürettiğini saptamıştır. Harman ve Yenikalaycı (2021), fen bilgisi öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecine dayalı etkinliklere yönelik görüşlerini bir durum çalışması kapsamında incelemiş; adayların süreci genel olarak olumlu değerlendirdiğini, görüşlerin ağırlıklı olarak yaratıcılık, hayal gücü ve akıl yürütme gibi bilişsel kazanımlar etrafında yoğunlaştığını, ancak bir kısmının sürece ilişkin çekinceler de dile getirdiğini ortaya koymuştur. Uludağ ve Harman (2024) ise fen bilimleri öğretmenlerinin fen ve mühendislik uygulamalarına yönelik farkındalıklarının sınırlı düzeyde kaldığını belgelemiştir. Söz konusu çalışmalar ağırlıklı olarak entegrasyon tutumlarını ve öz-yeterlik algılarını ölçmekte; mühendislik öğretiminin doğasına, süreç mekanizmalarına ve olası engellere fenomenolojik bir derinlikle odaklanmaktan uzak kalmaktadır.

Mühendislik tasarımına dayalı uygulamaların öğrenme çıktıları üzerindeki etkilerini inceleyen ulusal çalışmalar da giderek artmaktadır. Asal (2020), mühendislik tasarım temelli fen öğretiminin ilkokul öğrencilerinin bilimsel yaratıcılık ve eleştirel düşünme becerilerini olumlu yönde geliştirdiğini; Uzel (2019) ise benzer uygulamaların problem çözme ve tasarım becerilerini güçlendirdiğini göstermiştir. Öğretmen düzeyinde Demirci (2023), mühendislik eğitimi odaklı bir mesleki gelişim programının fen bilimleri öğretmenlerinin mühendislik entegrasyonu pedagojik alan bilgilerini ve mühendislik öğretimi öz-yeterliklerini anlamlı biçimde artırdığını ortaya koymuştur. Bu bulgular, mühendislik entegrasyonunun öğrenme çıktıları üzerindeki olumlu potansiyelini ortaya koymakla birlikte, etkinin sürdürülebilirliğinin nitelikli ve sürekli bir öğretmen eğitimine bağlı olduğunu vurgulamaktadır.

Bu bağlamda alanyazında birbirini tamamlayan üç kritik eksiklik göze çarpmaktadır. Birincisi, ulusal çalışmaların büyük çoğunluğu mühendislik öğretimini bağımsız bir alan olarak değil, STEM bütününün bir alt bileşeni olarak konumlandırmaktadır (Adıgüzel Ulutaş vd., 2023; Çorlu vd., 2014); bu durum mühendisliğe özgü pedagojik bilgi birikiminin gelişimini yapısal düzeyde sınırlamaktadır. İkincisi, mevcut araştırmalar öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecine ilişkin yaşantısal deneyimlerinin fenomenolojik anlamının derinlemesine incelenmesi yerine büyük ölçüde nicel ölçümlere dayalı betimlemelerle yetinmektedir. Üçüncüsü, öğretmen adaylarının mühendislik entegrasyonunda karşılaştıkları engeller ile bu engellerin üstesinden gelmeye yönelik stratejiler nitel bir çerçevede yeterince araştırılmamıştır. Tüm bu eksiklikler, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik öğretimine ilişkin özgün deneyimlerinin fenomenolojik bir yaklaşımla araştırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecinin fen eğitimine entegrasyonuna ilişkin bilgi, farkındalık ve deneyimlerini fenomenolojik bir yaklaşımla ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda aşağıdaki alt problemlere yanıt aranmaktadır:

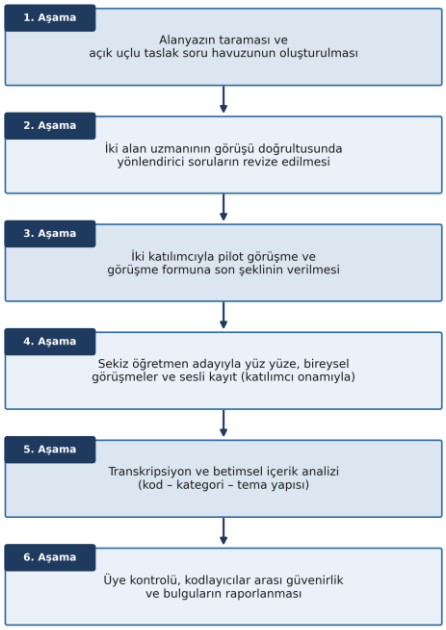
- Fen bilimleri öğretmen adaylarının fen eğitiminde mühendislik öğretimine yönelik bilgi, farkındalık ve hazırlık düzeyleri nasıldır?
- Öğretmen adaylarının mühendislik tasarım becerilerini fen eğitimine entegre etme ve uygulama süreçleri nasıl şekillenmektedir?
- Öğretmen adayları mühendislik ile hangi becerileri ilişkilendirmekte ve bu becerileri öğrencilere nasıl uyarlamaktadır?

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji yaklaşımıyla yürütülmüştür. Fenomenoloji, belirli bir olgu ya da deneyimi yaşayan bireylerin o deneyime yükledikleri öznel anlamları derinlemesine keşfetmeyi amaçlayan bir araştırma desenidir (Creswell, 2019; Merriam, 2013). Fen eğitiminde mühendislik öğretimine ilişkin öğretmen adaylarının bilgi, farkındalık ve deneyimlerinin öznel yapısının anlaşılması bu araştırmanın temel amacını oluşturduğundan, fenomenolojik desen araştırma sorusuyla doğrudan uyum içindedir. Bu çalışmada fenomenolojik yaklaşım, olgunun yaşantısal anlamını açığa çıkaran kuramsal ve yöntemsel bir yönelim olarak benimsenmiş, verilerin çözümlenmesinde ise bu yönelimle uyumlu biçimde betimsel içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Yaşantısal deneyim verilerinin sistematik kod–kategori–tema yapısı içinde çözümlenmesi, fenomenolojik desen ile içerik analizini bütünleştiren yaygın ve kabul gören bir uygulamadır (Patton, 2002; Yıldırım & Şimşek, 2016).

Fenomenolojik araştırmalarda araştırmacının sahip olduğu ön yargı ve varsayımların analiz sürecini etkilemesini engellemek amacıyla paranteze alma (bracketing) ilkesi benimsenmektedir (Moustakas, 1994). Bu araştırmada her iki araştırmacı da veri toplama ve analiz sürecinden önce mühendislik öğretimine ilişkin kişisel deneyimlerini ve beklentilerini yazılı olarak kayıt altına almış, böylece araştırmacı öznelliğinin bulgular üzerindeki olası etkisi en aza indirgenmiştir. Ayrıca araştırmacılar ile katılımcılar arasında öğretim sürecinden kaynaklanan olası bir güç ilişkisinin bulguları biçimlendirmesini önlemek amacıyla, katılımcılara verecekleri yanıtların akademik değerlendirme süreçleriyle hiçbir biçimde ilişkilendirilmeyeceği açıkça bildirilmiştir. Araştırma sürecinin altı aşamasını gösteren akış şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Araştırma sürecinin altı aşamasını gösteren akış şeması.

Çalışma Grubu

Araştırma, öğretmenlik uygulamaları kapsamında gerçekleştirdikleri mikro-öğretim süreçlerinde mühendislik tasarım etkinliklerine yer veren fen bilimleri öğretmen adaylarıyla yürütülmüştür. Nitel araştırmanın amacı bulguları geniş kitlelere genellemek değil, belirli bağlamlar ve bireyler içindeki anlamı ayrıntılı biçimde ortaya koymak olduğundan (Creswell, 2019), amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği benimsenmiştir. Katılımcıların belirlenmesinde üç temel ölçüt gözetilmiştir: (1) fen bilimleri öğretmenliği lisans programına kayıtlı öğretmen adayı olmak, (2) öğretmenlik uygulamaları dersi kapsamında okul ortamında mikro-öğretim yapmış olmak ve (3) araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul etmek.

Bu ölçütleri karşılayan sekiz fen bilimleri öğretmen adayı (altı kadın, iki erkek) araştırmaya dahil edilmiştir. Nitel araştırmalarda küçük örneklem büyüklükleri, verilerin teorik doyuma ulaşması ve anlam derinliğinin sağlanması ölçütleriyle meşrulaştırılmaktadır (Lincoln & Guba, 1985; Patton, 2002). Bu araştırmada sekizinci görüşmeden sonra yeni tema ya da kategori üretiminin durduğu gözlemlenmiş, teorik doyuma ulaşıldığına karar verilerek veri toplamaya son verilmiştir. Katılımcılara anonimliği korumak amacıyla ÖA-1'den ÖA-8'e kadar sistematik kodlar atanmıştır.

Veri Toplama Aracı ve Süreci

Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Yarı yapılandırılmış görüşme, araştırmacıya belirli bir soru yönelimi sunarken katılımcının kendi deneyimlerini özgün biçimde ifade etmesine olanak tanıması bakımından fenomenolojik araştırma deseniyle uyumludur (Kvale & Brinkmann, 2009; Silverman, 2013).

Görüşme formunun geliştirilmesi sürecinde önce kapsamlı bir alanyazın taraması yapılmış ve açık uçlu sorulardan oluşan taslak sorular oluşturulmuştur. Hazırlanan taslak, eğitim bilimleri alanında uzman iki akademisyenin incelemesine sunulmuştur. Uzmanlar, fenomenolojik amaçla bağdaşmayan yönlendirici nitelikteki sorulara dikkat çekmiştir. Örneğin başlangıçta yer alan ve katılımcıyı belirli beceri kategorilerine yönlendiren bir soru, uzman önerileri doğrultusunda katılımcının kendi anlam dünyasını açığa çıkaracak biçimde yeniden yazılmıştır. Revize edilen form, iki katılımcıyla yürütülen pilot görüşme aracılığıyla sınanmış ve forma son şekli verilmiştir. Görüşmeler yüz yüze ve bireysel olarak gerçekleştirilmiş, tüm görüşmeler katılımcı onamıyla sesli kaydedilerek transkript hâline getirilmiştir.

Veri Analizi

Araştırma verileri betimsel içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. İçerik analizinde ham veriler önce anlamlı birimlere ayrılarak kodlanmakta, ardından kodlar kategoriler altında toplanmakta ve kategoriler üst düzey temalar biçiminde birleştirilmektedir (Krippendorff, 2018; Miles vd., 2014). Bu araştırmada transkriptler satır satır okunarak her anlam birimine betimleyici bir kod atanmış; örneğin "tasarım yapma/sistem tasarımı", "günlük hayatla ilişkilendirme", "problem çözme" ve "teorik bilgiyi somut ürüne dönüştürme" kodları bir araya getirilerek "Bilginin Uygulamaya Dönüşmesi" kategorisi oluşturulmuştur. Kodlama, fenomenolojik yönelime uygun biçimde katılımcıların ifadelerine dayalı ve tümevarımsal olarak yürütülmüş, böylece olguya yüklenen anlamların araştırmacı tarafından önceden belirlenmiş kategorilere zorlanması engellenmiştir.

Geçerlik ve Güvenirlik

Nitel araştırmalarda geçerlik ve güvenirlik kavramları sırasıyla inandırıcılık, aktarılabilirlik, tutarlık ve doğrulanabilirlik ölçütleriyle ele alınmaktadır (Guba, 1981; Lincoln & Guba, 1985). İnandırıcılık kapsamında, bulgular yorumlanmadan önce her katılımcıya ait transkript ve ilk kodlamalar ilgili katılımcıyla paylaşılmış, katılımcıların onayı alınarak üye kontrolü gerçekleştirilmiştir. Aktarılabilirlik sağlamak amacıyla araştırma bağlamı, katılımcı özellikleri ve veri toplama süreci ayrıntılı biçimde betimlenmiştir.

Tutarlık ve doğrulanabilirlik açısından kodlayıcılar arası güvenirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bağımsız kodlama, alanında uzman bir akademisyen tarafından gerçekleştirilmiş, iki kodlayıcı arasındaki uyum Miles ve Huberman'ın (1994) formülü kullanılarak hesaplanmıştır: Güvenirlik = Görüş Birliği / (Görüş Birliği + Görüş Ayrılığı) × 100. Yapılan hesaplama sonucunda kodlayıcılar arası uyum

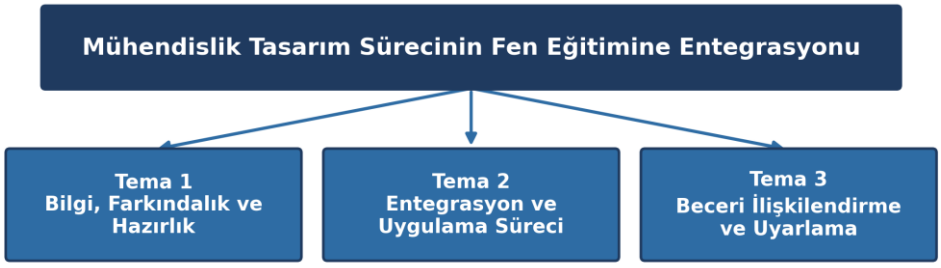
oranı % 82 olarak bulunmuş ve bu değerin, nitel araştırmalarda kabul gören %80 eşiğinin üzerinde olduğu görülmüştür (Miles vd., 2014).

Etik

Bu araştırma, Erciyes Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırmaları Etik Kurulu'nun 31.01.2025 tarihli ve 024 sayılı kararıyla etik onay almıştır. Tüm katılımcılara araştırmanın amacı ve kapsamı açıklanmış, gönüllü katılım ve gizlilik hakları konusunda yazılı bilgilendirilmiş onam formu imzalatılmıştır. Katılımcılara istedikleri zaman araştırmadan çekilebilecekleri bildirilmiş, kimlik bilgileri kodlama yoluyla anonimleştirilmiştir.

BULGULAR

Bu araştırmada üç alt probleme yanıt aranmış, bulgular söz konusu problemler ekseninde üç ana tema altında yapılandırılmıştır. Araştırmanın bütüncül tematik yapısı Şekil 2'de görselleştirilmektedir.



Şekil 2. Üç ana temayı gösteren tematik harita.

Tema 1: Fen Eğitiminde Mühendislik Öğretimine Yönelik Öğretmen Adaylarının Bilgi, Farkındalık ve Hazırlıkları

Bu tema, öğretmen adaylarının mühendislik öğretimini ne ölçüde anlamlı bulduklarını, mühendislik tasarım sürecine ilişkin kavramsal bilgi düzeylerini, bu bilgiyi nasıl edindiklerini ve hangi fen konularında uygulama potansiyeli gördüklerini kapsamaktadır (Tablo 1–4). Öğretmen adaylarının fen eğitiminde mühendislik öğretiminin önemine ilişkin görüşleri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Fen eğitiminde mühendislik öğretiminin önemi

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Bilginin Uygulamaya Dönüşmesi	Tasarım yapma / sistem tasarımı	ÖA-2, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
	Günlük hayatla ilişkilendirme	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-8
	Problem çözme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-4, ÖA-8
	Teorik bilgiyi somut ürüne dönüştürme	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-6
Düşünme Becerilerinin Gelişimi	Kalıcı öğrenme	ÖA-2, ÖA-6, ÖA-8
	Eleştirel / analitik düşünme	ÖA-1, ÖA-6
	Yaratıcılık	ÖA-6
Öğrenme Süreci ve Yaklaşım	Öğrenci merkezli süreç, yapılandırmacı yaklaşım	ÖA-5
Fen Eğitiminin Doğası ve Gelecek	Multidisipliner yaklaşım, teknolojiye uyum / çağın gereksinimleri	ÖA-7

Tablo 1 incelendiğinde, "tasarım yapma/sistem tasarımı" kodunun katılımcıların yarısından fazlası (beş aday) tarafından dile getirilmesi, adayların mühendislik öğretimini soyut kavramları somutlaştırmanın bir aracı olarak konumlandırdığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yapılandırmacı öğrenme kuramının

deneyime dayalı bilgi inşası ilkesiyle (Jonassen vd., 1999) örtüşmektedir. Buna karşın öğrenme süreci ve fen eğitiminin doğası kategorilerinde yalnızca birer katılımcının görüş bildirmesi, adayların mühendislik entegrasyonunun pedagojik ve epistemolojik boyutlarına ilişkin farkındalıklarının sınırlı kaldığına işaret etmektedir. Bu ilişkilendirmeyi ÖA-7 şu şekilde ifade etmiştir:
"Bence fen bilimleri doğası gereği oldukça multidisipliner bir alan. Teknoloji baş döndürücü bir hızla gelişiyor; hem gençlerimizin hem de mevcut eğitim sistemimizin bu hıza ayak uydurabilmesi için mühendislik becerilerinin fen eğitimine entegre edilmesi artık bir tercih değil, bir zorunluluktur." (ÖA-7)
Bu ifade, mühendislik entegrasyonunu bireysel bir pedagojik tercih olarak değil toplumsal bir zorunluluk olarak kurgulaması bakımından alanyazındaki mühendislik okuryazarlığı söylemiyle (Cunningham & Carlsen, 2014) örtüşmekte ve gelişmiş bir sistemik farkındalığa işaret etmektedir.

Tablo 2. Fen eğitiminde mühendislik öğretimine ilişkin bilgileri

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
MTS Adımları	Problemi belirleme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
	Tasarım yapma	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
	Test etme ve geliştirme	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	Çözüm üretme / hipotez geliştirme	ÖA-2, ÖA-5, ÖA-7, ÖA-8
	Planlama / teknik çizim	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-5
	Hayal etme / beyin fırtınası	ÖA-1, ÖA-4
	Deneme-yanılma / hata yapma	ÖA-3, ÖA-6
Destekleyici Unsurlar	Öğretmenin rehberliği, araştırma yapma / veri analizi / matematiksel düşünme, öğrencinin proje yöneticisi gibi hareket etmesi	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7
	Kısıtlar dahilinde çalışma	ÖA-1, ÖA-6
Geliştirilen Beceriler	Eleştirel düşünme, yaratıcılık, iş birliği	ÖA-2, ÖA-6, ÖA-8
	Öğrenmenin kalıcı ve anlamlı olması	ÖA-2, ÖA-8

Tablo 2'nin en belirgin bulgusu, "problemi belirleme" ve "tasarım yapma" adımlarının katılımcıların tamamı tarafından anılmasıdır. Bununla birlikte "deneme-yanılma/hata yapma" kodunun yalnızca iki adayla sınırlı kalması, MTS'nin döngüsel ve yinelemeli yapısının henüz tam olarak içselleştirilmediğine işaret etmektedir. ÖA-6 bu bütüncül kavramsal tutumu şu şekilde özetlemiştir:
"Mühendislik becerileri; problem tanımlama, araştırma yapma, prototip geliştirme, test etme ve iyileştirme süreçlerini kapsayan MTS odaklıdır. Bu süreç, hata yapmanın öğrenmenin bir parçası olduğu döngüsel bir yapıya sahiptir." (ÖA-6)

Tablo 3. Fen eğitiminde mühendislik öğretimine ilişkin alınan eğitim ve deneyimler

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Resmî / Üniversite Eğitimi	STEM uygulamalarıyla ilgili üniversite dersleri	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	Akademik çalışmalar, literatür takibi, program inceleme	ÖA-6

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Uygulamalı Projeler ve Deneyimler	Proje tabanlı öğrenme ve tasarım odaklı etkinlikler	ÖA-6, ÖA-8
	Senaryo hazırlama, laboratuvar uygulamaları ve disiplinler arası projeler, dijital simülasyon ve modelleme araçları	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-6
Kendi Çabalarıyla Gelişim	Makale, tez ve yapay zekâdan yararlanma	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7
	Güncel trendleri ve yenilikleri takip etme	ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7

Tablo 3, adayların mühendislik öğretimine ilişkin donanımlarını ağırlıklı olarak STEM çatısı altındaki üniversite dersleri, uygulamalı projeler ve bireysel çabalar üzerinden edindiklerini göstermektedir. Hiçbir katılımcının müfredata bağımsız ve zorunlu biçimde entegre edilmiş bir "mühendislik öğretimi" dersinden söz etmemesi dikkat çekicidir; bu örüntü, ulusal alanyazında mühendisliğin bağımsız bir pedagojik alan olarak ele alınmadığına ilişkin saptamalarla (Adıgüzel Ulutaş vd., 2023; Demirci, 2023) tutarlıdır. ÖA-8'in ifadesi bu örüntüyü net biçimde ortaya koymaktadır:
"Üniversitede aldığım bazı derslerde proje tabanlı öğrenme ve tasarım odaklı etkinlikler üzerinden mühendislik yaklaşımını dolaylı olarak tanıma fırsatı buldum." (ÖA-8)

Tablo 4. Fen eğitiminde mühendislik öğretimine ilişkin tercih edilen konu/alanlar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Fizik Temelli Konular	Elektrik devreleri	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	Kuvvet ve hareket	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	Basit makineler	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	Enerji dönüşümleri	ÖA-2, ÖA-6, ÖA-8
	Madde ve ısı (ısı yalıtımı)	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-6
Çevre ve Sürdürülebilirlik	Çevre ve geri dönüşüm	ÖA-3, ÖA-4, ÖA-7, ÖA-8
	Sürdürülebilir kalkınma	ÖA-6, ÖA-7
Öğretim Yaklaşımı	Proje tabanlı öğrenme, problem çözme	ÖA-2, ÖA-5, ÖA-6
	Günlük yaşamla ilişkilendirme	ÖA-2, ÖA-7, ÖA-8
Biyoloji ve Disiplinler Arası	İnsan ve çevre / vücudumuzdaki sistemler	ÖA-5
	Canlılar ve yaşam	ÖA-1

Tablo 4'te fizik temelli konuların (özellikle elektrik devrelerinin) belirgin biçimde öne çıkması, mühendislik tasarımının zihinsel olarak öncelikle fiziksel ürün üretimiyle eşleştirildiğini düşündürmektedir. Adayların ayrıca proje tabanlı öğrenme, problem çözme ve günlük yaşamla ilişkilendirmeyi bir öğretim yaklaşımı olarak vurgulaması, mühendislik entegrasyonunu pedagojik bir çerçeveye oturtma eğilimini yansıtmaktadır. Buna karşın biyoloji ve yaşam bilimleri temelli konuların yalnızca iki adayla sınırlı kalması, biyomühendislik ve biyomimetik gibi alanların öğretmen adaylarınca henüz yeterince görünür olmadığına işaret etmektedir. ÖA-1 tercih ettiği konu/alanları somut tasarım görevleriyle şöyle ilişkilendirmiştir:
"Kuvvet ve enerji: enerji tasarruflu araç tasarımları. Madde ve ısı: ısı yalıtımlı ev modelleri. Elektrik: akıllı ev sistemleri veya basit devre çözümleri. Canlılar ve yaşam: dikey tarım sistemleri veya sürdürülebilir çevre projeleri." (ÖA-1)

Tema 2: Öğretmen Adaylarının Mühendisliği Öğretme Becerilerini Fen Eğitimine Entegrasyonu ve Uygulama Süreci

Bu tema, öğretmen adaylarının mühendislik becerilerini sınıf ortamına taşırken geliştirdikleri stratejileri, karşılaştıkları yapısal engelleri ve güçlü hissettikleri yetkinlik alanlarını kapsamaktadır (Tablo 5–8).

Tablo 5. Mühendislik öğretme becerilerinin fen eğitimine entegrasyonu

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
STEM ve Proje Tabanlı Yaklaşım	STEM temelli projeler	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5, ÖA-7, ÖA-8
	Ders planı / teorik süreç	ÖA-1, ÖA-7
	Proje tabanlı öğrenme	ÖA-8
Somut Mühendislik Uygulamaları	Sıfır atık, su cenderesi, deprem dayanıklı bina, kuş yuvası / yumurta kapsülü, dikey tarım ünitesi	ÖA-1, ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-5
Sürdürülebilirlik ve Çevre Odaklı Entegrasyon	Sürdürülebilir çevre / tarım	ÖA-5

Tablo 5, adayların entegrasyonu ağırlıklı olarak STEM temelli projeler ve somut mühendislik tasarım uygulamaları (sıfır atık, su cenderesi, deprem dayanıklı bina, kuş yuvası/yumurta kapsülü, dikey tarım ünitesi) üzerinden kurguladığını göstermektedir. Bu durumu ÖA-4 şu şekilde belirtmiştir:
"Sürdürülebilir bir kuş yuvası tasarımı veya yumurta taşıma kapsülü gibi STEM etkinlikleri yaparım." (ÖA-4)

Tablo 6. Mühendislik öğretme becerilerini öğrencilere uyarlama

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Somut Mühendislik Uygulamaları	Su cenderesi modeli, filtre sistemi tasarımı, basınç odaklı su altı robotu, köprü tasarımı ve dayanıklılık testi	ÖA-2, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-7, ÖA-8
Öğretim Yöntemleri ve Süreçler	Grup çalışması, öğrenci fikirlerine özgü tasarım, rehberlik	ÖA-3, ÖA-5
Gerçek Dünya ve Sürdürülebilirlik	Kısıtlı malzeme ve bütçe ile çalışma	ÖA-4
Seviyeye Göre Uyarlama	Görsel ve hesaplama temelli düzenlemeler	ÖA-1

Tablo 6'da adayların mühendislik becerilerini öğrencilere uyarlarken somut tasarım görevlerini (su cenderesi, filtre sistemi, su altı robotu, köprü tasarımı), grup çalışması ve rehberliği, kısıtlı malzeme/bütçe ile çalışmayı ve seviyeye göre uyarlamayı öne çıkardığı görülmektedir. ÖA-5'in ifadesi pedagojik duyarlılığın değerli bir örneğini sunmaktadır:
"Öğrencilere uygularken tasarımlarının öğrencilerin fikirlerine özgü olmasına dikkat ederim; takıldıkları noktalarda (malzeme temini, hesaplamalar, sistem sulamasının nasıl yapılabileceği gibi) rehberlik veririm." (ÖA-5)

Tablo 7. Mühendisliği öğretirken karşılaşılan engeller

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Kaynak ve Zaman Kısıtları	Ders süresinin yetersizliği / zaman yönetimi	ÖA-1, ÖA-5, ÖA-7, ÖA-8

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Teknik ve İçerik Zorlukları	Malzeme tedariği / bulma	ÖA-1, ÖA-3
	Sistemin dengesi, kuvvet dağılımı	ÖA-2
	STEM boyutlarını entegre etme güçlüğü	ÖA-7
Öğrenci Kaynaklı Zorluklar	Hayal gücü eksikliği, özgün fikir üretememe	ÖA-4
	Grup çalışmasına isteksizlik, adil değerlendirme güçlüğü	ÖA-5
	Öğrencilerin hemen "doğru" sonuca ulaşma isteği	ÖA-6
Sınıf Yönetimi ve Değerlendirme	Kalabalık sınıfta her grupla ilgilenme zorluğu	ÖA-5
	Sınıf yönetimi sorunları	ÖA-8

Tablo 7, entegrasyon sürecinin önündeki engelleri dört kategoride toplamaktadır. En sık dile getirilen engel, ders süresinin yetersizliği ve zaman yönetimidir (dört aday). Bunu malzeme tedariği, teknik-içerik zorlukları (sistemin dengesi/kuvvet dağılımı, STEM boyutlarını entegre etme), öğrenci kaynaklı güçlükler (özgün fikir üretememe, "doğru" sonuca hemen ulaşma beklentisi, grup çalışmasına isteksizlik, adil değerlendirme güçlüğü) ile sınıf yönetimi sorunları izlemektedir. ÖA-8 bu güçlükleri özlü biçimde ifade etmiştir:
"Zorlandığım noktalar genellikle sınıf yönetimi ve zamanın yeterli olmaması olabilir." (ÖA-8)

Tablo 8. Mühendislik öğretiminde adayların güçlü hissettikleri yetkinlik alanları

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Öğretim Sürecini Yönlendirme	Rehberlik etme, merak uyandırma, motivasyonu yükseltme, tasarımları destekleme, öğrencileri süreci iyileştirmeye teşvik etme, tasarım sürecine katılımı sağlama	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
İçerik ve Yöntem Yeterliliği	Problem durumunu günlük hayattan seçme	ÖA-1, ÖA-2
	Fen konularını günlük yaşamla ilişkilendirme, mühendislik prensiplerini kavratma, senaryo oluşturma	ÖA-2, ÖA-7
Planlama ve Süreç Yönetimi	Planlama yeterliliği	ÖA-5, ÖA-8
	Süreci yönetme ve değerlendirme	ÖA-5

Tablo 8, adayların kendilerini en yetkin hissettikleri alanların öğretim sürecini yönlendirme (rehberlik, merak uyandırma, motivasyon artırma) etrafında kümelendiğini; içerik-yöntem yeterliliği ile planlama-süreç yönetiminin bunu tamamladığını göstermektedir. ÖA-1 güçlü yönlerini şu şekilde ifade etmiştir:
"Rehberlik etme, öğrencileri meraklandırma ve problem durumunu günlük hayattan seçme konusunda başarılı olacağımı düşünüyorum." (ÖA-1)

Tema 3: Öğretmen Adaylarının Mühendislikle İlişkilendirdikleri Beceriler ve Öğrencilere Uyarlaması

Bu tema, öğretmen adaylarının mühendislikle ilgili becerileri ve bu becerileri fen içerikleriyle ilişkilendirirken yaşadıkları zorlukları kapsamaktadır (Tablo 9–10).

Tablo 9. Mühendislikle ilişkilendirilen beceriler

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Bilişsel ve Düşünme	Yaratıcılık / yaratıcı düşünme	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-8
	Eleştirel düşünme	ÖA-4, ÖA-5, ÖA-6, ÖA-8
	Problem çözme	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-8
	Analitik düşünme, gözlem becerileri	ÖA-2
	Sistemi bütün hâlinde kavrama	ÖA-5
Akademik ve Disiplinler Arası	Matematiksel yetkinlik	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-7
	Dijital okuryazarlık, tasarım becerileri	ÖA-1, ÖA-7
Sosyal ve İletişim	İş birliği	ÖA-1, ÖA-3, ÖA-4, ÖA-6, ÖA-8
	İletişim becerileri	ÖA-6, ÖA-8

Tablo 9, adayların mühendislikle en güçlü biçimde ilişkilendirdiği becerilerin bilişsel ve düşünme boyutunda yoğunlaştığını (yaratıcılık, eleştirel düşünme, problem çözme, analitik düşünme/gözlem, sistemi bütün hâlinde kavrama); bunu matematiksel yetkinlik ve dijital okuryazarlık gibi akademik/disiplinler arası beceriler ile iş birliği ve iletişim gibi sosyal becerilerin izlediğini göstermektedir. ÖA-2 bu ilişkilendirmeyi şöyle ifade etmiştir:
"Uygulama sürecinde mühendislik becerilerini özellikle problem çözme, analitik düşünme, yaratıcılık ve gözlem becerileri ile ilişkilendiriyorum." (ÖA-2)

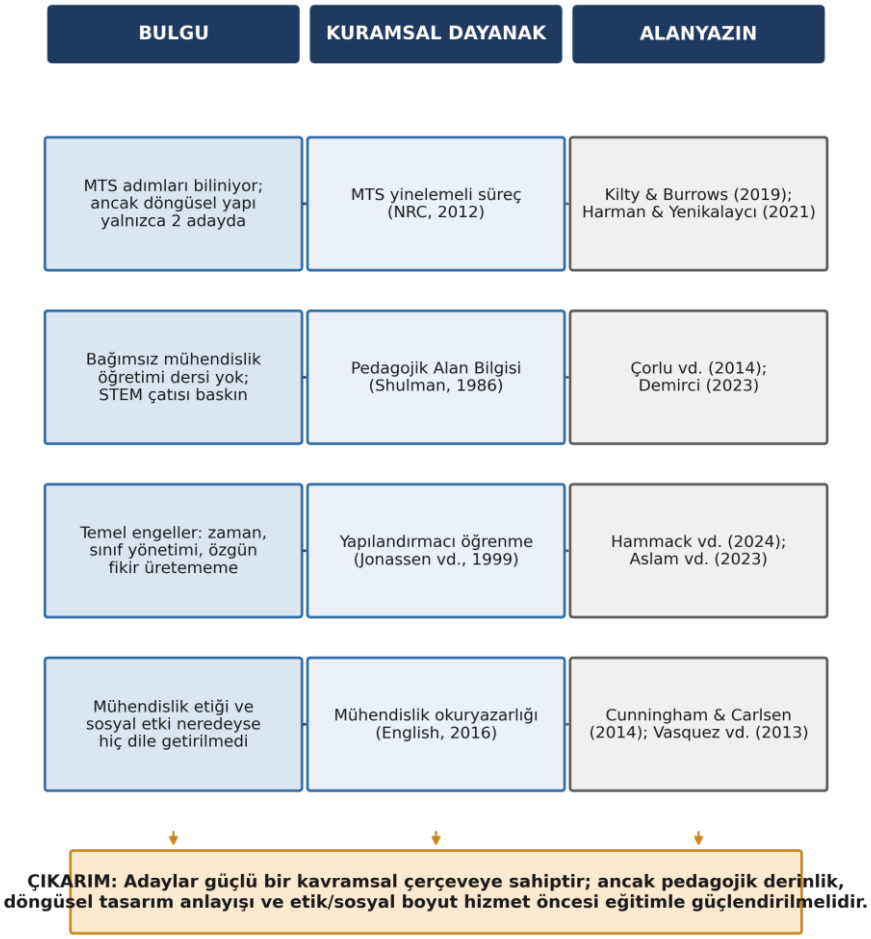
Tablo 10. Mühendislik becerilerini ilişkilendirmede karşılaşılan zorluklar

Kategoriler	Kodlar	Katılımcılar
Katılım ve Sınıf Yönetimi	Öğrencileri aktif tutma, kalabalık sınıflarda süreç takibi, malzeme yönetimi	ÖA-1, ÖA-4, ÖA-8
Bilişsel Zorluklar	Beceri–adım ilişkilendirme karmaşıklığı, eleştirel düşünmeyi derinleştirme, analitik düşünceye yönlendirme	ÖA-2, ÖA-3, ÖA-7
Disiplinler Arası Uyum	Yaratıcılık ve tasarım bağlamı, sanatsal tasarımla karıştırma, zaman planlaması	ÖA-2, ÖA-6, ÖA-7
Etik ve Sosyal Boyut	Etik ve sosyal etkiyi ilişkilendirme güçlüğü	ÖA-5

Tablo 10, beceri ilişkilendirme sürecinde adayların katılım/sınıf yönetimi, bilişsel ilişkilendirme karmaşıklığı, disiplinler arası uyum ve etik/sosyal boyut başlıklarında zorlandığını ortaya koymaktadır. Araştırmanın en özgün bulgularından biri, mühendislik etiği ve sosyal etkinin yalnızca bir aday tarafından dile getirilmiş olmasıdır. ÖA-7'nin ifadesi bilişsel ilişkilendirme güçlüğünü açıkça ortaya koymaktadır:
"Hedeflenen bir mühendislik becerisini ders planına organik bir şekilde entegre etmek ve etkinliğin zaman planlamasını doğru yapmak oldukça güç olabiliyor. Ayrıca öğrencilerin alışılagelmiş kalıplardan sıyrılıp sürece bir bilim insanı ya da mühendis gibi yaklaşmalarını, o analitik düşünce yapısına girmelerini sağlamak da zorlayıcı bir süreç." (ÖA-7)

TARTIŞMA

Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecinin fen eğitimine entegrasyonuna ilişkin fenomenolojik deneyimlerini üç temel boyutuyla ortaya koymuştur. Bulgular ile kuramsal açıklamalar ve alanyazın arasındaki ilişkiler Şekil 3'te görselleştirilmektedir.



Şekil 3. Bulgular, kuramsal açıklamalar ve çıkarımlar arasındaki ilişkileri gösteren tartışma sentez şeması.

Bilgi ve Farkındalık Boyutundaki Bulguların Tartışılması

Katılımcıların tamamının MTS'nin temel adımlarını tutarlı biçimde sıralayabilmesi, adayların sürecin iskelet yapısına ilişkin güçlü bir kavramsal çerçeve edindiğine işaret etmektedir. Bu bulgu kısmen umut verici olmakla birlikte, MTS'nin döngüsel ve yinelemeli yapısını yalnızca iki adayın açıkça dile getirmesi, mühendislik anlayışının doğrusal bir zihinsel şemaya sıkıştığına güçlü bir işarettir. Kilty ve Burrows'un (2019) ABD'li öğretmen adaylarıyla yürüttüğü çalışmada da benzer örüntü gözlemlenmiş; adaylar mühendisliği tekrar eden ve hatayı öğrenme kaynağı olarak benimseyen bir süreç olarak değil, tek seferlik bir problem çözme eylemi olarak algılamıştır. Harman ve Yenikalaycı'nın (2021) ulusal bağlamdaki bulguları da adayların mühendislik tasarımını ağırlıklı olarak bilişsel kazanımlar üzerinden değerlendirdiğini ortaya koyarak bu örüntüyü desteklemektedir.

Adayların mühendislik öğretimine hazırlanma süreçlerinde hiçbir katılımcının bağımsız ve zorunlu bir mühendislik öğretimi dersinden söz etmemesi, Çorlu ve arkadaşlarının (2014) Türk öğretmen yetiştirme programlarının mühendisliğe özgü pedagojik içerik bilgisi geliştirme kapasitesinin son derece sınırlı olduğuna dair tespitini doğrulamaktadır. Shulman'ın (1986) PAB çerçevesi bu açığı kavramsal düzeyde tam olarak tanımlamaktadır: bir öğretmenin "ne" öğreteceğini bilmesi ile "nasıl" öğreteceğini bilmesi arasındaki mesafe, hizmet öncesi eğitimin kapatması gereken temel boşluktur. Demirci'nin (2023) mühendislik odaklı mesleki gelişim programının öğretmenlerin pedagojik alan bilgisini anlamlı biçimde geliştirdiğini gösteren bulguları, bu boşluğun hedefli ve uygulamalı eğitim yoluyla kapatılabileceğine ilişkin somut bir kanıt sunmaktadır.

Entegrasyon Süreci Bulgularının Tartışılması

En sık karşılaşılan engelin zaman yetersizliği (katılımcıların yarısı) olduğu görülmektedir. Bu bulgu, alanyazınla yüksek tutarlılık içindedir: Hammack ve arkadaşları (2024), Aslam ve arkadaşları (2023) ve Shernoff ve arkadaşları (2017) da zaman kısıtını mühendislik entegrasyonunun önündeki en kalıcı yapısal bariyer olarak tanımlamaktadır. Bununla birlikte öğrenci kaynaklı güçlükler (özgün fikir üretememe, "doğru" sonuca hemen ulaşma beklentisi, grup çalışmasına direnç) birbiriyle ilişkili bir örüntü oluşturmaktadır. Bu örüntü, Türk okullarının mevcut öğrenme kültürü ile mühendislik öğretiminin epistemolojik gerekleri arasındaki köklü bir uyumsuzluğa işaret etmektedir.

Adayların güçlü hissettikleri yetkinlik alanlarının "rehberlik etme" ve "motivasyon artırma" gibi ilişkisel roller etrafında kümelenmesi (katılımcıların çoğunluğu), adayların kendilerini yapılandırmacı öğretmen rolü anlayışıyla (Jonassen vd., 1999) konumlandırdığını göstermektedir. Ancak Kilty ve Burrows (2019), öğretmen adaylarının öz-bildirimlerine dayanan değerlendirmeleri ile gözlem verilerinin belirgin biçimde ayrıştığını ortaya koymuştur. Bu araştırma öz-bildirime dayalı olduğundan, güçlü yönlere ilişkin bulguların sınıf gözlemiyle doğrulanmamış algısal veriler olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.

Beceri İlişkilendirme Bulgularının Tartışılması

Öğretmen adaylarının mühendislikle en güçlü biçimde ilişkilendirdiği becerilerin eleştirel düşünme, yaratıcılık ve iş birliği olduğu görülmektedir. Bu bulgular uluslararası araştırmalarla (English, 2016; Vasquez vd., 2013) tutarlıdır. Bununla birlikte mühendislik etiği ve sosyal etkinin neredeyse hiçbir katılımcı tarafından (yalnızca bir aday) dile getirilmemesi, araştırmanın alanyazına en özgün katkısını oluşturmaktadır. Mühendisliği yalnızca teknik beceri olarak kurmak, sürdürülebilirlik ve toplumsal sorumluluk boyutlarını göz ardı etmek anlamına gelmektedir (Cunningham & Carlsen, 2014; English, 2016).

Üç adayın yaratıcılığı sanatsal tasarımla karıştırmasından kaynaklanan kavram yanılgısı da ayrıca değerlendirilmelidir. "Mühendislik yaratıcılığı" ile "sanatsal yaratıcılık" arasındaki epistemolojik fark, öğretmen adaylarının zihinsel modellerinde henüz netleşmemiş görünmekte; bu durum, tasarım etkinliklerinin mühendislik sürecinin özünden uzaklaşma riskini doğurmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç

Bu araştırma, fen bilimleri öğretmen adaylarının mühendislik tasarım sürecinin fen eğitimine entegrasyonuna ilişkin fenomenolojik deneyimlerini üç temel boyutuyla ortaya koymuştur. Bulgular, birbirini tamamlayan iki örüntüyü aynı anda gözler önüne sermektedir: Öğretmen adayları mühendislik öğretimine yönelik görece güçlü bir kavramsal çerçeve ve olumlu bir eğilim sergilemektedir; ancak bu çerçevenin pedagojik derinliğe, etik genişliğe ve döngüsel tasarım anlayışına henüz tam olarak kavuşmadığı anlaşılmaktadır.

Bilgi ve farkındalık boyutunda adaylar MTS'nin temel adımlarına güçlü ve tutarlı bir kavramsal bilgiyle sahipken (katılımcıların tamamı), sürecin döngüsel yapısını yalnızca iki aday açıkça dile getirmiştir. Adayların mühendislik öğretimine hazırlanma sürecinin STEM genel kurslarına ve bireysel çabalara dayalı kalması, Türk öğretmen yetiştirme programlarının yapısal bir kırılganlığına işaret etmektedir. Entegrasyon süreci boyutunda en sık başvurulan stratejinin STEM temelli projeler ve somut mühendislik tasarım uygulamaları olduğu; zaman yetersizliğinin ve öğrencilerin özgün fikir üretememe güçlüğünün temel engeller olarak öne çıktığı görülmüştür. Beceri ilişkilendirme boyutunda adayların mühendisliği ağırlıklı olarak bilişsel becerilerle ilişkilendirdiği; mühendislik etiği ve sosyal etkinin ise neredeyse tamamen göz ardı edildiği (yalnızca bir aday) saptanmıştır. Bu araştırma, öğretmen adaylarının mühendislik öğretimine ilişkin deneyimlerini fenomenolojik bir yaklaşımla derinlemesine inceleyen özgün bir çalışma olarak ulusal alanyazına katkı sunmaktadır.

Uygulamaya Yönelik Öneriler

Araştırma bulguları, öğretmen yetiştirme programlarında en acil gereksinimin mühendislik tasarım sürecine özgü, bağımsız ve uygulamaya dayalı bir dersin müfredata eklenmesi olduğuna işaret etmektedir. Bu dersin içeriği; MTS'nin yinelemeli yapısını, deneme-yanılma ve başarısızlıktan öğrenme

ilkesini, kısıtlar dahilinde problem çözmeyi ve ölçme-değerlendirme stratejilerini bütünsel biçimde kapsamalıdır. Lisans programlarına mühendislik etiği, sosyal sorumluluk ve sürdürülebilirlik boyutlarını kapsayan modüler içeriklerin eklenmesi, adayların mühendisliği yalnızca teknik bir uygulama değil, toplumsal etkileri olan bütünsel bir süreç olarak kavramasını destekleyecektir. Sürdürülebilirlik farkındalığının öğretmen adaylarında hedefli içeriklerle geliştirilebildiğine ilişkin bulgular (Atmaca, 2018), bu önerinin uygulanabilirliğini desteklemektedir. Fizik dışı fen disiplinlerinde mühendislik entegrasyonuna özgü öğretim materyalleri ve örnek etkinlik havuzlarının geliştirilmesi (Yılmaz vd., 2021), adayların konu haritasındaki mevcut daralmanın giderilmesine katkı sağlayacaktır. Yapısal düzeyde ise mühendislik etkinliklerine olanak tanıyan STEM laboratuvarlarının ve esnek ders saati düzenlemelerinin yaygınlaştırılması, uygulama önündeki en kalıcı engellerin kaldırılması için elzem görünmektedir.

Araştırmaya Yönelik Öneriler

Bu araştırmanın öz-bildirime dayalı yapısı göz önünde bulundurulduğunda, gelecek çalışmaların sınıf gözlemleri, video analizleri ve öğrenci çıktılarını içeren çoklu veri kaynakları aracılığıyla öğretmen adaylarının gerçek uygulamalarını doğrudan incelemesi büyük önem taşımaktadır. Öğretmen adaylarının hizmet öncesi eğitim sürecindeki gelişimini boylamsal olarak izleyecek çalışmalar, mühendislik pedagojisinin nasıl biçimlendiğine dair dinamik bir anlayış sunacaktır. Farklı üniversiteler ve coğrafi bölgelerden örneklem genişletmesi, bulguların aktarılabilirliğini artıracak; nicel ve nitel yöntemleri bütünleştiren karma araştırma desenleri ise mühendislik öğretimine ilişkin tutum ve öz-yeterliğin derinlemesine anlaşılmasına katkı sağlayacaktır. Son olarak, mühendislik etiği ve sosyal sorumluluk farkındalığının öğretmen adaylarında nasıl geliştiğini inceleyen deneysel müdahale çalışmaları, alana özgün ve pratik değer taşıyan bulgular üretecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından SDK-2025-14892 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destek için teşekkür eder.

Kaynakça

Adıgüzel Ulutaş, M., Elmas, R., Karakaya, F. ve Yılmaz, M. (2023). Türkiye'de yapılan STEM eğitimi yaklaşımı çalışmalarının mühendislik tasarım süreci uygulamalarının bağlamında incelenmesi. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 21*(2), 1111–1130. https://doi.org/10.37217/tebd.1294562

Asal, R. (2020). *Mühendislik tasarım temelli fen öğretiminin ilkokul 4. sınıf öğrencilerinin bilimsel yaratıcılık ve eleştirel düşünme becerilerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Tez No. 615878]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Aslam, S., Alghamdi, A. A., Abid, N., & Kumar, T. (2023). Challenges in implementing STEM education: Insights from novice STEM teachers in developing countries. *Sustainability, 15*(20), 14455. https://doi.org/10.3390/su152014455

Atmaca, A. C. (2018). *Fen bilgisi öğretmen adaylarının sürdürülebilir kalkınma farkındalıklarının belirlenmesi* [Yüksek lisans tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Avrupa Komisyonu. (2024). *2024 Türkiye raporu*. T.C. Dışişleri Bakanlığı Avrupa Birliği Başkanlığı. https://www.ab.gov.tr/siteimages/birimler/kpb/2024_trkiye_report_tr.pdf

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard Business Review, 86*(6), 84–92.

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.

Creswell, J. W. (2019). *Nitel araştırmacılar için 30 temel beceri* (H. Özcan, Çev. Ed.). Anı Yayıncılık.

Cunningham, C. M., & Carlsen, W. S. (2014). Teaching engineering practices. *Journal of Science Teacher Education, 25*(2), 197–210. https://doi.org/10.1007/s10972-014-9380-5

Çavaş, P., Ayar, A. ve Gürcan, G. (2020). Türkiye'de STEM eğitimi üzerine yapılan araştırmaların durumu üzerine bir çalışma. *YYÜ Eğitim Fakültesi Dergisi, 17*(1), 823–854.

Çorlu, M. S., Capraro, R. M., & Capraro, M. M. (2014). Introducing STEM education: Implications for educating our teachers in the age of innovation. *Eğitim ve Bilim, 39*(171), 74–85.

Demirci, F. (2023). *Mühendislik eğitimi odaklı mesleki gelişim programının fen bilimleri öğretmenlerinin mühendislik entegrasyonu pedagojik alan bilgilerine ve mühendislik öğretimi öz-yeterliklerine etkisi* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Ordu Üniversitesi.

English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 3. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1

Girgin, D. (2019). 21. yüzyılın öğrenme deneyimi: Öğretmenlerin tasarım odaklı düşünme eğitimine ilişkin görüşleri. *Millî Eğitim Dergisi, 49*(226), 53–91.

Guba, E. G. (1981). Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *Educational Communication and Technology, 29*(2), 75–91.

Hammack, R., Yeter, I. H., Pavlovich, C., & Boz, B. (2024). Pre-service elementary teachers' science and engineering teaching self-efficacy and outcome expectancy. *International Journal of STEM Education, 11*, 32. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00464-9

Harman, G., & Yenikalaycı, N. (2021). STEM eğitiminde mühendislik tasarım sürecine dayalı etkinliklere yönelik fen bilgisi öğretmen adaylarının görüşleri. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 53*(53), 206–226. https://doi.org/10.15285/maruaebd.729672

Hira, A., & Hynes, M. M. (2019). Design-based research to broaden participation in pre-college engineering. *European Journal of Engineering Education, 44*(1–2), 103–122. https://doi.org/10.1080/03043797.2017.1405243

Jonassen, D. H., Peck, K. L., & Wilson, B. G. (1999). *Learning with technology: A constructivist perspective*. Prentice Hall.

Joynes, C., Rossignoli, S., & Fenyiwa Amonoo-Kuofi, E. (2019). *21st century skills: Evidence of issues in definition, demand and delivery for development contexts* (K4D Helpdesk Report). Institute of Development Studies.

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education, 3*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z

Kilty, T. J., & Burrows, A. C. (2019). Secondary science preservice teachers' perceptions of engineering. *Education Sciences, 9*(2), 107. https://doi.org/10.3390/educsci9020107

Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice-Hall.

Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology* (4. baskı). Sage.

Kvale, S., & Brinkmann, S. (2009). *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing* (2. baskı). Sage.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage.

Mayer, R. E. (2019). Problem solving. *Oxford research encyclopedia of education*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.860

Merriam, S. B. (2013). *Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber* (S. Turan, Çev. Ed.). Nobel Yayıncılık.

Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook* (2nd ed.). Sage.

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (3. baskı). Sage.

Moustakas, C. (1994). *Phenomenological research methods*. Sage.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/13165

NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/18290

Okulu, H. Z., & Oğuz Ünver, A. (2021). Mühendisliğin STEM eğitimine entegrasyonunda kuramsal bir inceleme. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 8*(2), 545–558. https://doi.org/10.21666/muefd.841152

Öz, E. (2023). Üst düzey düşünme becerileri ile ilgili araştırmaların bibliyometrik analizi: Türkiye perspektifi. *Millî Eğitim Dergisi, 52*(1), 107–136. https://doi.org/10.37669/milliegitim.1308837

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods* (3. baskı). Sage.

Razzouk, R., & Shute, V. (2012). What is design thinking and why is it important? *Review of Educational Research*, *82*(3), 330–348.

Shernoff, D. J., Sinha, S., Bressler, D. M., & Ginsburg, L. (2017). Assessing teacher education and professional development needs for the implementation of integrated approaches to STEM education. *International Journal of STEM Education*, *4*(1), 13.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, *15*(2), 4–14. https://doi.org/10.2307/1175860

Silverman, D. (2013). *Doing qualitative research: A practical handbook* (4. baskı). Sage.

TÜBİTAK. (2024). *İkinci Türkiye-AB yüksek düzeyli diyalog toplantısı İstanbul'da gerçekleştirildi*. https://tubitak.gov.tr/tr/haber/ikinci-turkiye-ab-yuksek-duzeyli-diyalog-toplantisi-istanbulda-gerceklestirildi

Uludağ, Z., & Harman, G. (2024). Fen bilimleri öğretmenlerinin fen ve mühendislik uygulamalarına yönelik farkındalıklarının incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi, 62*, 3374–3425. https://doi.org/10.53444/deubefd.1515263

Uzel, L. (2019). *6. sınıf madde ve ısı ünitesinde gerçekleştirilen mühendislik tasarım temelli uygulamaların öğrencilerin problem çözme ve tasarım becerilerine etkisinin değerlendirilmesi* [Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3–8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

Wang, H. H., Moore, T. J., Roehrig, G. H., & Park, M. S. (2011). STEM integration: Teacher perceptions and practice. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, *1*(2), 1–13.

Yıldırım, A. ve Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Seçkin Yayıncılık.

Yıldırım, B., & Altun, Y. (2015). STEM eğitim ve mühendislik uygulamalarının fen bilgisi laboratuvar dersindeki etkilerinin incelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, *2*(2), 28–40.

Yılmaz, A., Ertuğrul Akyol, B. ve Aydede, M. N. (2021). *Uzaktan eğitim sürecinde örnek etkinliklerle STEM uygulamaları*. Pegem Akademi Yayıncılık.

EXAMINING THE STEM CAREER IDENTITY OF MIDDLE SCHOOL STUDENTS PARTICIPATING IN ROBOTICS COMPETITIONS THROUGH FREE CAREER DRAWINGS

ROBOTİK YARIŞMALARINA KATILAN ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN STEM KARİYER KİMLİĞİNİN SERBEST MESLEK ÇİZİMLERİ ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Sevcan Filiz AVCI DAŞ[1]
Milli Eğitim Bakanlığı
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5313-1563,

Prof. Dr. Uğur BÜYÜK
Erciyes Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6830-8349,

ABSTRACT
This study aims to examine the STEM career identity of middle school students who have participated in national and international robotics competitions, using free career drawing as a projective technique. The research was conducted within a qualitative research framework as an embedded unit of analysis within a holistic single-case design. The study group consisted of five middle school students (three male, two female; grades 5–8) attending public and private schools in Kayseri, selected through maximum variation sampling. Data were collected using the Free Career Drawing Test; students were asked to draw the profession they would like to pursue in the future and to write the name and distinctive characteristics of that profession. The drawings were analyzed via descriptive analysis by grouping them as STEM and non-STEM professions. The findings indicate that all participating students drew STEM or STEM-related professions (software engineering, electrical–electronics engineering, and modeling) and attributed characteristics grounded in technology, software, mathematics, productivity, and creativity to their chosen professions. The results suggest that robotics competitions contribute to the crystallization of STEM career identity by strengthening students' "can-do self" perception. It is recommended that projective drawing techniques be used as a complementary data source that renders STEM career identity visible in early adolescence.
Keywords: Robotics competitions, STEM career identity, free career drawing, projective technique, middle school students.

ÖZET
Bu araştırma, ulusal ve uluslararası robotik yarışmalarına katılmış ortaokul öğrencilerinin STEM kariyer kimliğini, yansıtıcı bir teknik olan serbest meslek çizimi aracılığıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde, bütüncül tek durum deseni içinde gömülü bir analiz birimi olarak yürütülmüştür. Çalışma grubu, Kayseri ilinde maksimum çeşitlilik örneklemesiyle belirlenen, devlet ve özel okullarda öğrenim gören 5 ortaokul öğrencisinden (3 erkek, 2 kız; 5–8. sınıf aralığı) oluşmaktadır. Veriler Meslek Serbest Çizim Testi ile toplanmış; öğrencilerden gelecekte yapmak istedikleri mesleği çizmeleri, mesleğin adını ve ayırt edici özelliklerini yazmaları istenmiştir. Çizimler, STEM ve STEM-dışı meslekler biçiminde gruplandırılarak betimsel analiz ile çözümlenmiştir. Bulgular, katılımcı öğrencilerin tamamının STEM ya da STEM ile ilişkili meslekleri (yazılım mühendisliği, elektrik-elektronik mühendisliği ve modelleme) çizdiğini; seçtikleri mesleğe teknoloji, yazılım, matematik, üretkenlik ve yaratıcılık temelli nitelikler atfettiğini göstermektedir. Sonuçlar, robotik yarışmalarının öğrencilerin "yapabilir benlik" algısını güçlendirerek STEM kariyer kimliğinin somutlaşmasına katkı sağladığına işaret etmektedir. Yansıtıcı çizim tekniğinin, erken ergenlikte STEM kariyer kimliğini görünür kılan tamamlayıcı bir veri kaynağı olarak kullanılabileceği önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Robotik yarışmaları, STEM kariyer kimliği, serbest meslek çizimi, yansıtıcı teknik, ortaokul öğrencileri.

[1]Bu çalışma, ikinci yazarın danışmanlığında birinci yazar tarafından hazırlanan doktora tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın bilgi temelli ekonomileri fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (STEM) alanlarında nitelikli insan gücüne giderek daha fazla gereksinim duymaktadır. Bu gereksinim, yalnızca yükseköğretim düzeyinde değil, bireyin meslekî yönelimlerinin biçimlenmeye başladığı çok daha erken dönemlerde ele alınması gereken bir politika sorununa dönüşmüştür. Uluslararası alanyazın gençlerin STEM alanlarına yönelik ilgisinde okul kademeleri ilerledikçe gözlenen kademeli bir gerilemeye dikkat çekmekte, bu da kariyer ilgisinin erken dönemde desteklenmesini kritik kılmaktadır. Nitekim kariyer gelişimi kuramları, meslekî tercihlerin tek bir kararla değil, çocukluktan ergenliğe uzanan kademeli bir benlik-inşası süreciyle olgunlaştığını öne sürmektedir (Super, 1980). Bu süreçte ortaokul dönemi bireyin ilgi alanlarını keşfettiği, yeteneklerine ilişkin inançlarını sınadığı ve gelecekteki olası benliklerini tasarladığı kritik bir eşik niteliği taşımaktadır.

Bireyin belirli bir alanda başarılı olabileceğine ilişkin inancı yani öz-yeterlik algısı, kariyer ilgisinin ve tercihinin en güçlü yordayıcılarından biri olarak kabul edilmektedir. Sosyal Bilişsel Kariyer Kuramı (Lent, Brown & Hackett, 1994), bireyin doğrudan başarı deneyimleri yoluyla geliştirdiği öz-yeterlik ve sonuç beklentilerinin, alana yönelik ilgiyi ve nihayetinde meslekî yönelimi biçimlendirdiğini ileri sürmektedir. Bu kuramsal çerçeveyle ilişkili olarak Markus ve Nurius (1986), bireyin "olmak istediği", "olabileceği" ve "olmaktan korktuğu" benliklerini kapsayan olası benlikler kavramını ortaya koymuş, gelecekteki benlik tasarımlarının güncel motivasyon ve davranış üzerinde belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Bir öğrencinin kendisini "bir mühendis" ya da "bir yazılımcı" olarak hayal edebilmesi, bu kuramlar ışığında yalnızca bir tercih değil, somut deneyimlerle beslenen bir kimlik inşası eylemidir. STEM kimliği alanyazını bu inşanın iki bileşenini vurgular: bireyin kendini bir "STEM insanı" olarak tanıması (iç tanınma) ve çevresi tarafından öyle görülmesi (dış tanınma) (Carlone & Johnson, 2007). Erken ergenlikte bu iki tanınma biçiminin birlikte beslenmesi, STEM kimliğinin kalıcılaşması açısından belirleyicidir.

Bu kimlik inşasının gerçekleştiği öğrenme ortamlarından biri de robotik yarışmalarıdır. Robotik yarışmaları, öğrencileri gerçek mühendislik problemleriyle yüzleştiren, tasarla-yap-test et-iyileştir döngüsünü deneyimleten ve takım temelli çözüm üretmeyi gerektiren özgün ekosistemler olarak tanımlanmaktadır (Benitti, 2012; Eguchi, 2014; Nugent, Barker & Grandgenett, 2016). Alanyazın, bu yarışmalara katılımın öğrencilerin STEM alanlarına yönelik tutum, ilgi ve kariyer yönelimlerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Welch ve Huffman (2011) robotik yarışmalara katılan lise öğrencilerinin bilime yönelik tutumlarının daha olumlu olduğunu; Hendricks, Alemdar ve Ogletree (2012) VEX yarışmalarına katılımın STEM kariyer ilgisini artırdığını; Graffin, Sheffield ve Koul (2022) ise FIRST LEGO League deneyiminin STEM tutum, öğrenme ve 21. yüzyıl becerilerini geliştirdiğini belgelemiştir. Okul dışı bilim etkinliklerinin kariyer ilgisindeki belirleyici rolü, Dabney ve diğerlerinin (2012) boylamsal bulgularıyla da desteklenmektedir. Yakın dönemde Duan vd. (2026), robotik temelli bir programa katılan öğrencilerde STEM kimliğinin geliştiğini; üstelik bu gelişimi "en iyi olası benlik" temelli çizim etkinliğiyle görünür kıldığını ortaya koyarak, hem robotik bağlamını hem de yansıtıcı çizim yöntemini doğrudan birleştiren güncel bir kanıt sunmuştur.

Bununla birlikte, robotik yarışmalarının STEM kariyer yönelimi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmaların büyük çoğunluğu nicel ölçeklere ve öz-bildirime dayalı tutum/ilgi ölçümlerine dayanmaktadır. Erken ergenlik dönemindeki öğrencilerin kariyer kimliğine ilişkin örtük tasarımlarını açığa çıkarmada, sözel öz-bildirim araçları tek başına yetersiz kalabilmektedir; çünkü bu yaş grubunda gelecekteki benliğe ilişkin tasarımlar çoğu zaman henüz sözel olarak tam ifade edilemeyen, örtük ve imgesel bir nitelik taşır. Bu noktada yansıtıcı tekniklerden biri olan çizim temelli ölçümler güçlü bir tamamlayıcı araç sunmaktadır. Chambers'ın (1983) öncülük ettiği Bir Bilim İnsanı Çiz (Draw-A-Scientist) geleneği, çocukların bilim ve meslek algılarını sözcüklerin ötesinde görselleştirerek incelemenin geçerli bir yolu olduğunu göstermiştir. Bu gelenekten hareketle Çiftçi (2018), öğrencilerin STEM mesleklerini fark etme düzeyini ölçmek üzere Meslek Serbest Çizim Testi'ni (MSÇT) geliştirmiştir. Çizim, öğrencinin gelecekteki olası benliğini somut, görünür ve yorumlanabilir bir biçime dönüştürmesi bakımından kariyer kimliğinin doğrudan bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Bu araştırma, robotik yarışmalarına katılmış ortaokul öğrencilerinin STEM kariyer kimliğini, MSÇT aracılığıyla görünür kılmayı amaçlamaktadır.

Aynı katılımcılarla yürütülen görüşmelere dayalı kariyer yönelimi bulguları ayrı bir çalışmada raporlanmış olup (Avcı Daş & Büyük, 2026), mevcut çalışma bu bulguları tekrar etmek yerine, çizim temelli yansıtıcı veriyi bağımsız ve tamamlayıcı bir kanıt katmanı olarak sunmayı; böylece kariyer kimliğine ilişkin yöntemsel bir üçgenleme (triangulation) sağlamayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda aşağıdaki araştırma sorusuna yanıt aranmıştır: *Robotik yarışmalarına katılan ortaokul öğrencilerinin serbest meslek çizimlerine yansıyan STEM kariyer kimliği nasıl bir görünüm sergilemektedir?*

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde tasarlanmıştır. Öğrencilerin kariyer kimliğine ilişkin deneyim ve tasarımlarını kendi doğal bağlamı içinde, derinlemesine keşfetmek amaçlandığından, Yin (2014) tarafından kavramsallaştırılan bütüncül tek durum deseni benimsenmiş, serbest meslek çizimi bu durum içinde gömülü bir analiz birimi olarak ele alınmıştır. Nitel durum çalışmasının doğası gereği amaç istatistiksel genelleme değil, ele alınan olgu hakkında bağlam-zengini ve derinlemesine bir anlayış geliştirmektir (Merriam, 1998; Patton, 2015).

Çalışma Grubu

Çalışma grubu, amaçlı örnekleme yöntemlerinden maksimum çeşitlilik örneklemesi ile belirlenmiştir (Patton, 2015). Bu stratejinin temel gerekçesi, sosyo-ekonomik arka plan ve kaynak erişimi bakımından farklılaşan bağlamların (devlet/özel okul) kariyer kimliğine nasıl yansıdığını analiz edebilmektir. Maksimum çeşitlilik örneklemesinin nitel desende işlevi, küçük bir grupta dahi ortaya çıkan ortak örüntülerin görece güçlü ve aktarılabilir olmasını sağlamaktır. Katılımcıların belirlenmesinde farklı sınıf düzeylerinde öğrenim görmek, en az bir ulusal robotik yarışmasına aktif yarışmacı olarak katılmış olmak, cinsiyet dağılımında çeşitlilik sağlamak ve gönüllü katılım ölçütleri esas alınmıştır. Bu ölçütler doğrultusunda 2023–2024 eğitim-öğretim yılında Kayseri ilinde öğrenim gören 5 ortaokul öğrencisi (2 devlet, 3 özel okul) çalışmaya dâhil edilmiştir. Katılımcılara Ö1–Ö5 kod adları verilmiştir; demografik özellikler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Katılımcı Öğrencilerin Demografik Özellikleri

Kod	Cinsiyet	Sınıf/Yaş	Okul Türü	Yarışma Deneyimi / Takımdaki Rol
Ö1	Kız	12 yaş	Devlet	1 yarışma — Sunum Koordinatörü
Ö2	Kız	13 yaş	Devlet	1 yarışma — Tasarım Sorumlusu
Ö3	Erkek	14 yaş	Özel	3 yarışma — Programlama Uzmanı
Ö4	Erkek	14 yaş	Özel	3 yarışma — Kodlama Uzmanı
Ö5	Erkek	12 yaş	Özel	2 yarışma — Kodlama Uzmanı

Veri Toplama Aracı ve Süreci

Veri toplama aracı olarak Çiftçi (2018) tarafından geliştirilen Meslek Serbest Çizim Testi (MSÇT) kullanılmıştır. Uygulamada öğrencilere "Gelecekte ne olmak istersiniz? Çiziniz." yönergesi verilmiş, çizimlerin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla ayrıca "Resimde seçtiğin meslek nedir?" ve "Seçtiğin bu mesleğin özellikleri nelerdir?" soruları yöneltilerek öğrencilerden mesleğin adını ve ayırt edici niteliklerini yazmaları istenmiştir. Yazılı açıklamaların eklenmesi, yalnızca çizimin görsel içeriğine değil, öğrencinin kendi yorumuna da erişim sağlayarak yansıtıcı verinin araştırmacı-merkezli aşırı yorumlanması riskini azaltan önemli bir önlemdir. MSÇT, görüşmelerin tamamlanmasının ardından bireysel olarak ve yeterli süre tanınarak uygulanmıştır. Etik gereklilikler kapsamında veli onay formu alınmış, uygulama gönüllülük esasına dayandırılmıştır.

Veri Analizi

Öğrencilerin çizimleri ve mesleğe ilişkin yazılı açıklamaları, Çiftçi'nin (2018) yaklaşımıyla tutarlı biçimde betimsel analiz ile çözümlenmiştir. Çizimler öncelikle STEM ve STEM-dışı meslekler biçiminde iki üst kategoride gruplandırılmış, ardından her çizimde mesleğe atfedilen özellikler içerik bakımından betimlenmiş ve ortak temalar altında kümelenmiştir.

STEM/STEM-dışı sınıflandırmasında fen, teknoloji, mühendislik ve matematik disiplinleriyle doğrudan ilişkili meslekler STEM kategorisinde değerlendirilmiş, sınır durumlar bulgular bölümünde açıkça belirtilmiştir.

Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın inandırıcılığı ve tutarlığı çeşitli stratejilerle güvence altına alınmıştır (Lincoln & Guba, 1985). Çizim verilerinin sınıflandırılması, birinci araştırmacı ve fen eğitimi alanında uzman ikinci bir araştırmacı tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilmiş, görüş ayrılıkları tartışılarak tam uzlaşı sağlanmıştır. Aktarılabilirliği desteklemek amacıyla bağlam, katılımcı özellikleri ve uygulama süreci ayrıntılı biçimde betimlenmiştir. Ayrıca çizim verisi, aynı katılımcılarla yürütülen görüşmelere dayalı kariyer yönelimi bulgularıyla (Avcı Daş & Büyük, 2026) karşılaştırılarak yöntemsel üçgenleme sağlanmış, böylece tek bir veri kaynağına bağlı yorum sınırlılığı azaltılmıştır.

Etik

Araştırma, Erciyes Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Etik Kurulu'nun 25.01.2023 tarihli ve 12 sayılı kararıyla etik onay almıştır. Tüm katılımcılara araştırmanın amacı ve kapsamı açıklanmış; gönüllü katılım ve gizlilik hakları konusunda bilgilendirilmiş onam alınmış, 18 yaş altı katılımcılar için veli onayı sağlanmıştır. Katılımcıların kimlik bilgileri kodlama yoluyla anonimleştirilmiştir.

BULGULAR

Araştırmanın temel sorusu kapsamında, katılımcı öğrencilerin serbest meslek çizimleri ile bu çizimlere ilişkin yazılı açıklamaları çözümlenmiştir. Öğrencilerin çizdikleri meslekler, meslek kategorisi (STEM / STEM-dışı) ve mesleğe atfedilen ayırt edici özellikler Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. Öğrencilerin Serbest Meslek Çizimi (MSÇT) Bulguları

Kod	Çizilen Meslek	Kategori	Mesleğe Atfedilen Özellikler
Ö1	Yazılım mühendisliği	STEM	Bilgisayar bilgisi; yazılım bilgisi; teknolojiye ilgi
Ö2	Yazılım mühendisliği	STEM	Sayısal zekâ; yazılım; teknoloji; matematik
Ö3	Modelleme (modellemeci)	STEM ile ilişkili*	Geleceğin meslek şartlarına uygun; dünyada talep gören; zihni zinde tutan; eğlenceli ve ilgi çekici; piyasada tanınırlık sağlayan; üreten/satan tarafta olmak; bağımsızlık; ufuk açıcı
Ö4	Elektrik-elektronik mühendisliği	STEM	Yaratıcı; üretken; lider; çalışkan; zamana uyum sağlayan
Ö5	Yazılım mühendisliği	STEM	Uygulama üretmek; kod yazmak; program geliştirmek; insanlara faydalı uygulamalar üretmek

* Ö3'ün "modellemeci" çizimi, terimin çok anlamlılığı nedeniyle sınır durum olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2 incelendiğinde, en çarpıcı bulgu katılımcı öğrencilerin tamamının STEM ya da STEM ile ilişkili meslekleri çizmiş olmasıdır. Beş öğrenciden üçü (Ö1, Ö2, Ö5) yazılım mühendisliğini, biri (Ö4) elektrik-elektronik mühendisliğini doğrudan STEM meslekleri olarak resmetmiştir. Öğrencilerin hiçbiri STEM-dışı bir mesleği (örneğin geleneksel hizmet veya sanat meslekleri) çizmemiştir. Maksimum çeşitlilik örneklemesiyle seçilen ve devlet/özel okul, farklı sınıf düzeyi ve cinsiyet bakımından farklılaşan bir grupta bu örüntünün istisnasız belirmesi, bulgunun aktarılabilirliğini güçlendiren önemli bir noktadır, çünkü ortak örüntü çeşitliliğe rağmen ortaya çıkmıştır.

Mesleğe atfedilen özellikler incelendiğinde, çizimlerin yalnızca bir meslek etiketinden ibaret olmadığı öğrencilerin seçtikleri mesleğe ilişkin bilişsel ve değer temelli bir kavrayış geliştirdiği görülmektedir. Bu nitelikler dört tema altında kümelenmektedir: teknik/alana özgü beceriler, 21. yüzyıl becerileri, değer/toplumsal katkı ve gelecek-yönelimi/özerklik. Katılımcıların çizdikleri meslekler ile atfettikleri niteliklerin bu temalara göre dağılımı Şekil 1'de bütüncül olarak haritalanmıştır.

Şekil 1 Katılımcıların Çizdikleri Meslekler ve Atfettikleri Niteliklerin Temalara Göre Haritası

Şekil 1'de görüldüğü üzere, yazılım mühendisliğini çizen öğrenciler (Ö1, Ö2, Ö5) mesleği "kod yazmak", "program geliştirmek", "yazılım", "teknoloji", "matematik" ve "sayısal zekâ" gibi alana özgü teknik niteliklerle tanımlamıştır. Bu durum, öğrencilerin seçtikleri meslek hakkında yalnızca yüzeysel bir hayale değil, mesleğin gerektirdiği yetkinliklere dair bir farkındalığa sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle Ö5'in mesleği "insanlara faydalı uygulamalar üretmek" biçiminde tanımlaması, teknik bir mesleğe toplumsal bir değer yüklendiğini ortaya koymaktadır. Ö4'ün elektrik-elektronik mühendisliği çizimine atfettiği "yaratıcı", "üretken", "lider" ve "çalışkan" gibi nitelikler, mühendislik kimliğinin teknik boyutunun ötesinde liderlik ve üretkenlik gibi 21. yüzyıl becerileriyle bütünleştirildiğini göstermektedir. Ö3'ün "modelleme" çizimi ise, mesleğe atfedilen "geleceğin meslek şartlarına uygun", "dünyada talep gören", "piyasada tanınırlık sağlayan" ve "bağımsızlık" gibi nitelikler bakımından güçlü bir gelecek-yönelimi ve özerklik arzusu yansıtmaktadır. Bu öğrencinin mesleğini küresel piyasa ve geleceğin iş gücü dinamikleri çerçevesinde konumlandırması, robotik deneyiminin kariyer tasarımına stratejik bir perspektif kattığını düşündürmektedir.

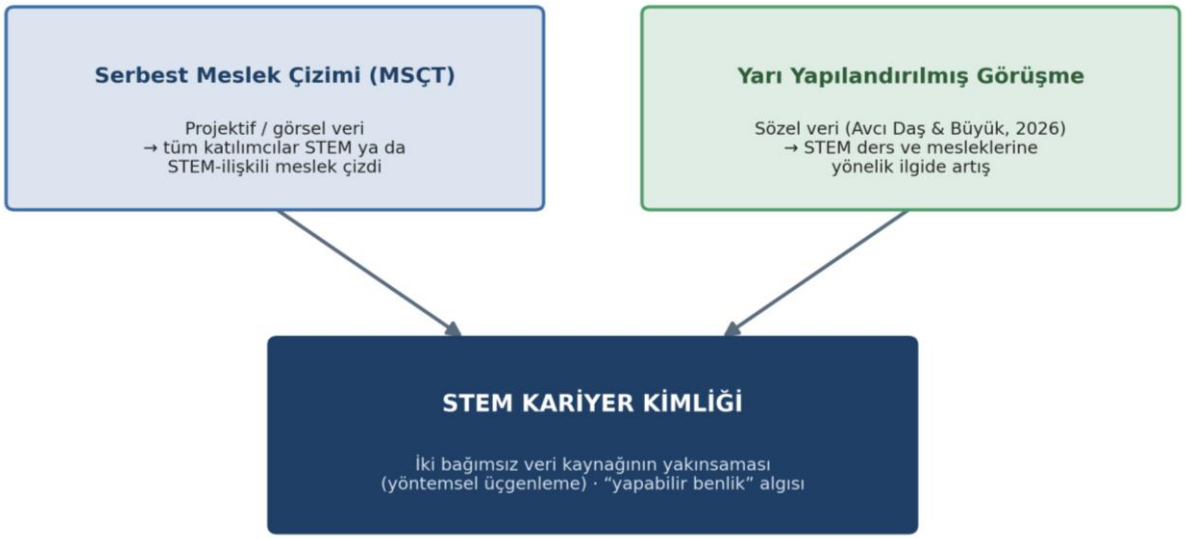
TARTIŞMA

Bu araştırma, robotik yarışmalarına katılan ortaokul öğrencilerinin STEM kariyer kimliğini, sözel öz-bildirim yerine yansıtıcı bir çizim tekniğiyle görünür kılmayı amaçlamıştır. Katılımcıların tamamının STEM ya da STEM ile ilişkili meslekleri çizmesi, robotik yarışmalarının STEM kariyer ilgisini güçlendirdiğine ilişkin nicel alanyazınla (Dabney vd., 2012; Hendricks vd., 2012; Graffin vd., 2022; Welch & Huffman, 2011) tutarlı; ancak bu etkiyi farklı bir yöntemsel mercekle, kimlik düzeyinde somutlaştıran özgün bir kanıt sunmaktadır. Çizimler, Sosyal Bilişsel Kariyer Kuramı'nın (Lent vd., 1994) öngördüğü mekanizmayla uyumludur: robotik yarışmasında somut ürünler geliştirerek doğrudan başarı deneyimi yaşayan öğrenci, alana yönelik öz-yeterlik algısını güçlendirmekte ve bu güçlenme meslekî yönelime dönüşmektedir. Bu yorum robotik temelli bir programda STEM kimliğinin gelişimini çizim yoluyla belgeleyen Duan vd.'nin (2026) güncel bulgularıyla da doğrudan örtüşmektedir.

Çizimlerin yalnızca bir meslek etiketi değil, mesleğe atfedilen zengin nitelikler içermesi, Markus ve Nurius'un (1986) olası benlikler kavramıyla açıklanabilir. Öğrenciler gelecekteki "olmak istedikleri benliği" teknoloji, yazılım, matematik, üretkenlik ve liderlik gibi alana özgü niteliklerle donatarak, soyut bir hayalin ötesinde işlevsel ve ayrıntılı bir kimlik tasarımı ortaya koymuşlardır. Bu bulgu robotik yarışmalarının öğrencilerin kendilerini birer mühendis, yazılımcı ya da üretici olarak hayal etmelerine olanak tanıyarak STEM kimliği gelişimini desteklediği yönündeki kuramsal çerçeveyle (Carlone & Johnson, 2007) örtüşmektedir.

Mesleğe yüklenen "insanlara faydalı uygulamalar üretmek" gibi değer temelli niteliklerin belirmesi, Carlone ve Johnson'ın (2007) iç tanınma (kendini bir STEM insanı olarak görme) bileşeninin bu yaş grubunda zaten işlemeye başladığına işaret etmektedir. Yansıtıcı çizim tekniğinin bu kimlik tasarımını görünür kılması, MSÇT'nin (Çiftçi, 2018) ve daha geniş anlamda Bir Bilim İnsanı Çiz geleneğinin (Chambers, 1983) erken ergenlikte kariyer kimliğini incelemede güçlü bir araç olduğunu doğrulamaktadır.

Bulguların yöntemsel değeri, aynı katılımcılarla yürütülen görüşmelere dayalı kariyer yönelimi bulgularıyla (Avcı Daş & Büyük, 2026) gösterdiği yakınsamada belirginleşmektedir. Görüşmelerde öğrencilerin STEM derslerine ve mesleklerine yönelik ilgilerinin arttığını ifade etmeleriyle, çizimlerinde STEM mesleklerini resmetmeleri arasındaki tutarlılık, iki bağımsız veri kaynağının birbirini doğruladığı bir üçgenleme sağlamaktadır. Sözel ifade ile görsel tasarımın aynı yönde buluşması, robotik deneyiminin kariyer kimliği üzerindeki etkisinin yüzeysel bir söylem değil, farklı temsil düzeylerinde tutarlı biçimde içselleştirilmiş bir yönelim olduğunu güçlendirmektedir. Bu yöntemsel yakınsama Şekil 2'de görselleştirilmektedir.



Şekil 2 Çizim ve Görüşme Verilerinin STEM Kariyer Kimliği Üzerinde Yöntemsel Üçgenlemesi

Öte yandan, bulgular metodolojik bir ihtiyatla yorumlanmalıdır. Ö3'ün çizdiği "modellemeci" mesleği, terimin çok anlamlı yapısı nedeniyle açık bir sınır durum oluşturmaktadır. Bu terim, bağlam içinde üç boyutlu/CAD modellemesi (mühendislik tasarımı ve dijital üretimle ilişkili, STEM'e yakın bir alan) anlamına gelebileceği gibi, tasarım ve yaratıcı endüstriler ekseninde de okunabilmektedir. Öğrencinin programlama uzmanı rolü ve mesleğe atfettiği "geleceğin meslek şartlarına uygun" niteliği, teknoloji-tasarım eksenli bir okumayı desteklese de bu çizimin koşulsuz biçimde STEM kategorisine yerleştirilmesi temkinli yaklaşılması gereken bir yorumdur. Bu sınır durum, yansıtıcı tekniklerin yorumlanmasında öğrencinin yazılı açıklamalarının ve bağlamsal verilerin birlikte değerlendirilmesinin önemini göstermektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, robotik yarışmalarına katılan ortaokul öğrencilerinin STEM kariyer kimliğini serbest meslek çizimleri aracılığıyla incelemiş ve katılımcı öğrencilerin tamamının STEM ya da STEM ile ilişkili meslekleri, alana özgü teknik ve değer temelli niteliklerle birlikte resmettiğini ortaya koymuştur. Çizim verisinin aynı katılımcılarla yürütülen görüşme bulgularıyla yakınsaması, robotik deneyiminin öğrencilerin "yapabilir benlik" algısını güçlendirerek STEM kariyer kimliğinin somutlaşmasına katkı sağladığına ilişkin bütüncül bir kanıt sunmaktadır. Araştırma, yansıtıcı çizim tekniğinin, erken ergenlikte STEM kariyer kimliğini görünür kılan, sözel ölçümleri tamamlayıcı geçerli bir veri kaynağı olduğunu göstermesi bakımından alanyazına özgün bir katkı sunmaktadır.

Bununla birlikte, beş katılımcıyla sınırlı bu nitel desenin bulguları istatistiksel genelleme amacı taşımamakta, ele alınan duruma ilişkin derinlemesine bir kavrayış sağlamayı hedeflemektedir.

Öneriler

Uygulamaya yönelik olarak, robotik yarışmalarının yalnızca teknik beceri kazandıran etkinlikler olarak değil, öğrencilerin STEM kariyer kimliği gelişimini destekleyen kariyer-rehberliği bağlamları olarak da değerlendirilmesi önerilmektedir. Rehberlik servisleri ve fen öğretmenleri, MSÇT gibi yansıtıcı teknikleri öğrencilerin meslekî yönelimlerini erken dönemde fark etmek ve desteklemek amacıyla kullanabilir. Araştırmaya yönelik olarak ise çizim temelli verilerin daha büyük ve çeşitli örneklemlerde, yarışmaya katılan ve katılmayan öğrencilerin karşılaştırıldığı desenlerde sınanması; ayrıca kariyer kimliğindeki dönüşümün yarışma öncesi-sonrası ve uzun vadeli izlendiği boylamsal çalışmaların yürütülmesi önerilmektedir. Son olarak yansıtıcı tekniklerin yorumlanmasında çok anlamlı meslek adlarının (örn. "modellemeci") yol açabileceği sınıflandırma belirsizliklerini azaltmak amacıyla, çizimlerin öğrenci görüşmeleriyle sistematik biçimde birlikte çözümlenmesi metodolojik bir gereklilik olarak vurgulanmaktadır.

KAYNAKÇA

Avcı Daş, S. F., & Büyük, U. (2026). Robotik yarışmalarında danışman öğretmen ve öğrenci deneyimleri: Beceri kazanımı ve mesleki yönelim üzerine bir inceleme. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi, 14*, 57–81. https://doi.org/10.56423/fbod.1766427

Benitti, F. B. V. (2012). Exploring the educational potential of robotics in schools: A systematic review. *Computers & Education, 58*(3), 978–988.

Carlone, H. B., & Johnson, A. (2007). Understanding the science experiences of successful women of color: Science identity as an analytic lens. *Journal of Research in Science Teaching, 44*(8), 1187–1218.

Chambers, D. W. (1983). Stereotypic images of the scientist: The Draw-A-Scientist Test. *Science Education, 67*(2), 255–265.

Çiftçi, M. (2018). *Geliştirilen STEM etkinliklerinin ortaokul öğrencilerinin bilimsel yaratıcılık düzeylerine, STEM disiplinlerini anlamalarına ve STEM mesleklerini fark etmelerine etkisi* [Yüksek lisans tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

Dabney, K. P., Tai, R. H., Almarode, J. T., Miller-Friedmann, J. L., Sonnert, G., Sadler, P. M., & Hazari, Z. (2012). Out-of-school time science activities and their association with career interest in STEM. *International Journal of Science Education, Part B, 2*(1), 63–79.

Duan, S., Cai, Q. V., Song, L., & McNary, S. W. (2026). *Fostering STEM identity in underrepresented elementary students: Integrating robotics and reflective practice*. TechTrends, 70, 106–121. https://doi.org/10.1007/s11528-025-01131-8

Eguchi, A. (2014). Robotics as a learning tool for educational transformation. *Proceedings of the 4th International Workshop Teaching Robotics, Teaching with Robotics*, 27–34.

Graffin, M., Sheffield, R., & Koul, R. (2022). 'More than robots': Reviewing the impact of the FIRST® LEGO® League Challenge robotics competition on school students' STEM attitudes, learning, and twenty-first century skill development. *Journal for STEM Education Research, 5*(3), 322–343. https://doi.org/10.1007/s41979-022-00078-2

Hendricks, C. C., Alemdar, M., & Ogletree, T. W. (2012). The impact of participation in VEX robotics competition on middle and high school students' interest in pursuing STEM studies and STEM-related careers. *2012 ASEE Annual Conference & Exposition.*

Lent, R. W., Brown, S. D., & Hackett, G. (1994). Toward a unifying social cognitive theory of career and academic interest, choice, and performance. *Journal of Vocational Behavior, 45*(1), 79–122.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage Publications.

Markus, H., & Nurius, P. (1986). Possible selves. *American Psychologist, 41*(9), 954–969.

Merriam, S. B. (1998). *Qualitative research and case study applications in education*. Jossey-Bass.

Nugent, G., Barker, B., & Grandgenett, N. (2016). Robotics camps, clubs, and competitions: Results from a US robotics project. *Robotics and Autonomous Systems, 75*, 686–691.

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). Sage Publications.

Super, D. E. (1980). A life-span, life-space approach to career development. *Journal of Vocational Behavior, 16*(3), 282–298.

Welch, A., & Huffman, D. (2011). The effect of robotics competitions on high school students' attitudes toward science. *School Science and Mathematics, 111*(8), 416–424.

Yin, R. K. (2014). *Case study research: Design and methods* (5th ed.). Sage Publications.

FEN BİLİMLERİ EĞİTİMİNDE ERİŞİLEBİLİRLİK: SURİYE KÖKENLİ KÖR ÖĞRENCİLER VE KÖR BİR FEN BİLİMLERİ ÖĞRETMENİNİN DENEYİMLERİ

ACCESSIBILITY IN SCIENCE EDUCATION: EXPERIENCES OF SYRIAN-ORIGIN BLIND STUDENTS AND A BLIND SCIENCE TEACHER

MSc. Aydın SELLİOĞ
Science Teacher, PhD Student, Mersin University, Mersin, Türkiye
ORCİD ID: 0000-0002-0939-4769

Dr. Mehmet KÜÇÜKGÖZ
Special Education Teacher, Ministry of National Education, Kahramanmaraş, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6402-5624

MSc. Mehmet Gazi ASLAN
Science Teacher, Ministry of National Education, Kahramanmaraş, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7985-9330

Abstract
Science education relies extensively on visual elements such as observations, models, experimental apparatus, graphs, and diagrams, requiring accessible instructional arrangements for blind students. For Syrian-background blind students with migration experiences, these requirements are compounded by the demands of Turkish academic language and cultural adaptation. This study examined how Syrian-background blind eighth-grade students experienced access to science lessons taught by a blind science teacher. The research employed an embedded single-case study design within a qualitative research approach. The study group comprised two Syrian-background blind female students selected through criterion sampling and the blind science teacher who taught their science lessons. Data were collected through participant information forms, semi-structured interviews with the students and teacher, researcher field notes, and audio recordings. Interview transcripts and field notes were analysed using thematic analysis. Student and teacher data were initially analysed separately and subsequently interpreted together to identify shared and divergent patterns of meaning. The findings showed that access to science lessons did not depend solely on the provision of adapted materials. Everyday-life examples, analogies, simplified explanations, and rich verbal descriptions facilitated students' understanding of abstract and visually oriented science concepts. Tactile models, auditory content, and Braille resources were found to be more effective when combined with teacher guidance, step-by-step exploration, and question-and-answer interactions. Simple explanations, references to equivalent or closely related terms in the students' first language, and mutual verification of conceptual meaning supported their understanding of Turkish science terminology. Asking students to explain concepts in their own words, generate examples, and revise incorrect responses following teacher feedback facilitated the monitoring of conceptual understanding. The teacher's shared lived experience of blindness enabled him to anticipate the students' access needs and adapt instruction accordingly. This shared experience increased students' confidence in asking questions, reduced their anxiety about making mistakes, and fostered a classroom environment built on trust between the teacher and students. The study showed that accessible science teaching for Syrian-background blind students became more effective when sensory support, language support, teacher description, interactive inquiry, and safe participation were used together. The findings indicate that teachers should receive professional support in the use of accessible materials, Turkish science language instruction, and inclusive classroom communication.
Keywords: Science education, accessibility, blind student, Syrian-background student, blind science teacher

Özet
Fen bilimleri eğitimi, gözlem, model, deney düzeneği, grafik ve şekil gibi görsel ögelerin yoğun kullanımı nedeniyle kör öğrenciler açısından erişilebilir öğretim düzenlemeleri gerektirmektedir.

Göç deneyimi yaşayan Suriye kökenli kör öğrencilerde bu gereksinime Türkçe akademik dil ve kültürel uyum süreçleri de eklenmektedir. Bu araştırmanın amacı, Suriye kökenli 8. sınıf kör öğrencilerin fen bilimleri dersine erişim deneyimlerinin, kör bir fen bilimleri öğretmeniyle yürütülen ders sürecinde nasıl gerçekleştiğini incelemektir. Araştırma, nitel araştırma yaklaşımına dayalı iç içe geçmiş tek durum çalışması deseninde yürütülmüştür. Çalışma grubu, ölçüt örnekleme yoluyla belirlenen Suriye kökenli iki kör kız öğrenci ile bu öğrencilerin derslerini yürüten kör bir fen bilimleri öğretmeninden oluşmuştur. Veriler katılımcı bilgi formları, yarı yapılandırılmış öğrenci ve öğretmen görüşmeleri, araştırmacı alan notları ve ses kayıtları aracılığıyla toplanmıştır. Görüşme dökümleri ile alan notları tematik analiz kullanılarak çözümlenmiş; öğrenci ve öğretmen verileri önce ayrı, ardından ortak ve ayrışan anlam örüntüleri açısından birlikte yorumlanmıştır. Bulgular, fen bilimleri dersine erişimin tek başına uyarlanmış materyal sunumuna dayanmadığını göstermiştir. Günlük yaşam örnekleri, benzetmeler, sade açıklamalar ve zengin sözlü betimlemeler, soyut ve görsel ağırlıklı fen kavramlarının anlaşılmasını kolaylaştırmıştır. Dokunsal modeller, işitsel içerikler ve Braille destekler; öğretmenin yönlendirmesi, adım adım inceleme ve soru-cevap süreciyle kullanıldığında daha işlevsel hâle geldiği ortaya çıkmıştır. Türkçe fen terimlerinin anlaşılmasında basit açıklamalar, öğrencinin ana dilindeki yakın karşılıklardan yararlanma ve kavramsal anlamı karşılıklı olarak kontrol etme etkili olmuştur. Öğrencilerin kavramları kendi sözcükleriyle açıklaması, örnek üretmesi ve yanlış yanıtlarını öğretmen dönütüyle yeniden düzenlemesi kavramsal anlamanın izlenmesini kolaylaştırmıştır. Öğretmenin öğrencilerle paylaştığı körlük deneyimi, onların erişim gereksinimlerini önceden kestirmesine ve öğretimi bu gereksinimlere göre düzenlemesine katkı sağlamıştır. Bu ortak deneyim, öğrencilerin soru sorma rahatlığını artırmış, hata yapma kaygısını azaltmış ve öğretmen-öğrenci arasında güvene dayalı bir sınıf ortamı oluşturmuştur. Araştırma, Suriye kökenli kör öğrenciler için erişilebilir fen öğretiminin duyusal destek, dil desteği, öğretmen betimlemesi, etkileşimli sorgulama ve güvenli katılımın birlikte kullanılmasıyla daha etkili hâle geldiğini göstermiştir. Bulgular, öğretmenlerin erişilebilir materyal kullanımı, Türkçe fen dili desteği ve kapsayıcı sınıf iletişimi konularında mesleki olarak desteklenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Fen Bilimleri Eğitimi, Erişilebilirlik, Kör Öğrenci, Suriye Kökenli Öğrenci, Kör Fen Bilimleri Öğretmeni.

KİM DÜŞÜNÜYOR, KİM KARAR VERİYOR? ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ FEN ÖĞRENİMİNDE ÜRETKEN EPİSTEMİK SÜRTÜNME

WHO THINKS, WHO DECIDES? PRODUCTIVE EPISTEMIC FRICTION IN GENERATIVE AI-SUPPORTED SCIENCE LEARNING

MSc. Aydın SELLİOĞ
Mersin Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0939-4769

MSc. İsmail Bahadır ÇETİN
Milli Eğitim Bakanlığı
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7747-283X

Özet
Üretken yapay zekâ, fen öğreniminde açıklama oluşturma, veri yorumlama, geri bildirim sağlama ve bilimsel görevleri destekleme açısından önemli olanaklar sunmaktadır. Ancak bu araçların araştırma sorusu oluşturma, kanıt seçme, veri yorumlama ve açıklama geliştirme gibi temel bilişsel ve epistemik süreçleri öğrencinin yerine üstlenmesi, bilimsel akıl yürütmeye katılımı sınırlayabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, üretken yapay zekâ destekli fen öğreniminde öğrenci ile yapay zekâ arasındaki bilişsel iş bölümünü ve bilimsel karar verme sorumluluğunu açıklamak üzere geliştirilen Üretken Epistemik Sürtünme Modeli'ni (ÜESM) ortaya koymaktır. Model; üretken yapay zekâ ve fen eğitimi araştırmaları ile bilişsel dışsallaştırma, epistemik biliş ve uyanıklık, epistemik faillik, bilimsel uygulamalar ve üretken başarısızlık alanyazınının kuramsal sentezi yoluyla geliştirilmiştir. ÜESM; bilişsel iş bölümü, epistemik uyanıklık, epistemik sorumluluk, bilimsel uygulamalara katılım ve bağımsız bilimsel performans olmak üzere beş bileşenden oluşmaktadır. Modelde üretken epistemik sürtünme, yapay zekâ çıktılarının doğrudan kabul edilmesini kesintiye uğratan ve öğrenciyi kaynak doğrulama, kanıt değerlendirme, hata belirleme, alternatif açıklamaları karşılaştırma, gerekçelendirme ve yeniden yapılandırma süreçlerine yönelten öğretimsel bir mekanizma olarak tanımlanmaktadır. ÜESM, yapay zekâ kullanımını öğrencinin bilimsel karar ve gerekçelendirme sorumluluğunu ne ölçüde koruduğuna göre ikame edici, destekleyici ve epistemik sorgulayıcı kullanım biçimleriyle açıklamaktadır. Model aynı zamanda yapay zekâ destekli görevlerde elde edilen yüksek performans ile destek azaltıldığında sürdürülebilen bağımsız bilimsel performansı birbirinden ayırmaktadır. Bu ayrım, nitelikli bir ürünün öğrencinin aynı bilimsel süreçleri bağımsız biçimde gerçekleştirebildiğini tek başına göstermediği varsayımına dayanmaktadır. Kuramsal yapı, yapay zekânın hazır bilimsel yanıtlar üreten bir otorite olarak kullanılmasından çok, öğrencinin kendi düşüncesini sınamasına, kanıtla karşılaştırmasına, gerekçelendirmesine ve yeniden yapılandırmasına imkân veren bir öğrenme kaynağı olarak tasarlanmasını önermektedir. ÜESM'nin fen öğretiminde görev tasarımı, değerlendirme ve öğrenci–yapay zekâ etkileşiminin niteliğini inceleyen gelecekteki ampirik çalışmalar için sınanabilir bir kuramsal temel sunması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zekâ, fen eğitimi, üretken epistemik sürtünme, bilişsel iş bölümü, epistemik sorumluluk.

Abstract
Generative artificial intelligence (AI) offers significant opportunities in science learning by supporting explanation generation, data interpretation, feedback, and scientific tasks. However, when these tools take over core cognitive and epistemic processes that students are expected to perform, such as formulating research questions, selecting evidence, interpreting data, and developing explanations, students' engagement in scientific reasoning may be limited. This study aims to present the Productive Epistemic Friction Model (PEFM), developed to explain the cognitive division of labor between students and AI and students' responsibility for scientific decision-making in generative AI-supported science learning. The model was developed through a theoretical synthesis of research on generative AI and science education and literature on cognitive externalization, epistemic cognition and vigilance, epistemic agency, scientific practices, and productive failure.

PEFM comprises five components: cognitive division of labor, epistemic vigilance, epistemic responsibility, engagement in scientific practices, and independent scientific performance. Within the model, productive epistemic friction is defined as an instructional mechanism that interrupts the direct acceptance of AI outputs and prompts students to engage in source verification, evidence evaluation, error detection, comparison of alternative explanations, justification, and reconstruction. PEFM explains AI use through substitutive, supportive, and epistemically interrogative forms according to the extent to which students retain responsibility for scientific decisions and justification. The model also distinguishes between high performance achieved during AI-supported tasks and independent scientific performance sustained as support is reduced. This distinction is based on the premise that a high-quality product alone does not demonstrate that students can independently perform the same scientific processes. The theoretical framework proposes that AI should be designed as a learning resource that enables students to test, compare with evidence, justify, and reconstruct their own thinking rather than as an authority that provides ready-made scientific answers. PEFM is expected to provide a testable theoretical foundation for future empirical studies examining task design, assessment, and the quality of student–AI interaction in science education.
Keywords: Generative artificial intelligence, science education, productive epistemic friction, cognitive division of labor, epistemic responsibility.

SINIF ÖĞRETMENİ ADAYLARININ YAPAY ZEKÂYA YÖNELİK TUTUMLARI

PRE-SERVICE CLASSROOM TEACHERS' ATTITUDES TOWARD ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Asst. Prof. Ufuk GÜVEN
Düzce University, Faculty of Education, Department of Primary Education, Division of Classroom Education, Düzce, Türkiye
ORCİD: 0000-0003-1977-6426

Res. Asst. Beyza Kaviye ATEŞ
Düzce University, Faculty of Education, Department of Primary Education, Division of Classroom Education, Düzce, Türkiye
ORCİD: 0000-0002-0060-0271

Abstract
With the rapid advancement of technology, artificial intelligence, which has become increasingly widespread, is also frequently utilized in the field of education. The growing use of artificial intelligence in education has brought about new debates regarding the future status of the professional roles of teachers and pre-service classroom teachers. This study aims to examine pre-service classroom teachers' attitudes toward artificial intelligence in terms of various variables and to reveal the reasons underlying the perception of artificial intelligence as a threat to the classroom teaching profession. To this end, a mixed-methods design was employed in the study. The quantitative dimension of the research involved 154 pre-service teachers enrolled in the classroom teaching program of a state university located in the Western Black Sea Region of Turkey. Quantitative data were collected using the "General Attitudes towards Artificial Intelligence Scale," originally developed by Schepman and Rodway (2020) and adapted into Turkish by Kaya et al. (2024). The scale consists of a total of 20 items, 12 positive and 8 negative. Descriptive statistics, independent samples t-test, and ANOVA were used in the analysis of the data. In the qualitative dimension of the study, semi-structured interviews were conducted with 10 pre-service classroom teachers who indicated that they perceived artificial intelligence as a threat to the classroom teaching profession, and these interviews were audio-recorded. The data obtained from the interviews were transcribed and will be analyzed using MAXQDA 2020 software. The quantitative findings revealed that pre-service classroom teachers' general attitudes toward artificial intelligence were at a positive level (M=3.56). It was found that pre-service classroom teachers' attitudes toward artificial intelligence did not differ significantly by gender but did differ significantly by grade level. Significant differences were also found between groups in terms of frequency of artificial intelligence use, with pre-service classroom teachers who used artificial intelligence more frequently exhibiting more positive general attitudes. In addition, it was determined that the attitude scores of pre-service classroom teachers who did not experience anxiety toward artificial intelligence were significantly higher than those of pre-service teachers who did experience such anxiety. One of the noteworthy findings of the study is that, despite pre-service classroom teachers' generally positive attitudes toward artificial intelligence, a portion of them nevertheless perceive artificial intelligence as a threat to the classroom teaching profession. It is anticipated that a joint evaluation of the study's quantitative and qualitative findings will contribute to a more comprehensive understanding of pre-service classroom teachers' attitudes toward artificial intelligence, as well as their perceptions and concerns regarding the evolving professional role of classroom teachers in the future.
Keywords: Artificial intelligence, pre-service classroom teachers, attitude toward artificial intelligence, perceived professional threat.

Özet
Teknolojinin hızla gelişmesi ile yaygınlaşan yapay zekâ eğitim alanında da sıklıkla kullanılmaktadır. Eğitim alanında sıklıkla kullanılmaya başlanılan yapay zekâ, öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının mesleki rollerinin gelecekteki durumuna ilişkin yeni tartışmaları da beraberinde getirmektedir.

Bu araştırmada da sınıf öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik tutumlarını çeşitli değişkenler açısından incelemek ve yapay zekânın sınıf öğretmenliği mesleğine yönelik tehdit olarak algılanmasının nedenlerini ortaya koymak amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda araştırmada karma yöntem kullanılmıştır. Araştırmanın nicel boyutuna Türkiye'de Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan bir devlet üniversitesinin sınıf öğretmenliği programında öğrenim gören 154 öğretmen adayı katılmıştır. Nicel veriler, Schepman ve Rodway (2020) tarafından geliştirilen Kaya vd. (2024) tarafından Türkçeye uyarlanan "Yapay Zekâya Yönelik Genel Tutum Ölçeği" aracılığıyla toplanmıştır. Ölçek 12'si olumlu ve sekizi olumsuz olmak üzere toplam 20 maddeden oluşmaktadır. Verilerin analizinde ise betimsel istatistikler, bağımsız örneklemler t testi ve ANOVA kullanılmıştır. Araştırmanın nitel boyutunda ise yapay zekâyı sınıf öğretmenliği mesleği açısından bir tehdit olarak algıladığını belirten 10 sınıf öğretmeni adayıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler ses kaydı alınarak gerçekleştirilmiştir. Görüşmelerden elde edilen veriler yazıya aktarılmış olup veriler, MAXQDA 2020 programı aracılığıyla analiz edilecektir. Nicel bulgular sınıf öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik genel tutumlarının olumlu düzeyde olduğunu göstermiştir (M=3.56). Sınıf öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik tutumlarının cinsiyete göre anlamlı biçimde farklılaşmadığı ancak sınıf düzeyine göre anlamlı bir farklılık gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapay zekâ kullanım sıklığı bakımından da gruplar arasında anlamlı farklılıklar bulunmuş ve yapay zekâyı daha sık kullanan sınıf öğretmeni adaylarının genel tutumlarının daha olumlu olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, yapay zekâya yönelik kaygı taşımayan sınıf öğretmeni adaylarının tutum puanlarının kaygı taşıyan sınıf öğretmeni adaylarına göre anlamlı düzeyde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sınıf öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik genel tutumlarının olumlu olmasına rağmen bir kısmının yapay zekâyı sınıf öğretmenliği mesleği açısından bir tehdit olarak algılaması araştırmanın dikkat çekici sonuçlarından biri olarak görülmektedir. Araştırmanın nicel ve nitel bulgularının birlikte değerlendirilmesinin sınıf öğretmeni adaylarının yapay zekâya yönelik tutumları ile gelecekte sınıf öğretmeninin değişen mesleki rolüne ilişkin algılarının ve kaygılarının daha kapsamlı biçimde kavranılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, sınıf öğretmeni adayları, yapay zekâya yönelik tutum, mesleki tehdit algısı.

TÜRKÇE 5. SINIF DERS KİTABINDA YER ALAN METİNLERİN METİNDİLBİLİMSEL AÇIDAN İNCELENMESİ

A TEXTLINGUISTIC ANALYSIS OF THE TEXTS IN 5TH-GRADE TURKISH COURSEBOOKS

Dr. Öğr. Üyesi Nermin ER AYDEMİR
Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6406-3399

Özet
Türkçe öğretiminde, temel dil becerilerin ve üst düzey bilişsel becerilerin kazandırılmasında metinlerden yararlanılmaktadır. Beaugrande ve Dressler (1981), tümcelerin bir araya gelmesiyle oluşan yapının metin olarak adlandırılabilmesi için metinsellik ölçütleri olarak adlandırılan ölçütleri taşıması gerektiğini belirtmiştir. Bu ölçütler; bağdaşıklık, tutarlılık, amaçlılık, kabul edilebilirlik, bilgilendiricilik, duruma uygun olma, metinlerarasılıktır. Bağdaşıklık ve tutarlılık, metin-içi dilbilgisel ve sözcüksel ilişkileri ve tutarlılığı kapsadıklarından 'metin odaklı ölçütler' olarak kabul edilmektedir. Metnin iletişimsel işlevini sağlayan diğer ölçütler ise bağlamla ilgili metin-dışı öğelerle ilgilidirler (Dilidüzgün, 2008, s. 31). Türkçe ders kitaplarına yer alan metinlerin bu metinsellik ölçütlerine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Ortaokul ve İmam Hatip Ortaokulu Türkçe 5. Sınıf Ders Kitabı (1. ve 2. Kitap)'nda yer alan metinlerin metin odaklı ölçütler olarak belirlenen bağdaşıklık ve tutarlılık görünümlerinin örneklerle ortaya koyulması ve metinsellik ölçütleri bakımından değerlendirmeler yapılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılmıştır. Türkçe 5. Sınıf Ders Kitabı'ndaki metinlerin metinsellik ölçütlerine uygunluğunu saptamak amacıyla kitap içerisinde yer alan her temadan ikişer metin seçilmiş ve toplamda 12 metin incelenmiştir. Verilerin analizinde bağdaşıklık için Halliday ve Hasan'ın (1976) ölçütleri temel alınmıştır. Bu ölçütler; gönderim, eksiltili anlatım, değiştirim, bağlaç/bağlantı ögeleri ve sözcüksel bağdaşıklıktır. Tutarlılıkta ise Subaşı Uzun, 1995; Lüleci, 2010; Yılmaz 2010 tarafından kullanılan sınıflandırma temel alınmıştır. Bu sınıflandırma; özelleştirme, genelleştirme, neden-sonuç ilişkisi kurma, karşılaştırma ve karşıtlık bağlantısı sağlamadır. Araştırma sonucunda, Türkçe 5. Sınıf Ders Kitabı (1. ve 2. Kitap)'ndaki metinlerin bağdaşıklık ve tutarlılık ölçütlerine uygun olduğu görülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Türkçe Eğitimi, Türkçe 5. Sınıf Ders Kitabı, Metin, Metindilbilim, Metinsellik Ölçütleri.

Abstract
In Turkish language instruction, texts are used to develop basic language skills and higher-order cognitive skills. Beaugrande and Dressler (1981) noted that for a structure formed by the combination of sentences to be classified as a text, it must meet criteria known as "textuality criteria." These criteria are: cohesion, coherence, purposefulness, acceptability, informativeness, appropriateness, and intertextuality. Cohesion and coherence are considered "text-focused criteria" because they encompass intratextual grammatical and lexical relationships and consistency. The other criteria that ensure the text's communicative function, however, relate to context-related extratextual elements (Dilidüzgün, 2008, p. 31). Texts included in Turkish coursebooks must be selected in accordance with these textual criteria. The aim of this study is to illustrate, with examples, the aspects of coherence and consistency identified as text-focused criteria in the texts found in 5th-Grade Turkish Coursebooks for Middle School and Imam Hatip Middle School (Volumes 1 and 2), and to evaluate them in terms of textuality criteria. Document analysis, one of the qualitative research methods, was used in this study. To determine the compliance of the texts in 5th-Grade Turkish Coursebook with textuality criteria, two texts were selected from each theme in the book, resulting in a total of 12 texts analyzed. Halliday and Hasan's (1976) criteria were used as the basis for coherence in the analysis of the data. These criteria are: reference, ellipsis, substitution, conjunctions/connectives, and lexical coherence. Regarding consistency, the classification used by Subaşı Uzun (1995), Lüleci (2010), and Yılmaz (2010) was adopted. This classification includes specification, generalization, establishing cause-and-effect relationships, comparison, and contrast.

The results of the study indicate that the texts in 5th-Grade Turkish Coursebook (Volumes 1 and 2) meet the criteria for cohesion and coherence.
Keywords: Turkish Education, 5th Grade Turkish Coursebooks, Text, Textlinguistics, Textuality Criteria.

HASTANEDE OYUN VE HEMŞİRENİN OYUN AKTİVİTELERİNDEKİ ROLÜ

PLAY IN THE HOSPITAL AND THE NURSE'S ROLE IN PLAY ACTIVITIES

Ümmügülsüm KILIÇ[1]
[1]Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim dalı, Mersin, Türkiye.
[1]ORCID ID: 0009-0003-0281-2854

Doç. Dr. Atiye KARAKUL[2]
[2]Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Mersin, Türkiye.
[2]ORCID ID: 0000-0001-6580-9976

Prof. Dr. Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA[3]
[3]Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Mersin, Türkiye.
[3]ORCID ID: 0000-0002-1815-8821

ÖZET

Bu derlemenin amacı, hastane ortamında uygulanan oyun aktivitelerinin çocukların fiziksel, psikolojik ve sosyal iyilik halleri üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemek ve pediatri hemşiresinin terapötik oyun uygulamalarındaki rolünü değerlendirmektir. Ayrıca terapötik oyunun çocukların hastane deneyimlerine katkıları ile hemşirelerin çocuk ve aile merkezli bakım kapsamındaki sorumluluklarının ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu çalışma, hastanede oyun ve terapötik oyun uygulamalarına ilişkin ulusal ve uluslararası literatürün incelenmesine dayanan bir derlemedir. Konuyla ilgili araştırma makaleleri, sistematik derlemeler, meta-analizler, klinik uygulama rehberleri ve mesleki yayınlar değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler; oyunun çocuk gelişimindeki yeri, hastanede oyun uygulamaları, terapötik oyunun etkileri ve pediatri hemşiresinin rolü başlıkları altında sentezlenmiştir.

Literatür bulguları, hastanede gerçekleştirilen oyun aktivitelerinin çocukların anksiyete, korku ve stres düzeylerini azalttığını, hastane ortamına uyumu kolaylaştırdığını ve sağlık profesyonelleriyle iletişimi güçlendirdiğini göstermektedir. Terapötik oyunun özellikle girişimsel işlemler ve cerrahi uygulamalar öncesinde çocukların kaygı düzeylerini azaltarak olumlu baş etme becerilerini desteklediği belirlenmiştir. Ayrıca oyun temelli uygulamaların ağrı algısının azaltılmasına, duyguların ifade edilmesine ve çocuğun bakım sürecine aktif katılımına katkı sağladığı saptanmıştır. İncelenen çalışmalar, pediatri hemşirelerinin yaşa ve gelişim düzeyine uygun oyun etkinliklerini planlama, uygulama ve değerlendirme süreçlerinde temel sorumluluk üstlendiğini; aileyi sürece dahil ederek çocuk ve aile merkezli bakımın güçlendirilmesine katkı sağladığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak oyun, çocukların hastaneye yatış ve tedavi süreçlerinde karşılaştıkları olumsuz deneyimlerle baş etmelerini destekleyen önemli bir bakım bileşenidir. Terapötik oyunun pediatrik bakım uygulamalarına entegrasyonu, çocukların hastane deneyimlerini olumlu yönde etkileyerek bakım kalitesini artırmaktadır. Bu nedenle pediatri hemşirelerinin terapötik oyun konusundaki bilgi ve becerilerinin geliştirilmesi, oyun uygulamalarının klinik bakımın rutin bir parçası haline getirilmesi ve çocuk merkezli bakım anlayışının desteklenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hastanede oyun, terapötik oyun, pediatri hemşireliği, çocuk merkezli bakım, hemşirelik rolleri.

ABSTRACT

The purpose of this review is to examine the effects of play activities implemented in a hospital setting on children's physical, psychological, and social well-being in light of the current literature, and to evaluate the role of pediatric nurses in therapeutic play practices. It also aims to highlight the contributions of therapeutic play to children's hospital experiences and to clarify nurses' responsibilities within the scope of child- and family-centered care. This study is a review based on an examination of national and international literature regarding play and therapeutic play practices in hospitals.

Research articles, systematic reviews, meta-analyses, clinical practice guidelines, and professional publications related to the topic were evaluated. The data obtained were synthesized under the following headings: the role of play in child development, play practices in the hospital, the effects of therapeutic play, and the role of the pediatric nurse.
Findings in the literature indicate that play activities conducted in the hospital reduce children's levels of anxiety, fear, and stress; facilitate their adjustment to the hospital environment; and strengthen their communication with healthcare professionals. It has been determined that therapeutic play supports positive coping skills by reducing children's anxiety levels, particularly before invasive procedures and surgical interventions. Furthermore, it has been found that play-based interventions contribute to reducing pain perception, facilitating the expression of emotions, and promoting the child's active participation in the care process. The studies reviewed reveal that pediatric nurses assume primary responsibility for planning, implementing, and evaluating age- and developmentally appropriate play activities; by involving the family in the process, they contribute to strengthening child- and family-centered care.
In conclusion, play is an important component of care that helps children cope with the negative experiences they encounter during hospitalization and treatment. The integration of therapeutic play into pediatric care practices positively influences children's hospital experiences and enhances the quality of care. Therefore, it is recommended that pediatric nurses develop their knowledge and skills in therapeutic play, that play interventions be made a routine part of clinical care, and that a child-centered approach to care be supported.
Keywords: Play in the hospital, therapeutic play, pediatric nursing, child-centered care, nursing roles.

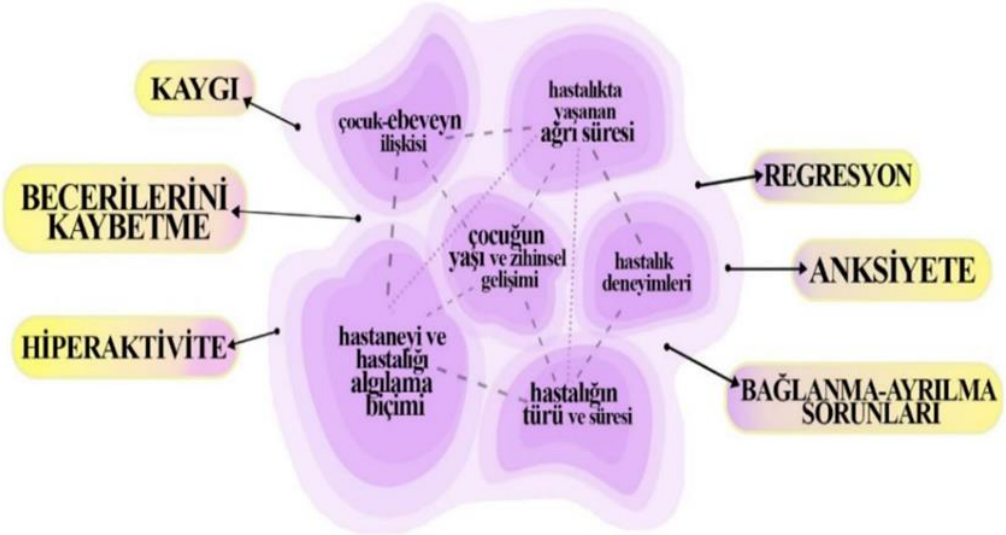
GİRİŞ

Oyun, çocukluk döneminin temel bir gereksinimi olup çocuğun dünyayı anlamlandırmasında, duygularını ifade etmesinde ve çevresiyle etkileşim kurmasında önemli bir role sahiptir. Çocuklar için oyun yalnızca eğlence amaçlı bir etkinlik değil; aynı zamanda öğrenme, keşfetme, uyum sağlama ve stresle baş etme sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır (Aytaş ve Uysal., 2017). Oyun aracılığıyla çocuklar deneyimlerini yapılandırmakta, çevrelerini tanımakta ve gelişimsel gereksinimlerini karşılamaktadır. Bu nedenle oyun, çocuk sağlığının desteklenmesinde ve gelişimsel gereksinimlerin karşılanmasında önemli bir araç olarak kabul edilmektedir.
Hastaneye yatış ve hastalık süreci, çocuklar için alışık olmadıkları bir çevreye uyum sağlamayı gerektiren, çeşitli fiziksel ve psikolojik stresörleri içeren bir deneyimdir. Hastane ortamı, ağrılı girişimler, günlük rutinlerin değişmesi, yabancı kişilerle karşılaşma ve aileden kısmi ayrılık gibi nedenlerle çocuklarda korku, kaygı ve stres gelişimine yol açabilmektedir (Atay, Eras ve Ertem., 2011). Bu durum çocuğun hastane deneyimini olumsuz etkileyerek tedaviye uyumunu ve bakım sürecine katılımını zorlaştırabilmektedir. Pediatri hemşireliğinde oyunun planlı ve amaçlı bir şekilde kullanılması, çocukların hastane ortamına uyumunu kolaylaştırmakta, duygusal gereksinimlerini karşılamakta ve bakım sürecine aktif katılımlarını desteklemektedir (Törüner ve Büyükgönenç., 2012).

OYUNUN ÇOCUK SAĞLIĞINA ETKİLERİ

Oyun, çocuğun fiziksel, bilişsel, duygusal ve sosyal gelişimini destekleyen çok boyutlu bir etkinliktir. Çocukların gelişimsel özelliklerine uygun olarak gerçekleştirilen oyunlar, sağlıklı büyüme ve gelişmenin desteklenmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Fiziksel gelişim açısından oyun; kas-iskelet sisteminin güçlenmesini, ince ve kaba motor becerilerin gelişmesini, denge ve koordinasyonun artmasını desteklemektedir (Çelik ve Şahin., 2013).
Bilişsel gelişim açısından oyun, çocukların çevrelerini keşfetmelerine, problem çözme becerilerini geliştirmelerine, neden-sonuç ilişkilerini anlamalarına ve yaratıcılıklarını ortaya koymalarına olanak sağlamaktadır. Ayrıca dikkat, hafıza ve karar verme gibi üst düzey bilişsel süreçlerin gelişimine katkıda bulunmaktadır (Usta, Çalışır ve Erdem., 2024).
Duygusal gelişim açısından oyun, çocukların korku, kaygı, öfke ve üzüntü gibi duygularını güvenli bir ortamda ifade etmelerine ve bu duygularla baş etmelerine yardımcı olmaktadır. Özellikle stresli yaşam olayları ve sağlık sorunları karşısında oyun, çocukların duygusal uyumunu destekleyen etkili bir baş etme mekanizması olarak değerlendirilmektedir.

Sosyal gelişim açısından ise oyun; iletişim, iş birliği, paylaşma, empati kurma ve sosyal kurallara uyum gibi becerilerin kazanılmasını destekleyerek çocuğun sosyal çevresiyle sağlıklı ilişkiler geliştirmesine katkı sağlamaktadır (Aytaş ve Uysal., 2017).
Bu yönleriyle oyun, yalnızca çocuğun boş zamanlarını değerlendirdiği bir etkinlik değil, aynı zamanda sağlıklı büyüme ve gelişmenin desteklenmesinde önemli işlevlere sahip terapötik ve gelişimsel bir araç olarak kabul edilmektedir. Özellikle sağlık bakım ortamlarında oyunun kullanımı, çocukların hastalık ve hastaneye yatış süreçlerine uyumlarını kolaylaştırarak bütüncül bakımın önemli bir bileşenini oluşturmaktadır.



Kaynak: (Yolcu vd., 2024)

Hastanede Oyun

Hastaneye yatış süreci, çocuklar için alışılmış yaşam düzeninden uzaklaşma, yabancı bir çevreye uyum sağlama ve çeşitli tanı ve tedavi girişimlerine maruz kalma gibi nedenlerle önemli bir stres kaynağıdır. Hastane ortamında yaşanan bu deneyimler; çocuklarda korku, kaygı, belirsizlik ve kontrol kaybı duygularına yol açabilmektedir. Bu nedenle çocukların hastane sürecine uyumlarını desteklemek amacıyla çeşitli oyun uygulamalarından yararlanılmaktadır (İnal ve Akgün., 2003).
Hastanede oyun, çocukların duygularını ifade etmelerine, yaşadıkları deneyimleri anlamlandırmalarına ve hastalık süreciyle baş etmelerine yardımcı olan önemli bir terapötik araçtır. Oyun aracılığıyla çocuklar, hastane ortamını daha tanıdık ve güvenli olarak algılayabilmekte, sağlık profesyonelleriyle daha kolay iletişim kurabilmekte ve bakım sürecine aktif katılım gösterebilmektedir. Ayrıca oyun, çocuğun kontrol duygusunu yeniden kazanmasına ve hastaneye ilişkin olumsuz algılarının azaltılmasına katkı sağlamaktadır (İnal ve Akgün., 2003).
Literatürde yer alan çalışmalar, hastanede uygulanan oyun temelli girişimlerin çocukların ağrı, korku ve anksiyete düzeylerini azalttığını; tedavi ve bakım uygulamalarına uyumu artırdığını göstermektedir (Yayan ve Zengin., 2018). Özellikle işlem öncesi hazırlık sürecinde kullanılan oyun uygulamalarının çocukların girişimlere yönelik kaygılarını azaltarak daha olumlu baş etme davranışları geliştirmelerine yardımcı olduğu bildirilmektedir. Bu yönüyle oyun, yalnızca eğlence amaçlı bir etkinlik değil, aynı zamanda çocukların fiziksel ve psikolojik iyilik hâllerini destekleyen terapötik bir bakım yaklaşımı olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde sağlık alanında oyun, çocuklarla etkili iletişim kurulmasını sağlayan ve bakımın kalitesini artıran önemli bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Yolcu vd., 2024).

HEMŞİRENİN OYUN AKTİVİTELERİNDEKİ ROLÜ

Pediatri hemşiresi, çocuğun gelişimsel özelliklerini dikkate alarak oyun aktivitelerini planlayan, uygulayan ve değerlendiren temel sağlık profesyonellerinden biridir.

Çocuk ve aile merkezli bakım anlayışı doğrultusunda hemşire, oyunu bakım sürecinin bir parçası olarak kullanarak çocuğun hastaneye uyumunu desteklemekte ve yaşadığı stresin azaltılmasına katkı sağlamaktadır (Törüner ve Büyükgönenç, 2012).
Hemşireler, çocuğun yaşına, gelişim düzeyine, bireysel gereksinimlerine ve sağlık durumuna uygun oyun materyallerini seçerek terapötik oyun uygulamalarını gerçekleştirmektedir. Özellikle invaziv girişimler, cerrahi işlemler veya uzun süreli tedavi süreçleri öncesinde kullanılan oyun etkinlikleri, çocuğun işlem hakkında bilgi edinmesine, korkularını ifade etmesine ve sürece hazırlanmasına yardımcı olmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde çocukların girişimlere yönelik kaygılarının azaldığı ve tedavi sürecine daha etkin katılım gösterdikleri bildirilmektedir (Şahin ve Başak, 2019).
Bunun yanı sıra hemşire, aileyi oyun sürecine dâhil ederek çocuk ve aile arasındaki etkileşimi güçlendirmekte, ebeveynlerin bakım sürecine katılımını desteklemekte ve bütüncül bakımın sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca oyun uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek, uygun oyun ortamlarını oluşturmak ve çocuk hakları doğrultusunda oyun hakkının korunmasını sağlamak da hemşirenin önemli sorumlulukları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda oyun, pediatri hemşirelerinin bakım uygulamalarında kullandıkları etkili, güvenli ve çocuk merkezli bir girişim olarak öne çıkmaktadır.

Teröpatik Oyun

Teröpatik oyun, hastaneye gelen çocuğun korkusunu ve anksiyetesini rahatlatıp, tedaviye uyum sağlamasına yarayan daha çok hemşirelerin uyguladığı bir terapi yöntemidir. Uluslararası Hemşirelik Girişimleri Sınıflamasına göre terapötik oyun bir hemşirelik girişimidir (Aytaş ve Uysal., 2017).
Teröpatik oyunu üç başlıkla tanımlayabiliriz, çocuğun enerji harcamasını sağlayan oyun, dramatik oyun, yaratıcı oyun olarak (Yayan ve Zengin., 2018). Terapötik oyun, pediatri kliniklerinde hemşirelik bakımının çok önemli bir yönünü oluşturur (Kahraman vd, 2020)
Çocukla oynanan oyunun "terapötik oyun" olarak tanımlanabilmesi için; hissettiklerini ifade etmesi için cesaretlendirmeli, hastane bilinmezliği ile ilgili eğitim sağlaması, tedaviye fayda sağlayan oyun olması (akciğer kapasitesini arttırmak için balon şişirmesi gibi) durumlarından biri geçerli olmalıdır (Atay, Eras ve Ertem., 2011).

1.1.Hemşirenin Sorumlulukları

Oyun ortamını hazırlamalı, terapötik oyun uygulamalarını kullanabilmeli ve tedaviye entegre edebilmeli, aile ve ekip ile iş birliği içinde çocuklara oyun aktivitelerini sunabilmeli ve oynanan oyunlar esnasında değerlendirme ve kayıt tutmalıdır.

1.2. Hemşirenin Hasta Çocuklara Karşı Sorumlulukları

Pediatri hemşireliği, çocuğun yalnızca fiziksel gereksinimlerinin karşılanmasını değil, aynı zamanda duygusal, sosyal ve gelişimsel gereksinimlerinin de desteklenmesini kapsayan bütüncül bir bakım yaklaşımını gerektirir. Bu doğrultuda hemşire, hasta çocuğun bakımında terapötik oyunu etkili bir araç olarak kullanarak çocuğun hastalık ve hastaneye yatış sürecine uyumunu desteklemekte önemli bir role sahiptir. Terapötik oyunun bakım sürecine entegre edilmesi, çocuğun duygusal güvenliğinin sağlanmasına, korku ve kaygılarının azaltılmasına ve bakım sürecine aktif katılımının artırılmasına katkı sağlamaktadır (Yayan ve Zengin., 2018). Ayrıca hemşire, çocuğun haklarını gözetmeli, karar verme süreçlerine yaş ve gelişim düzeyine uygun şekilde katılımını teşvik etmeli ve çocuk merkezli bakım anlayışını sürdürmelidir (Törüner ve Büyükgönenç., 2012).
Çocuk hastanede olsa dahi oyun gereksinimi devam etmektedir. Bu nedenle hemşirenin oyunun çocuk gelişimi ve iyilik hali üzerindeki etkilerini bilmesi, oyunu bakımın ayrılmaz bir parçası olarak kabul etmesi ve uygun durumlarda tedavi sürecine entegre etmesi önemlidir. Oyunu etkili biçimde kullanabilen hemşireler, çocuk ve aile ile daha güçlü bir iletişim kurabilmekte, güven ilişkisini geliştirebilmekte ve bakımın etkinliğini artırabilmektedir. Hemşirenin oyunun önemini kavraması, oyun sırasında çocuğu gözlemleyerek ilgi alanlarını ve gereksinimlerini belirleyebilmesi, çocuğu oyuna aktif olarak katabilmesi ve gerektiğinde oyun etkinliklerini değiştirebilmesi terapötik oyunun başarısında belirleyici unsurlardır (Kuğuoğlu vd., 2006). Pediatri hemşireliğinde temel amaç, çocuğun sağlık ve refahını korumak, geliştirmek ve hastalık sürecine uyumunu desteklemektir.

Bunun yanında hemşire, ailelerin yaşadığı kaygıları azaltmak ve yeni gelişen durumlara uyum sağlamalarına yardımcı olmak amacıyla aileyi bakım sürecine aktif olarak dahil etmelidir (İnal ve Akgün., 2003). Bu kapsamda terapötik oyun; rutin bakım uygulamalarında, invaziv girişimler öncesinde, cerrahi hazırlık süreçlerinde ve ağrı ya da stres oluşturan işlemler sırasında kullanılabilmektedir. Oyun aracılığıyla hemşire, çocukla empatik bir ilişki kurmakta, çocuğun duygu ve düşüncelerini daha iyi anlamakta ve elde ettiği bilgiler doğrultusunda bakım planını şekillendirebilmektedir (Kıran vd., 2013).

Hemşirenin önemli sorumluluklarından biri de oyun için uygun fiziksel ve psikososyal ortamı oluşturmaktır. Bu doğrultuda oyun için uygun zaman planlanmalı, yaş ve gelişim düzeyine uygun materyaller sağlanmalı, çocuk ve aile oyun etkinliklerinin amacı konusunda bilgilendirilmelidir. Ayrıca hemşire, çocuğun oyun sırasında duygularını ifade etmesi için destekleyici bir ortam oluşturmalı, güven ilişkisini güçlendirmeli ve gözlemlediği davranışları bakım sürecinde kullanmak üzere kayıt altına almalıdır (Demiralay ve Keser., 2023).

Oyun, aynı zamanda çocuğun gelişimsel değerlendirilmesinde önemli bir araçtır. Sağlıklı çocuklarda ince ve kaba motor beceriler, bilişsel gelişim, duyusal işlevler ve sosyal etkileşimler oyun aracılığıyla değerlendirilebilirken; özel gereksinimi veya sağlık sorunu olan çocuklarda oyundan yararlanılarak sorun alanları daha ayrıntılı biçimde incelenebilmektedir. Bu nedenle hemşire, oyun sırasında çocuğun davranışlarını sistematik olarak gözlemlemeli ve elde ettiği verileri bakım planına yansıtmalıdır.

Hemşire, çocukların akranlarıyla etkileşim kurmalarını desteklemeli, oyun seçiminde çocukların tercihlerini dikkate almalı ve oyun süresini çocuğun gereksinimlerine göre düzenlemelidir. Oyun sırasında çocuğun katılım isteği, iletişim biçimi, kazanma ve kaybetmeye verdiği tepkiler ile sosyal uyumu değerlendirilerek uygun aktiviteler planlanmalıdır. Ayrıca yaratıcılığı ve bilişsel gelişimi destekleyen oyuncakların kullanılması, yaşa uygun kitap, hikâye ve eğitim materyallerinin sağlanması, araştırma ve problem çözme becerilerini geliştiren etkinliklerin planlanması önerilmektedir. Hastane oyun odaları ve hastane okulları gibi destekleyici ortamların oluşturulması da çocukların gelişimsel gereksinimlerinin karşılanmasına katkı sağlamaktadır (Usta, Çalışır ve Erdem., 2024).

Bununla birlikte hemşire, çocukların fiziksel ve psikolojik gereksinimlerini düzenli olarak değerlendirmeli ve oyun etkinliklerini bu gereksinimlere uygun şekilde düzenlemelidir. Oyun sürecinin çocuk üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu durumlarda daha sakin ve destekleyici aktivitelere yönlendirme yapılmalı; tüm çocukların oyun etkinliklerine katılımı teşvik edilerek gerekli destek sağlanmalıdır (Kıran, Çalık ve Esenay., 2013). Ayrıca çocukların soru sormaları desteklenmeli, duygu ve düşüncelerini ifade etmelerine fırsat tanınmalı ve hemşire tarafından verilen yanıtlar açık, dürüst ve gelişim düzeyine uygun olmalıdır (Törüner ve Büyükgönenç., 2012).

Sonuç olarak pediatri hemşiresi, terapötik oyunu bakım sürecine entegre ederek çocuğun gelişimsel gereksinimlerinin karşılanmasına, hastaneye uyumunun artırılmasına ve bakım kalitesinin yükseltilmesine katkı sağlayan kilit sağlık profesyonelidir. Oyun temelli bakım uygulamaları, çocuk merkezli bakım anlayışının güçlendirilmesinde ve çocukların hastane deneyimlerinin iyileştirilmesinde önemli bir yere sahiptir.

1.3.Hemşirenin Aileye Karşı Sorumlulukları

Aile, çocuğun bakım sürecinin ayrılmaz bir parçasıdır. Hemşire, aileyi oyunun önemi konusunda bilgilendirerek evde bakım sürecinin devamlılığını sağlamalıdır (Kuğuoğlu vd., 2006). Ailenin bakım sürecine katılımı, çocuğun hastaneye uyumunu olumlu yönde etkilemektedir (Atay vd., 2011).

Oyunun çocuk için önemi, olaylara karşı baş etme mekanizmalarının bu şekilde geliştiği bilgisi verilip, oyun esnasında nasıl gözlem ve değerlendirme yapmaları gerektiği anlatılmalıdır.

Ne tarz oyunlara yönelmeleri gerektiği öğretilmeli, oyun ve oyuncaklara yönelik kazaların oluşmaması için önlem almaları gerektiği anlatılmalı, oyun ve oyuncakların kullanımı ve sorumlulukları ile ilgili aileye danışmanlık verilmelidir.

Ebeveynlere yaratıcılıkları geliştirmek adına uygun malzemeler temin etmeleri konusunda bilgi verilmelidir (oyun hamuru, boya kalemi gibi). Gelişimine uygun oyunlar konusunda sosyal ve duyusal ilerlemeyi desteklemek adına aileye danışmanlık yapmalıdır (Çelik ve Şahin., 2013).

1.4.Hemşirenin Kuruma Karşı Sorumlulukları

Hemşire, kurum politikaları doğrultusunda çocuk merkezli bakım anlayışını desteklemeli ve oyun temelli uygulamaların yaygınlaştırılmasına katkı sağlamalıdır (Şahin ve Başak., 2019). Kurum içi eğitimlere katılarak mesleki gelişimini sürdürmesi de hemşirenin sorumlulukları arasındadır.

Çocukların bulunduğu tüm kurumlarda onlara oyun oynama imkanının sağlanması için gerekli fizik şartların belirlenmesi ve sağlanması için çalışmalıdır. Oyun alanlarının organizasyonunu yapmalıdır. Tüm çocuk servislerine oyuna dair alanları oluşturmak için çalışmalar yapmalıdır.

Oyun zamanı sınırlandırılmamalı, her an oyun saati olabilmeli, ekip üyeleri ve ebeveyn mutlaka oyuna katılmalı, bu konuda eğitilmeli evde de bu sürecin devamının önemi bildirilmelidir (Kıran vd., 2013).

Kuruma oyun alanları ile ilgili bilgi ve destek vermek, ekip üyelerinin oyunun önemini anlamak ve becerilerini geliştirmek adına hizmet içi eğitimler planlamak ve uygulamalı herkesin katılımını sağlamak sorumlulukları arasındadır.

Oyun alanlarının belli zamanlarda düzeni, denetimi ve değerlendirmesinin yapılması, oyun alanlarındaki malzemelerin kırık, bozuk kusurlu olanlarının belirlenip, eksiklerin giderilmesi için kuruma bilgi vermelidir.

Bireysel gelişim ve kuruma faydalı olmak amacı için oyunlar ve yaratıcılığı geliştirici aktiviteler ile ilgili eğitimlere katılmalıdır.

Hastanenin girişi, bekleme salonları renklendirilmeli çocukların dikkatini çekecek oyun alanları oluşturulmalıdır (Örn, kaydırak gibi, mini oyun parkı gibi). Böylelikle hastaneye gelen çocuklar için ilk izlenimde rahatlatma sağlanmış olur (Kuğuoğlu vd., 2006).

Hasta odaları çocukların zamanının çoğunu geçirdiği yerdir bu sebeple çocuğun kendini evinde hissettirecek gibi değişimler yapılması daha stressiz ve daha güvenli ortam oluşturulması için kurumu bilgilendirip, bu konuda destek sağlanmalıdır. Çocukların tedavi için gitmesi gereken bölümlerde de örneğin MR-BT gibi cihazların renklendirilerek çocukların ortamda daha rahat hissetmeli sağlanabilir, bu konuda da kurum bilgilendirilmelidir.

Oyunun tedaviye entegre edilmesi ile IV uygulamalar, vital ölçümler bile eğlenceli hallere getirilebilir ve çocuklara hastane sevdirilebilir (Kuğuoğlu vd., 2006).

1.5.Kurumun Hemşireye Karşı Sorumlulukları

Sağlık kurumları, hemşirelerin terapötik oyun uygulamalarını sürdürebilmeleri için uygun fiziksel ortam, oyuncak materyalleri ve eğitim olanakları sunmalıdır (Yolcu vd., 2024). Kurumsal destek, terapötik oyunun sürdürülebilirliğini artırmaktadır.

Hemşirelerden hastalar tarafından pek çok özellik beklenebilir, en çok beklenen duygu sevgidir. Hastanede çocuklar için bu ihtiyacın karşılayıcısı sağlık profesyonelleri özellikle de çocuk hemşireleridir. Çocuk hasta sevmeyen ya da bu yönde yeterli becerisi olmayan hemşirelerde maalesef bu servislerde çalıştırılabiliyor. Bu gibi durumlar çocukla iletişimi, bakımın kalitesini ve terapötik oyunun kullanımını etkiliyor. Kurumun bu konuda daha duyarlı olması ve hemşirelerin çalışma alanlarının daha iyi planlanması gerekir (Kahraman, Kırkan vd., 2020)

Kurumdaki hemşire sayısı ve hasta sayısına bağlı olarak iş yükünün çokluğu da bakımın kalitesini düşürür ve terapötik oyunun kullanımını olumsuz etkiler. Terapötik oyunun uygulanabilirliğini artırmak için birçok model ve şablonlar geliştirilmiştir. Sağlık bakım hizmetlerinde kaliteyi arttırmak için Planla-Uygula-Kontrol Et- Harekete Geçir (PDCA) modeli örnektir.

Terapötik oyunun uygulamada istenilen seviyelere gelmesi için çocuk hemşirelerinin eğitimlere yönlendirilmesi, oyunla ilgili etkinliklere katılımının sağlaması konusunda kurum tarafından desteklenmelidir (Yolcu vd., 2024)

Amerika Birleşik Devletleri'nde Çocuk Hayat Uzmanı (ÇHU) adı altında hastanelerde çalışan kişiler bulunmaktadır. Çocukları tedaviye, ameliyata, acı veren işlemlere önceden hazırlayan, işlemler esnasında çocukların yanında bulunup destek olan, terapötik oyun oynayan, büyüme gelişmeye yardımcı olan aktiviteler uygulayan, hastanenin tanıtımını yapan kişilere ÇHU denir. Eğer kurumda ÇHU yoksa bu görevi hemşireler üstenmektedir.

Kurumlar bu şekilde hemşirelerin hasta çocuklar için daha rahatlatıcı ve güven verici alanlar oluşturup çalışmalarını desteklemelidir (Kıran vd., 2013).

Kaynakça

Atay, G., Eras, Z., & Ertem, İ. (2011). Çocuk hastaların hastane yatışları sırasında gelişimlerinin desteklenmesi. *Çocuk Dergisi*, *11*(1), 1-4.

Aytaş, G., & Uysal, B. (2017). Oyun kavrami ve siniflandirilmasina yönelik bir değerlendirme. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *15*(1), 675-690.

ESENAY, F. (2013). TERAPOTİK OYUN HASTA ÇOCUK İLE İLETİŞİMİNANAHTARI. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi*, *1*(1-2-3).

Çelik, A., & Şahin, M. (2013). Spor ve çocuk gelişimi. *International Journal of Social Science*, *6*(1), 467-478.

Demiralay, Ş., & Keser, İ. (2023). Hemşirelik Bakim sürecinde terapötik Bir müdahale; Oyun Terapisi. *YOBÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, *4*(3), 344-358.

İnal, S., & Akgün, M. (2003). Hastanede yatan çocukta terapötik iletişim. *Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences*, *6*(2).

Kahraman, A., Kırkan, Ç., Aslan, A., Huyelmas, H., & Yılmaz, H. B. (2020). Çocuk hemşirelerinin terapötik oyunu kullanmaları ile çocuk sevme durumları arasındaki ilişkinin ve etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Sakarya Tıp Dergisi*, *10*(3), 365-372.

Kıran, B., Çalık, C., & Esenay, F. İ. (2013). Terapotik oyun: hasta çocuk ile iletişimin anahtarı. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi*, *2*(1), 1-10.

Kuğuoğlu, S., & Tanır, M. K. (2006). GELİŞİM DÖNEMLERİNE GÖRE OYUNUN TERAPÖTİK KULLANIMI. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, *22*(1), 293-304.

Şahin, G., & Başak, T. (2019). Hemşirelik eğitiminde oyun temelli öğrenme. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *8*(3), 308-314.

Törüner, E. K., & Büyükgönenç, L. (2012). *Çocuk sağlığı: temel hemşirelik yaklaşımları*. Göktuğ Yayıncılık.

Usta, E., Çalışır, Ö., & Erdem, E. (2024). Çocuklarda Yaratıcılık ve Pediatri Hemşireliği. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *8*(1), 116-129.

Yayan, E. H., & Zengin, M. (2018). Çocuk kliniklerinde terapötik oyun. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *7*(1), 226-233.

Yolcu, F. Z., Zengin, G., Güçlü, H. K., & Yalçınkaya, Ş. (2024). TERAPÖTİK OYUN İLE HASTANE İÇ MEKAN TASARIMI ARASINDAKİ İLİŞKİ. *Nişantaşı Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *12*(1), 257-275.

PREMATÜRE BEBEKLERDE BESLENME YÖNETİMİ VE ANNE SÜTÜ BANKACILIĞININ ÖNEMİ

NUTRITIONAL MANAGEMENT IN PREMATURE INFANTS AND THE IMPORTANCE OF BREAST MILK BANKING

Ümmügülsüm KILIÇ[1]
[1]Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Hemşireliği Anabilim dalı, Mersin, Türkiye.
[1]ORCID ID: 0009-0003-0281-2854

Prof. Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA[2]
[2]Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Mersin, Türkiye.
[2]ORCID ID: 0000-0002-1815-8821

Doç. Dr. Atiye KARAKUL[3]
[3]Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Mersin, Türkiye.
[3]ORCID ID: 0000-0001-6580-9976

ÖZET

Prematüre bebekler, organ sistemlerinin tam olgunlaşmadan doğmaları nedeniyle yüksek beslenme gereksinimlerine sahip olup, yaşamın ilk günlerinden itibaren uygulanan uygun beslenme stratejileri büyüme, nörogelişimsel sonuçlar ve morbidite oranları üzerinde belirleyici rol oynamaktadır. Bu derleme, prematüre bebeklerde beslenme yönetiminin temel ilkelerini, güncel yaklaşımları ve anne sütü bankacılığının prematüre bakımındaki önemini değerlendirmek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada prematüre bebek beslenmesi, anne sütü, anne sütü güçlendirilmesi ve anne sütü bankacılığı konularına ilişkin güncel ulusal ve uluslararası literatür incelenmiştir. Literatür bulguları, prematüre bebeklerde beslenmenin temel amacının intrauterin büyüme hızına yakın bir büyüme ve gelişmenin sağlanması olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, "Altın Saat" uygulamaları kapsamında erken enteral ve parenteral beslenme desteği prematüre bakımının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Anne sütü; nekrotizan enterokolit, bronkopulmoner displazi, prematüre retinopatisi ve enfeksiyon riskini azaltması nedeniyle prematüre bebekler için en uygun besin kaynağı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, prematüre bebeklerin artmış enerji, protein, kalsiyum ve fosfor gereksinimlerinin karşılanabilmesi için anne sütünün güçlendirilmesi gerekmektedir. Erken minimal enteral beslenme uygulamalarının bağırsak maturasyonunu desteklediği, bireyselleştirilmiş ve gereksinime dayalı beslenme yaklaşımlarının ise klinik sonuçları iyileştirdiği bildirilmektedir. Annenin kendi sütünü sağlayamadığı durumlarda bağışlanmış anne sütü önemli bir alternatif oluşturmakta; anne sütü bankalarının prematüre ve düşük doğum ağırlıklı bebeklerde mortalite ve morbiditenin azaltılmasına katkı sağladığı belirtilmektedir. Buna karşın Türkiye'de anne sütü bankacılığına yönelik çeşitli girişimler bulunmasına rağmen sürdürülebilir ve aktif bir sistem henüz oluşturulamamıştır. Sonuç olarak, prematüre bebeklerde optimal büyüme ve gelişmenin desteklenmesinde anne sütü temelli beslenme uygulamaları, anne sütü güçlendirilmesi ve bireyselleştirilmiş beslenme stratejileri temel yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca anne sütü bankacılığına yönelik farkındalığın artırılması ve sağlık profesyonellerinin bu süreçte etkin rol üstlenmesi, prematüre bakım sonuçlarının iyileştirilmesine önemli katkılar sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Prematüre bebek, anne sütü, anne sütü güçlendirilmesi, anne sütü bankacılığı, enteral beslenme, yenidoğan hemşireliği.

ABSTRACT

Premature infants have high nutritional needs because they are born before their organ systems are fully mature; appropriate feeding strategies implemented from the very first days of life play a decisive role in growth, neurodevelopmental outcomes, and morbidity rates. This review was prepared to evaluate the fundamental principles of nutritional management in preterm infants, current approaches, and the importance of breast milk banking in preterm care. The study examined the current national and international literature on preterm infant nutrition, breast milk, breast milk fortification, and breast milk banking.

Literature findings indicate that the primary goal of feeding in preterm infants is to ensure growth and development close to the intrauterine growth rate. Accordingly, early enteral and parenteral feeding support, provided as part of "Golden Hour" protocols, are among the key components of preterm care. Breast milk is considered the most suitable source of nutrition for preterm infants because it reduces the risk of necrotizing enterocolitis, bronchopulmonary dysplasia, retinopathy of prematurity, and infection. However, breast milk must be fortified to meet the increased energy, protein, calcium, and phosphorus requirements of preterm infants. It has been reported that early initiation of minimal enteral feeding supports intestinal maturation, while individualized and needs-based feeding approaches improve clinical outcomes. In cases where the mother is unable to provide her own breast milk, donated breast milk serves as an important alternative; it is noted that breast milk banks contribute to reducing mortality and morbidity in preterm and low-birth-weight infants. However, despite various initiatives aimed at establishing breast milk banking in Turkey, a sustainable and active system has not yet been established. In conclusion, breast milk-based feeding practices, breast milk fortification, and individualized feeding strategies emerge as key approaches in supporting optimal growth and development in preterm infants. Furthermore, raising awareness about breast milk banking and ensuring that healthcare professionals play an active role in this process can make significant contributions to improving preterm care outcomes.
Keywords: Preterm infant, breast milk, breast milk fortification, breast milk banking, enteral feeding, neonatal nursing.

GİRİŞ

Prematüre bebeklerde yaşamın ilk saatleri, kısa ve uzun dönem sağlık sonuçlarını belirleyen kritik bir dönemdir. Özellikle çok düşük doğum ağırlıklı ve ileri derecede prematüre bebeklerde doğum sonrası ilk 60 dakikalık süreç, mortalite ve morbiditeyi azaltmaya yönelik bakım uygulamalarının yoğun olarak gerçekleştirildiği bir zaman dilimi olarak kabul edilmektedir. İlk olarak travma bakımında kullanılan ve daha sonra yenidoğan yoğun bakım uygulamalarına uyarlanan "Altın Saat" kavramı, prematüre bebeklerin yaşamlarının ilk saatinde sunulan kanıta dayalı bakım girişimlerini ifade etmektedir (Doyle ve Bradshaw, 2012).

Yenidoğan Canlandırma Programı'nın güncel sürümlerinde prematüre bebeklere yönelik öneriler yer almakla birlikte, bu bebeklerin fizyolojik kırılganlıkları nedeniyle standart canlandırma uygulamalarına ek bakım yaklaşımlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Reynolds ve ark., 2009). Altın Saat uygulamaları; ekip temelli ve yapılandırılmış bakım protokolleri çerçevesinde resüsitasyonun etkin şekilde gerçekleştirilmesi, termoregülasyonun sağlanması, hipogliseminin önlenmesi ve yönetimi, şüpheli sepsis durumlarında erken antibiyotik tedavisinin başlanması, erken intravenöz parenteral ve enteral beslenme desteğinin sağlanması ve yenidoğanın yoğun bakım ünitesine güvenli şekilde kabul edilmesi gibi temel girişimleri kapsamaktadır.

Prematüre bir bebek için yaşamın ilk 60 dakikası yalnızca akut klinik stabilizasyon açısından değil, aynı zamanda nörogelişimsel sonuçlar, büyüme ve yaşam kalitesi üzerinde de belirleyici etkiye sahiptir. Bu nedenle Altın Saat uygulamalarının standartlaştırılması ve etkin bir şekilde yürütülmesi, prematüre bakımının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Doyle ve Bradshaw, 2012).

PREMATÜRE BEBEK BESLENMESİ

Prematüre bebekler, fetal gelişimin önemli bir bölümünü rahim dışında tamamlamak zorunda kaldıkları için beyin, akciğer, gastrointestinal sistem ve diğer organ sistemleri açısından yapısal ve fonksiyonel immatürite göstermektedir. Özellikle gebeliğin son trimesterinde gerçekleşen hızlı büyüme, yağ depolanması ve organ maturasyonu süreçlerinin erken doğum nedeniyle kesintiye uğraması, bu bebeklerde beslenmeyi bakımın en kritik bileşenlerinden biri hâline getirmektedir. Bu nedenle prematüre bebeklerde beslenmenin amacı yalnızca yeterli kilo alımını sağlamak değil, aynı zamanda organ gelişimini destekleyerek optimal büyüme ve nörogelişimsel sonuçları elde etmektir (Kültürsay ve ark, 2018).

Fetal büyüme süreci doğuma kadar yüksek enerji ve besin öğesi gereksinimi içeren dinamik bir dönemdir.

İntrauterin ortamda aminoasitler, yağ asitleri, karbonhidratlar ile kalsiyum, fosfor, magnezyum ve demir gibi mineraller plasenta aracılığıyla kontrollü ve sürekli bir şekilde fetüse aktarılmaktadır. Bu süreç, hormonal mekanizmalar tarafından düzenlenerek dengeli büyüme ve organ gelişiminin sürdürülmesini sağlamaktadır (Kültürsay ve ark, 2018).
Prematüre doğumla birlikte bu fizyolojik destek mekanizması aniden sonlanmakta ve bebeğin artmış enerji ve besin gereksinimlerinin ekstrauterin ortamda karşılanması gerekmektedir. Ancak intrauterin büyüme hızının doğum sonrasında sürdürülebilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle prematüre bebeklerde enteral ve gerektiğinde parenteral beslenme yöntemleri kullanılarak yeterli enerji, protein ve mikro besin öğesi desteği sağlanmalıdır. Günümüzde beslenme yönetiminin temel amacı, intrauterin büyüme hızına mümkün olduğunca yakın bir büyümenin sürdürülmesini sağlamak, aynı zamanda yetersiz büyüme ile aşırı ve kontrolsüz büyümenin olumsuz etkilerinden kaçınmaktır (Kültürsay ve ark, 2018).

PREMATÜRE BEBEK BESLENMESİNİN TARİHÇESİ VE GELİŞİMİ

1851-1920: Zayıf emme ve yutma sorunlarını gidermek için; sonda ile beslenme, ilaç damlalıkları, pipetler, hava girişli biberonlar ve burundan besleme için gagalı kaşıklar gibi çeşitli cihazlar geliştirilmiştir (Obladen, 2015).
1950'ler: Beslenmenin bir hafta kadar ertelendiği uygulamalar (güvenlik endişesiyle) nörolojik engellerle ilişkilendirilmiştir.
1951: Kalıcı nazogastrik tüpler kullanıma girmiştir.
Prematüre bebeklerin artan enerji, protein ve mineral ihtiyacı 1919'dan beri bilinmektedir, ancak beslenme uygulamaları teorik bilginin gerisinde kalmaya devam etmiştir (Obladen, 2015).
1940'lar: Konsantre mamalar geliştirilmiştir.
1960'lar: Parenteral takviyeler (damar yoluyla beslenme) kullanıma girmiştir.
1970'ler: Anne sütü güçlendiricileri geliştirilmiştir.
1990'lar: Mama ile beslenen bebeklerde nekrotizan enterokolit (NEK) riskinin anne sütü ile beslenenlere göre daha sık olduğu tespit edilmiştir.
Son Zamanlar: Probiyotiklerin NEK riskini azalttığı gösterilmiştir (Obladen, 2015).

PREMATÜRE BEBEK BESLENMESİ

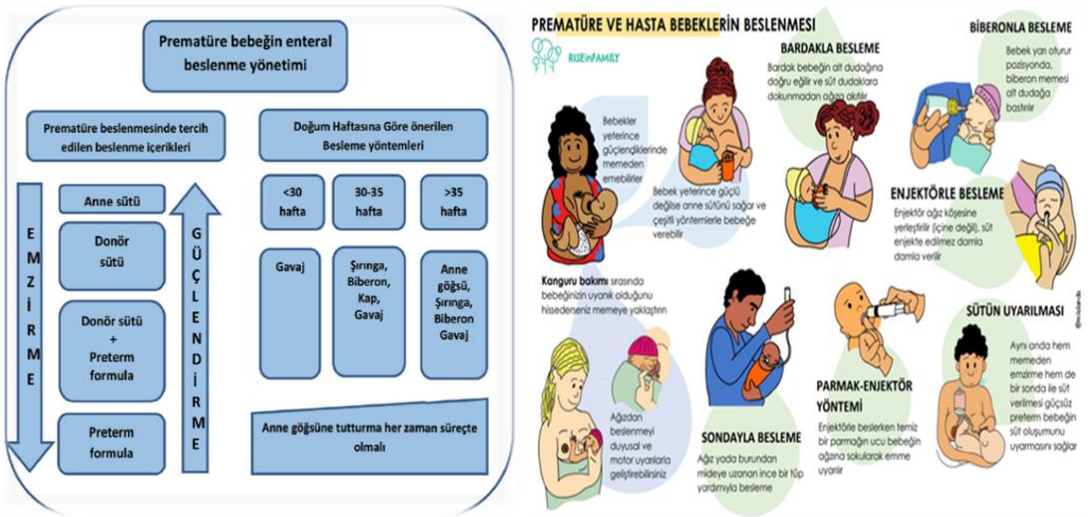
Prematüre bebeklerde beslenme, yalnızca büyümenin sağlanması açısından değil, aynı zamanda nörogelişimsel sonuçların iyileştirilmesi ve prematüreliğe bağlı morbiditelerin azaltılması açısından da kritik öneme sahiptir. Uygun beslenme uygulamaları; prematüre metabolik kemik hastalığı, bronkopulmoner displazi, nekrotizan enterokolit ve prematüre retinopatisi gibi önemli komplikasyonların önlenmesinde ve yönetiminde etkili rol oynamaktadır (Kültürsay ve ark, 2018; Yurttutan ve Öncel, 2023).
Prematüre metabolik kemik hastalığı, prematüre iskelet sisteminde yetersiz kalsiyum ve fosfor birikimine bağlı olarak gelişen kemik mineralizasyon bozukluğudur. Özellikle çok düşük doğum ağırlıklı bebeklerde yetersiz mineral alımı ve uzun süreli parenteral beslenme bu riski artırmaktadır. Bronkopulmoner displazi ise prematüre bebeklerde mekanik ventilasyon, oksijen tedavisi ve akciğer immatüritesi sonucu gelişen kronik akciğer hastalığıdır. Yeterli enerji ve protein desteği, akciğer büyümesi ve onarım süreçlerinin desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır (Kültürsay ve ark, 2018; Yurttutan ve Öncel, 2023).
Nekrotizan enterokolit (NEK), prematüre bebeklerde görülen en ciddi gastrointestinal hastalıklardan biri olup bağırsak duvarında inflamasyon, nekroz ve perforasyon ile karakterizedir. Anne sütü ile beslenmenin ve erken minimal enteral beslenme uygulamalarının NEK riskini azalttığı gösterilmiştir. Ayrıca uygun beslenme stratejileri, prematüre retinopatisi gelişim riskinin azaltılmasına ve nörogelişimsel sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır (Kültürsay ve ark, 2018; Yurttutan ve Öncel, 2023).
Prematüre bebeklerde emme-yutma-solunum koordinasyonu genellikle gebeliğin 32–34. haftalarında gelişmeye başladığından, birçok bebek doğum sonrası dönemde oral beslenmeyi bağımsız olarak sürdüremez. Bu nedenle enteral beslenme çoğunlukla nazogastrik veya orogastrik sonda aracılığıyla uygulanmaktadır.

Oral beslenmeye geçiş sürecinde besleyici olmayan emme, emzik kullanımı, anne parmağı ile emme uygulamaları, boşaltılmış memede emzirme, kaşık, kap veya enjektör ile besleme gibi yöntemler kullanılabilmektedir. Bu uygulamalar emme becerilerinin gelişimini destekleyerek tam oral beslenmeye geçişi kolaylaştırmaktadır (Yurttutan ve Öncel, 2023; Kültürsay ve ark, 2018).

Beslenme sıklığı konusunda yapılan çalışmalar, iki saatlik ve üç-dört saatlik beslenme aralıkları arasında klinik sonuçlar açısından belirgin bir farklılık olmadığını göstermektedir. Bununla birlikte birçok yenidoğan yoğun bakım ünitesinde, özellikle klinik stabilizasyon sağlandıktan sonra bebekler yaklaşık 1500–2000 gram ağırlığa ulaşıncaya kadar daha sık aralıklarla beslenmektedir. Bu yaklaşımın hipogliseminin önlenmesine ve gastrointestinal toleransın desteklenmesine katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (Yurttutan ve Öncel, 2023; Kültürsay ve ark, 2018).

Prematüre bebeklerin beslenmesinde ilk tercih her zaman anne sütü olmalıdır. Anne sütü; enfeksiyonlar, nekrotizan enterokolit, bronkopulmoner displazi ve prematüre retinopatisi gibi komplikasyonlara karşı koruyucu özellik göstermekte, aynı zamanda nörogelişimsel sonuçları olumlu yönde etkilemektedir. Anne sütü ile beslenen prematüre bebeklerde büyüme hızı zaman zaman daha yavaş olsa da metabolik ve nörogelişimsel avantajlar belirgin şekilde daha fazladır. Bu nedenle doğumun ilk günlerinden itibaren anne, aile ve sağlık ekibinin anne sütü sağımı ve emzirme konusunda desteklenmesi büyük önem taşımaktadır (Kültürsay ve ark., 2018; Yurttutan ve Öncel, 2023).

Prematüre bebeklerde erken minimal enteral beslenme uygulamalarının mümkün olan en kısa sürede başlatılması önerilmektedir. Özellikle immünolojik açıdan zengin içeriğe sahip kolostrumun ilk günlerden itibaren bebeğe ulaştırılması bağırsak maturasyonunu desteklemekte, enfeksiyon riskini azaltmakta ve enteral beslenme toleransını artırmaktadır. Bu nedenle anneler süt sağımı konusunda teşvik edilmeli, elde edilen çok az miktardaki kolostrumun dahi bebeğe verilmesi sağlanmalıdır (Kültürsay ve ark., 2018; Yurttutan ve Öncel,2023).



Kaynak: (Yurttutan ve Öncel., 2023).

Tablo 1. Prematürenin ortalama substrat ve enerji gereksinimleri

Besin öğeleri	Önerilen miktarlar
Enerji (Kcal/kg/gün)	120-140
Yağ (g/100 Kcal)	4,4-6
Karbonhidrat (g/100 Kcal)	10,5-12
Protein (g/kg/gün)	<1200 g: 3,5-4,5 >1200 g: 3,0-4,0
Protein/enerji (g/100 Kcal)	<1200 g: 3,0-4,0 >1200 g: 2,5-3,6
Türk Neonatoloji Derneği Beslenme Rehberi'nden alınmıştır.[1]	

ANNE SÜTÜ GÜÇLENDİRME (HUMAN MİLK FORTİFİCATİON)

Anne sütü (AS), prematüre bebekler için de 'altın standart' beslenme kaynağıdır. Ancak, hızla büyüyen prematüre bebeklerin yüksek ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla anne sütünün içeriğinin güçlendirilmesi (fortifikasyonu) gerekmektedir (Yurttutan ve Öncel, 2023).

Prematüre annelerin ilk sütleri term annelerin sütlerine göre daha zengin olsa da bu avantaj yaklaşık dört hafta sonra kaybolur ve matür süt içeriğine benzer hale gelir. Prematüre bebeğin hızlı büyüme taleplerini karşılamakta yetersiz kalabilir, bu sebeple Protein, Kalsiyum ve Fosfor, glikoz polimerleri, Mg, Na, K ve A, C, E, K vitaminleri ile güçlendirilir (Yurttutan ve Öncel., 2023).

Dünya üzerinde inek sütü ile donör insan sütü bazlı sıvı ya da toz şeklinde güçlendiriciler vardır. Ülkemizde ise inek sütü bazlı toz formüla kullanılmaktadır. Güçlendirmenin zamanı net olmamakla beraber, 36. hafta veya 2.500 gram üzerine çıkana kadar önerilebilir. Persentilin gerisinde kalırsa 52. haftaya kadar devam ettirilebilir (Yurttutan ve Öncel, 2023).

ESPGHAN ve Türk Neonatoloji Derneği rehberleri, anne sütü yokluğunda prematüre bebek beslenmesinde bu formülaların kullanılmasını önermektedir (Yurttutan ve Öncel, 2023).

PREMATÜRE BEBEKLERDE BESLENME PROBLEMLERİ

1. Beslenme İntoleransı

Beslenme intoleransı çok sık karşılaşılan bir durumdur, ancak tedavi süreci hakkında net bir fikir birliği yoktur. Tedavide ilk seçenek yine anne sütüdür. Zaman zaman tedavi sürecine katkı sağlamak amacıyla laktozsuz mama veya kısmi-tam hidrolize mamalar kullanılabilir (Yurttutan ve Öncel, 2023).

2. Nekrotizan Enterokolit (NEK)

Batın distansiyonu, safralı kusma, batında renk değişikliği görülür. İntestinal perforasyon varlığı acil cerrahi girişim gerektirir.

NEK komplikasyonları olarak beslenme intoleransı, bridileus, Kısa Bağırsak Sendromu gibi durumlarda enteral beslenme yönetimi son derece dikkatli ve bireyselleştirilmiş bir yaklaşımla yapılmalıdır (Yurttutan ve Öncel, 2023).

KİŞİSELLEŞTİRİLMİŞ ENTERAL BESLENME

Kişiselleştirilmiş Beslenme Süreçleri "Cue-based" (Talebe Dayalı)

Bu yaklaşım, standart protokollerin genel faydalarını kabul etmekle birlikte, bazı özellikli bebekler için gerekli olan farklı dokunuşları ve bireysel varyasyonları yönetim sürecine dahil etmeyi amaçlar (Yurttutan ve Öncel, 2023).

AYARLANABİLİR DİNAMİK BESLENME

Özellikle, gestasyonel yaş, komorbiditeler, büyüme hızı ve genetik yatkınlık gibi faktörlere göre beslenme içeriği, zamanlaması ve hacminin bebeğe özel olarak ayarlanması hedeflenir. Bu, beslenme yönetimini daha esnek, dinamik ve nihayetinde daha etkili hale getirir (Yurttutan ve Öncel, 2023).

PREMATÜRE BEBEĞİN ENTERAL BESLENMESİNDE SIVI, ENERJİ VE MAKRO BESİN GEREKSİNİMLER

Tablo 1: Prematüre Bebeklerin Enteral Sıvı, Enerji ve Makro Besin Gereksinimleri[4,14-20]

Makro Besinler	AAP 2019[14]	ESPGHAN 2022[4]	TND 2018[15]	TND 2024
Enerji kkal/kg/gün En fazla	110-130	115-140 (160)	120-140	115-140 (160)
Sıvı mL/kg/gün Önerilen En az-en fazla	135-200	150-180 (135-200)	150-180 (200)	150-180 (135-200)
Protein g/kg/gün En fazla	3,5-4,5	3,5-4,0 (4,5)	<1200 g:3,5-4,5 >1200 g:3,0-4,0	3,5-4,0 (4,5)
Karbonhidrat g/kg/gün g/100 kkal	11,6-13,2	11-15	10,5-12,0	11-15
Lipid g/kg/gün g/100 kkal	4,8-6,6	5-8 (9)	4,4-6,0	5-8 (9)
Linoleik asit mg/kg/gün	385-1540	385-1540		385-1540
Alfa-linolenik asit mg/kg/gün	>55	> 55		> 55
DHA mg/kg/gün	55-60	30-65		30-65
ARA mg/kg/gün	35-45	30-100		30-100
EPA mg/kg/gün	< 20	< 20		< 20

ARA: Araşidonik asid; DHA: Dokozahekzaenoik asit; EPA: Eikozapentaenoik asit

Tablo 2: Prematüre Bebeklerin Doğum Ağırlıklarına Göre Enteral Enerji ve Makro Besin Gereksinimleri[21]

Makro Besinler	500-1000 g	1000-1500 g	1500-2000 g	2000-2500 g
Enerji* kkal/kg	110-130	110-130	110-130	105-125
Protein g/kg/gün	3,5-4,5	3,5-4,5	3,0-4,0	2,5-3,5
Karbonhidrat g/kg/gün	11-13	11-13	11-13	11-13

*Tabloda verilen değerler stabil bebekler için önerilen en düşük değerlerdir. Bebeğin klinik durumu ve büyümesine göre bu değerlerin üzerine (en fazla 160 kkal/kg/gün) çıkılabilir.

Kaynak: (Kültürsay vd., 2018).

ESPGHAN prematüre bebekler için beslenme önerileri

	Kg başına/gün	100 kcal'de
Sıvı, mL	135–200	
Enerji, kcal	110–135	
Protein, g <1 kg beden ağırlığı	4.0–4.5	3.6–4.1
Protein, g 1–1.8 kg beden ağırlığı	3.5–4.0	3.2–3.6
Lipidler, g (MCT <%40)	4.8–6.6	4.4–6.0
Linolenik asit, mg	385–1540	350–1400
a-linolenick asit, mg (yağ asitlerinin %0.9'u)	>55	>50
DHA, mg	12–30	11–27
AA, mg	18–42 16–39	
Karbonhidrat, g	11.6–13.2	10.5–12
Sodyum, mg	69–115	63–105
Potasyum, mg	66–132	60–120
Klorür, mg	105–177	95–161
Kalsiyum tuz, mg	120–140	110–130
Fosfat, mg	60–90	55–80
Magnezyum, mg	8–15	7.5–13.6
Demir, mg	2–3	1.8–2.7
Çinko, mg	1.1–2.0	1.0–1.8
Bakır, mcg	100–132	90–120
Selenyum, mcg	5–10	4.5–9
Manganez, mcg	27.5	6.3–25
Florür, mcg	1.5–60	1.4–55
İyot, mcg	11–55	10–50
Krom, ng	30–1230	27–1120
Molibden, mcg	0.3–5	0.27–4.5

	Kg başına/gün	100 kcal'de
Tiamin, mcg	140–300	125–275
Riboflavin, mcg	200–400	180–365
Niasin, mcg	380–5500	345–5000
Pantotenik asit, mg	0.33–2.1	0.3–1.9
Piridoksin, mcg	45–300	41–273
Kobalamin, mcg	0.1–0.77	0.08–0.7
Folik asit, mcg	35–100	32–90
L-askorbik asit, mg	11–46	10–42
Biotin, mcg	1.7–16.5	1.5–15
Vitamin A, mcg RE, 1mcg 3.33 IU	400–1000	360–740
Vitamin D, IU/gün	800–1000	
Vitamin E, mg (alfa-tokoferol eşdeğerleri)	2.2–11	2–10
Vitamin K1, mcg	4.4–28	4–25
Nükleotidler, mg		≤5
Kolin, mg	8–55	7–50
İnositol, mg	4.4–53	4–48

Değerler minimum ve maksimum düzeyleri göstermektedir.

Agostoni C et al. ESPGHAN. JPGN 2010;50,(1):85-92

PREMATÜRE BEBEĞİN ENTERAL BESLENMESİNDE SIVI, ENERJİ VE MAKRO BESİN GEREKSİNİMLERİ

TND Beslenme Grubu Önerileri:

- Çok düşük doğum ağırlıklı (DDA) prematüre bebeklere diğer makro ve mikro besinlerle beraber 3,5-4,0 (en fazla 4,5) g/kg/gün enteral protein verilmelidir (A).
- Tek başına AS ile beslenen prematüre bebeklerde volüm artırılmasının yapılamadığı ya da yeterli kalori ve mikro besin alımına karşın büyümenin yetersiz olduğu durumlarda, büyümeyi olumsuz etkileyen başka nedenler dışlandığında, uygun bir protein kaynağı olmak koşulu ile verilen protein 4,5 g/kg/güne artırılabilir (A).
- Standart güçlendirme ile yeterli büyümenin sağlanamadığı bebeklerde belirli aralıklarla BUN düzeyi takibi yapılmalıdır. BUN < 10 mg/dL ise, protein 4,5 g/kg/güne kadar artırılabilir, BUN > 16 mg/dL (kan üre düzeyi > 34 mg/dL) olduğunda ise, sıvı dengesi ve böbrek fonksiyonlarında sorun olmayan bebeklerde, beslenmede yeterli kalori sağlanarak protein alımının azaltılması düşünülebilir (C).
- Neonatal morbiditeyi azaltmak için enteral beslenmeye glutamin, arginin ya da taurin eklenmesi konusunda kesin bir öneri yapılamamaktadır (B).

Kaynak: (Avrupa Pediatrik Gastroenteroloji, Hepatoloji ve Beslenme Derneği (ESPGHAN) 2022; Türk Neonatoloji Derneği (TND), Amerikan Pediatri Akademisi (AAP))

ENTERAL SIVI-ENERJİ GEREKSİNİMİ

Prematüre bebeklerin enteral sıvı gereksinimi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kanıtlar, sıvı yönetiminde bireyselleştirilmiş yaklaşımların önemini vurgulamaktadır.

Prematüre bebeklerde günlük sıvı ihtiyacı, aşağıdaki faktörlere göre farklılık gösterebilir. Gestasyonel yaşı özellikle ilk günlerdeki sıvı kaybını ve dolayısıyla ihtiyacı etkiler. İntrauterin Büyüme Kısıtlılığı (İUBK) olan bebeklerin sıvı metabolizmaları ve böbrek fonksiyonları farklılık gösterebilir.

Bronkopulmoner Displazi (BPD) varlığında sıvı kısıtlaması gerektirebilir.

Patent Duktus Arteriyozus (PDA), bu kalp problemi, akciğerlerde sıvı birikimine yol açabileceği için dikkatli sıvı yönetimi gerektirir. Enteral beslenen prematürenin sıvı dengesi, hidrasyon ve renal fonksiyonları düzenli olarak takip edilmelidir.

Prematüre bebeklerin günlük 17-20 g/kg tartı alarak büyümeleri için 115-140 kkal/kg/gün enerjiye ihtiyaçları vardır.

TND Beslenme Grubu Önerileri:

- Prematüre bebekler, vücut homeostazını sağlamak ve böbrek fonksiyonlarını korumak için en az 135 mL/kg/gün beslenmelidir (C).
- Stabil, büyüyen prematüre bebeklerde besin ihtiyacının sağlanması amacıyla beslenme miktarı 150-180 mL/kg/güne artırılmalıdır (A).
- Bazı prematüre bebeklerde klinik durumlarına bağlı olarak beslenme miktarı 200 mL/kg/güne kadar güvenle artırılabilir (C).
- Sıvı yüklenmesi açısından risk taşıyan PDA veya BPD'li bebeklerde, besin ihtiyacının karşılanabileceği ve büyümenin sağlanabileceği, daha düşük volümler (140-160 mL/kg/gün) tercih edilmelidir (C).

TND Beslenme Grubu Önerileri:

- Sağlıklı büyüyen prematüre bebeklerin enerji ihtiyacı 115-140 kkal/kg/gündür (A).
- Yeterli büyümenin sağlanamadığı bebeklerde enerji ihtiyacı > 140 kkal/kg/gün olabilir; ancak, 160 kkal/kg/gün aşılmamalıdır (B).
- Protein /enerji oranı, 2,8-3,6 g/100 kkal olmalıdır (B).

ANNE SÜTÜ BANKACILIĞI

Annesinin kendi sütüyle beslenemeyen bebekler için, bağışçı anneler tarafından verilen sütleri toplama, saklama, pastörize etme ve sunma görevini üstlenen kuruluşlardır.
WHO-UNICEF tarafından da önerildiği gibi, bağışlanmış anne sütü, anne sütü ile beslenmenin sürdürülmesinden sonraki en iyi alternatiftir.
Bağışlanmış anne sütü rejimi, sağlığı korumayı sağlar ve özellikle prematüre bebeklerde görülen doğum ölüm oranlarını azaltmada oldukça etkili olabilir.

1.1 Anne Sütü Bankalarının Kuruluş Amaçları

Aynı ortamda uygun sütanne bulunamaması. Kan bankası veya organ bankası verileri gibi bir kayıt sisteminin oluşturulması fikri.
Prematüre ve düşük doğum ağırlıklı bebeklerin beslenme gereksinimlerinin karşılanması isteği. Çocuğunu emziremeyen annelere karşılık, süt fazlası olan veya çocuğu ölen annelerin gönüllü olarak süt vermek istemesi.
Sanayileşme ile birlikte iş hayatına devam eden kadınların çocuk beslenmesine katkı sağlamaya devam etme ihtiyacı. Sütanneliğin yaygınlaşması ve toplumsal dayanışmanın güçlenmesi. Tıp alanındaki gelişmeler ve bazı ticari süreçlerin teşvik etmesi (Özcanarslan ve Özer, 2023; Keskindemirci, 2020).

1.2 Anne Sütü Bankası İşleyişi

Anne Sütü Bankası bağışlanan sütün alıcıya ulaştırılmasına kadar izlenen sıkı prosedürler içerir (Kaplan, 2021; Keskindemirci, 2020).
1. Toplanması, Analiz Edilmesi, Pastörize Edilmesi, Depolanması, Hastanede yatarak ya da ayaktan tedavi gören hastalara Dağıtılması
2. Sütün toplanması, saklanması ve dağıtımı sıkı prosedürlere uygun olarak gerçekleştirilir (Kaplan, 2021; Keskindemirci, 2020).
Süreç, gönüllü annelerin onamının alınması ve sağlık taramalarının yapılmasıyla başlar. Sütler, annelerden donmuş olarak toplanır ve bankada bir gece -20°C'de buzdolabında bekletilerek çözülür. Çözülen sütler birleştirilir ve havuzlanır, ardından 62,5°C'de 30 dakika süreyle pastörize edilir. Pastörize edilen süt, 100 ml'lik şişelere bölünerek -20°C'de saklanır. Bu sıcaklıkta saklanan sütler daha sonra annelere dağıtılır (Keskindemirci, 2020; Kaplan, 2021).
3. Donör sütün alınabilmesi için, alıcı anne ya da bebeğe ait gerekliliği sağlayan durumun belgelerle ibraz edilmesi zorunludur (Keskindemirci, 2020; Kaplan, 2021).

Tablo 1: Süt bankacılığı için EMBA önerileri (bazıları)(13):

1.Tüm ekipmalar üreticinin önerdiği gibi kullanılmalıdır.
2.Konteynerler donmuş anne sütü genleşeceği için fazla doldurulmamalıdır.
3.Süt kaplarına donör adı ve tarih yazılmalıdır.
4.Donör sütlerin güneş ışığı veya fototearpi ışığına maruz kalması engellenmelidir.
5.Anne sütü bankasında çalışanlar eğitim almalı, hijyen koşullarına uymalıdır.
6.Çalışanlar her zaman etik yaklaşımlarını göz önünde bulundurmalı örneğin, bağışçıların daha fazla süt bağışında bulunmaya teşvik edilmemelidir.
7.Tüm kayıtlar tutulmalıdır.
8.Pastorize edilmemiş süt, işlemden geçirilen sütten ayrı tutulmalıdır.
9. Kayıt yapılarak bağış sütü alınmalı ve bağışçılar ile hem sözlü görüşme yapılmalı hem de sağlık anketi doldurulmalıdır.
10. Bağışçı olmak isteyenlere serolojik testlerden geçmeleri gerektiğini bildirilmelidir
11.Alıcıların öncelik sırası yerel olarak belirlenmelidir.
12. Uygun taşıma kapları ile alıcıya ulaştırılmalıdır.

Tablo 2: EMBA'ya göre bağışçının uygun olmayacağı koşullar (13):

1. Bağışçının sigara veya elektronik sigara, herhangi bir zevk veren ilaç kullanması,
2. HIV, Hepatit B veya Hepatit C ile enfekte olduğu bilinmesi,
3. HTLV-1, sifiliz veya bölgesel değerlendirmelere göre başka bakteri veya virüs saptanması,
4.EMBA'nın onaylamadığı ilaç listesinden herhangi bir ilacı kullanımı,
5.Yakın zamanda kan transfüzyonu yapılması,
6. Dövme yaptırması veya piercing taktırması,
7.Vitamin B12 desteği almadan vegan diyeti yapması,
8. Cinsel yolla bulaşan hastalık taşıma riski olan eş/partneri varlığı

Kaynak: (HMBANA., 2024)

1.3 Dünyada Anne Sütü Bankacılığı

İlk süt bankası Viyana'da 1909 yılında kurulmuştur. 1985 yılında Kuzey Amerika Anne Sütü Bankası (HMBANA), 2010 yılında ise Milano'da Avrupa Anne Sütü Bankası (EMBA) kurularak dünya çapında anne sütü bankası sayıları giderek artmıştır (Keskindemirci, 2020; Kaplan, 2021).

Brezilya, dünyanın en kapsamlı anne sütü bankaları ağına sahiptir (Keskindemirci., 2020; Kaplan, 2021). Emzirme için yardım ve rehberlik hizmetleriyle birlikte yüksek kaliteli anne sütü programları sağlamak için düşük maliyetli birleştirici stratejiler kullanma konusunda küresel bir referans haline gelmiştir (Keskindemirci, 2020; Kaplan, 2021).

Ülke genelinde 222 anne sütü bankası ve 217 toplama merkezi bulunmaktadır (Kaplan., 2021). Avrupa Anne sütü bankacılığı konusunda oldukça gelişmiştir. 20'den fazla ülkede faaliyet gösteren 200'den fazla süt bankası bulunmaktadır. Amerika'da farklı eyaletlerde 30 banka bulunmaktadır. Güney Afrika'da 7 eyalette faaliyet gösteren toplam 20 anne sütü bankası bulunmaktadır (Keskindemirci, 2020; Kaplan, 2021).

1.4. Türkiye'de Anne Sütü Bankacılığı

2012'de İzmir İl Sağlık Müdürlüğü tarafından Dr. Behçet Uz Çocuk Hastanesi'nde anne sütü bankacılığına yönelik bir girişim oldu.

2013'de tartışmaların ardından Bakanlık, "Süt bankaları" yerine "Süt Anne Merkezleri" kurulması yönünde isim değişikliği yaptı, ancak bu proje de hayata geçirilemedi (Kaplan, 2021; Keskindemirci, 2020).

Türkiye'de planlanmış 2 süt bankası projesi bulunmasına rağmen, aktif bir süt bankası mevcut değildir (Kaplan, 2021; Keskindemirci, 2020).

1.5.Türkiye'de Anne Sütü Bankacılığı Engelleri

Dini inançlar (süt kardeşliği meselesi), ekonomik nedenler, tarama testleri ve kayıt sistemine olan güvensizlik, bağış yapan kişinin tanınmaması endişesi, sütlerin karıştırılması riski, sütlerin pastörize edilmesi ile ilgili endişeler, bağışçı ve alıcı bebeklerinin yaşlarının uyumsuzluğu, anne sütü bankacılığı hakkında bilgi eksiklikleridir (Kaplan, 2021; Özcanarslan ve Özer, 2023).

1.6.Anne Sütü-Hemşirelik

Hemşireler, toplumu bilinçlendirerek ve ihtiyaçları belirleyerek Sağlık Bakanlığı ile toplum arasında köprü konumunda yer alacak anahtar meslek grubu olarak görülmektedir.

Anneler, hemşirelere güven duymakta ve onların önerilerini dikkate almaktadır. Nitekim anneler, anne sütü bankasının kurulması durumunda hemşireler tarafından kontrol edilmesini önemsemektedir (Özcanarslan ve Özer, 2023; Kaplan, 2021).

Bu veriler ışığında, hemşirelerin eğitici ve bakım verici rollerini etkili bir şekilde kullanabilmesi için anne sütü bankası konusunda bilgilerinin yeterli ve görüşlerinin olumlu olması gereklidir.

Hemşireler, yenidoğan ünitelerinde ve doğum kliniklerinde bu konunun kabul görmesinde anahtar rolü üstleneceklerdir (Özcanarslan ve Özer, 2023; Kaplan, 2021).

KAYNAKÇA

(HMBANA), H. M. B. A. o. N. A. (2024) https://www.hmbana.org/file_download/inline/78058d21-b0c4-48e7-93ca-6f64445a91f7

Allen, E., Rumbold, A. R., Keir, A., Collins, C. T., Gillis, J., & Suganuma, H. (2021). Avoidance of bottles during the establishment of breastfeeds in preterm infants. *Cochrane database of systematic reviews*, (10).

Chen, C., Yin, Q., Wu, H., Cheng, L., Kwon, J. I., Jin, J., ... & Che, H. (2020). Different effects of premature infant formula and breast milk on intestinal microecological development in premature infants. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 3020.

Doyle, K. J., & Bradshaw, W. T. (2012). Sixty golden minutes. *Neonatal Network*, *31*(5).

Duruvasal, P. D., Devi, U., Patil, U., & Sethuraman, G. (2024). Comparison of Paladai Cup Against Nifty Cup Feeding in Preterm Low-Birth-Weight Infants: An Open-Labeled Randomized Controlled Trial. *Breastfeeding Medicine*, *19*(7), 554-559.

Elhusein, A. M., & Fadlalmola, H. A. (2024). the effects of different nursing positions during preterm infants feeding on gastric residual volume and emptying rate: a systematic review and network meta-analysis. *International Journal of Nursing Practice*, *30*(6), e13309.

Haiden, N., & Ziegler, E. E. (2016). Human milk banking. *Annals of Nutrition and Metabolism*, *69*(Suppl. 2), 7-15.

Jayapradha, G., Venkatesh, L., Amboiram, P., Balasubramanium, R. K., & Balakrishnan, U. (2025). Effect of an oral stimulation protocol on breastfeeding among preterm infants: a randomised controlled trial. *Archives of Disease in Childhood-Fetal and Neonatal Edition*, *110*(3), 313-318.

Kaplan, Ö., (2021). *HUMAN MILK BANKING IN THE TURKEY AND WORLD* . CUKUROVA 6th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCHES CONFERENCE (pp.326-327). Adana, Turkey

Kaynak, S., & Ergün, S. (2024). Effect of post-discharge online kangaroo care training on breastfeeding self-efficacy in mothers with preterm infants: A randomised controlled study. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, *38*(4), 917-923.

Keskindemirci, G. (2020). Anne Sütü Bankacılığı. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 30-34.

Kültürsay, N., Bilgen, H., & Türkyılmaz, C. (2018). Prematüre ve hasta term bebeğin beslenmesi rehberi. *Türk Neonatoloji Derneği*, *4*(09), 2018.

Lin, T., Hu, J., Zhang, L., Qin, X., Liu, X., Lan, Y., Chen, K., & You, T. (2022). Promoting enteral tube feeding safety and performance in preterm infants: A systematic review. *International journal of nursing studies*, *128*, 104188. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2022.104188

Liu, M., Chen, C., Kang, S., Kwon, J. I., Jin, J., & Che, H. (2022). Effect of different feeding methods and gut microbiota on premature infants and clinical outcomes. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 888304.

Canadian Paediatric Society, & Nutrition Committee. (1995). Nutrient needs and feeding of premature infants. *Can Med Assoc J*, *152*, 1765-1785.

Obladen, M. (2015). Feeding the feeble: steps towards nourishing preterm infants. *Journal of Perinatal Medicine*, *43*(5), 627-635.

ÖZCANARSLAN, Ö. Ü. N., & ÖZER, Ö. GUD (2023). YENİDOĞAN BAKIMINI GÜÇLENDİRMEDE ANNE SÜTÜ BANKASININ YERİ. *TIP VE SAĞLIK BİLİMLERİNDE MULTİDİSİPLİNER BAKIŞ I* , 87.

Reynolds, R., Pilcher, J., Ring, A., Johnson, R., & McKinley, P. (2009). The Golden Hour: care of the LBW infant during the first hour of life one unit's experience. *Neonatal Network*, *28*(4), 211-219.

Sanjoli, Choudhary, A., Mukhopadhyay, K., & Chopra, S. (2024). Nurse-Guided Maternal Interventional Package for Neonatal Stress–A Randomized Controlled Trial. *Indian Pediatrics*, *61*(5), 435-440.

Sato, I., Imura, M., & Kawasaki, Y. (2022). Efficacy of a breastfeeding support education program for nurses and midwives: a randomized controlled trial. *International Breastfeeding Journal*, *17*(1), 92.

Thandaveshwara, D., Krishnegowda, S., Batra, A., & Doreswamy, S. M. (2022). Comparison of time taken for feeding stable preterm babies between regular nurse feeding and feeding with feed rail—a randomized, controlled study. *Indian Journal of Pediatrics*, *89*(1), 19-24.

van Goudoever J. B. (2018). Nutrition for Preterm Infants: 75 Years of History. *Annals of nutrition & metabolism*, *72 Suppl 3*(Suppl 3), 25–31. https://doi.org/10.1159/000487378

Yurttutan, S., & Öncel, M. Y. (2023). Prematüre Bebeğin Enteral Beslenmesi. Forbes Journal of Medicine, 4.

PREDICTING PRESSURE ULCERS AND THE RISK OF FALLS IN PEDIATRIC INTENSIVE CARE USING BIG DATA ANALYTICS

Rabia KOCA
Van Yuzuncu Yil University, Institute of Health Sciences, Child Health and Disease Nursing Master's Degree Student
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0002-3764-717X

Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK
Van Yuzuncu Yil University Health Sciences Institute
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0001-9341-3346

Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN
Van Yuzuncu Yil University Health Sciences Institute
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0001-5982-183X

ABSTRACT
Introduction and Aims: Paediatric intensive care units are environments that involve close monitoring and nursing practices, where invasive and advanced interventional procedures are frequently performed. Due to the patients critical condition, the medications they receive, the invasive procedures performed, and the use of high-risk drugs, these units are characterised by a high risk of pressure ulcers and falls. With the introduction of artificial intelligence into nursing practice, research has begun on the integration of artificial intelligence into intensive care practices. The aim of this review is to summarise studies on the prediction of pressure ulcers and fall risk using artificial intelligence, based on current literature data.
Materials and Methods: This review was prepared by compiling studies conducted over the last five years using the keywords ‘paediatric intensive care unit, big data analytics, artificial intelligence, machine learning, predictive analytics, pressure injury, pressure ulcer, fall risk, patient safety, clinical decision support systems, nursing informatics, risk prediction, electronic health records, paediatric nursing’ in the PubMed database.
Results: The results of studies on the prediction of pressure injuries and fall risk using artificial intelligence applications in the current literature indicate positive outcomes, despite limitations in terms of nursing practice.
Discussion and Conclusion: Studies on pressure ulcers and the risk of falls are limited due to the heterogeneous nature of these issues in paediatric populations, the scarcity of paediatric datasets, and technical challenges associated with the use of artificial intelligence.
Keywords: Paediatric intensive care; big data; big data analytics; artificial intelligence; machine learning; pressure injury; pressure ulcer; fall risk; patient safety; clinical decision support system; nursing informatics; predictive analytics; electronic health records.

INTRODUCTION AND OBJECTIVE
Paediatric intensive care units are complex care environments where patients in a life-threatening condition are monitored and advanced interventional procedures are carried out (Sarman, A. 2019). Paediatric intensive care units are high-risk patient care areas where patients are typically sedated, receiving mechanical ventilation support, and frequently undergoing other interventional procedures (Pei, J. 2023). Due to patient sedation, immobility, and the use of high-risk medications and procedures, intensive care units are settings where the risk of pressure ulcers and falls is highest (Bakanoğlu, K. E. 2024). To this end, the aim of this review is to examine, in the light of the current literature, the role of artificial intelligence applications in paediatric intensive care units and their role in predicting the risk of falls and pressure ulcers.

PRESSURE ULCERS AND THE RISK OF FALLS IN PAEDIATRIC INTENSIVE CARE
Paediatric intensive care units are settings where there is a high risk of pressure ulcer development due to factors such as patient sedation, surgical and invasive procedures, immobility and incontinence (Bora,

G.N., 2014). Pressure ulcer scales are used in paediatrics to assess the risk of pressure ulcers (Kılıç, H. F., 2017). Whilst pressure ulcer risk scales are similar, they assess parameters such as emotional perception, skin moisture, activity, mobility, nutrition and tissue perfusion (Lauderbaugh, D. L., 2021). One of the conditions that must be managed with the utmost care in paediatric intensive care is the risk of falls. Paediatric intensive care units are high-risk areas for falls due to factors such as sedation, delirium and altered consciousness (Sarman, A. 2019). The risk of falls is assessed using scales at specific intervals throughout the intensive care process, and the necessary preventive measures are taken (Tezcan, B. 2021).

PREDICTING THE RISK OF PRESSURE ULCERS AND FALLS USING BIG DATA ANALYTICS

Paediatric intensive care units are high-risk units in terms of falls and pressure ulcers due to the high-risk nature of the treatments administered, the serious conditions of inpatients, the use of invasive procedures, and the administration of high-risk medication (Doğu, Ö. 2021). Advances in technology and artificial intelligence applications in the healthcare sector are driving current developments in the field of nursing (Noonan, C. 2011). Using artificial intelligence, machine learning and big data analytics, risks such as the risk of falls and pressure ulcers are predicted by analysing monitoring data, laboratory data and nursing observation data (Tutar, Ş. 2025).

A study published in 2025 investigated a machine learning algorithm-based pressure ulcer prediction model in children following liver transplantation. The study investigated the use of machine learning to predict the risk of pressure ulcers (Chen, X. 2025). A decision tree model was successfully formulated and validated in the study. With this prediction system, nursing staff can assess pressure ulcer conditions in paediatric patients and minimise the risk of pressure ulcer formation through personalised care processes (Chen, X. 2025).

A study published in 2024 investigated the use of a machine learning model to predict patient falls in intensive care units (Jahandideh, S. 2024). The study found that machine learning models have potential for assessing the risk of falls (Jahandideh, S. 2024). Despite their limitations, machine learning models are promising tools for assessing patient falls and are likely to be used in the future (Yin, M. 2026).

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The risk of falls, which remains a constant concern in paediatric care, is of even greater significance in paediatric intensive care (Çamurcu, K. 2020). Due to factors such as serious invasive procedures, the medications used, the intensive care environment causing anxiety for the patient, and prolonged hospitalisation and treatments, the risk of falls is a matter requiring meticulous attention in paediatric intensive care (Tezcan, B. 2021). A review of the literature reveals that studies on the validation and prediction of paediatric fall risk using artificial intelligence models are quite limited. Due to the heterogeneous nature of fall incidents, developmental differences, and considerations such as ethical issues and data security, research into predicting paediatric fall risk with the support of artificial intelligence remains quite limited.

Complications associated with prolonged hospitalisation in intensive care settings—such as the use of high-risk medications, prolonged immobilisation, incontinence and the use of medical devices—increase the risk of pressure ulcer development (Zhu, W. 2025). A review of the literature shows that, when traditional pressure ulcer scales are compared with artificial intelligence-supported clinical decision support systems, the AI-supported systems have demonstrated positive outcomes (Jahandideh, S. 2024). The variability of the paediatric patient population, and consequently the limited availability of datasets, restricts research into the application of artificial intelligence in paediatric intensive care (Tutar, Ş. 2025). Data security, shortcomings in technical infrastructure, and the level of knowledge among healthcare providers regarding digital systems have been factors limiting research into pressure ulcers and the risk of falls in paediatric intensive care. The application of artificial intelligence in paediatric care is limited but is showing positive effects. Further research is needed into all aspects of artificial intelligence applications in paediatric care. (Barriga, G.F., 2026).

REFERENCES

The English translation was produced using DeepL and Google Translate.

Arslan, İ., İrday Demir, K., Ekinci, F., Özkale, Y., & Ece, Ü. (2022). Çocuk Yoğun Bakımlarda Bası Yarası Sıklığı ve Risk Faktörlerinin Değerlendirilmesi: Çok Merkezli Çalışma. Journal of Pediatric Emergency and Intensive Care Medicine, 9(1), 37-42. https://doi.org/10.4274/cayd.galenos.2021.65983

Aslan, Y. Sağlık Yönetiminde Hasta Güvenliği Süreç Yönetimi. *Sağlık Yönetiminde Süreç Yönetimi (Sysy)*, 431.

Bakanoğlu Kalkavan, E., & Şendir, M. (2024). Braden Ölçeği İle Basınç Yarası Riski Belirlenen Hastalarda Risk Faktörleri İle Basınç Yarası Arasındaki İlişkinin İncelenmesi. Journal Of Health And Sport Sciences, 7(1), 28-54. Https://İzlik.Org/Ja99zm37sn

Barış, V., Çelik, İ., Seren İntepeler, Ş., Bektaş, M., Gökmen Kavak, D., & Engeloğlu, Ş. (2026). HARİZMİ II Pediatrik Düşme Riski Değerlendirme Ölçeğinin Geliştirilmesi, Geçerlik ve Güvenirliğinin Değerlendirilmesi. Etkili Hemşirelik Dergisi , 19 (3), 397-409. https://doi.org/10.46483/jnef.1650810

Barriga-Gallegos, F., Ríos-Vásquez, G., Tapia, G. M., Garrido, C. A., & Vergara, N. F. (2026). Early prediction of pressure injury risk in hospitalized patients using supervised machine learning models based on nursing records. *Scientific reports*, *16*(1), 6502. https://doi.org/10.1038/s41598-026-35709-w

Bergstrom, N., Braden, B. J., Laguzza, A., & Holman, V. (1987). The Braden Scale for Predicting Pressure Sore Risk. *Nursing research*, *36*(4), 205–210.

Berikol, G. B., Kanbakan, A., Ilhan, B., & Doğanay, F. (2025). Mapping artificial intelligence models in emergency medicine: A scoping review on artificial intelligence performance in emergency care and education. *Turkish journal of emergency medicine*, *25*(2), 67–91. https://doi.org/10.4103/tjem.tjem_45_25

Bora Güneş, N., & Kılıçarslan Törüner, E. (2014). Çocuk Hastalarda Braden Q Basınç Ülseri Değerlendirme Ölçeği'nin Türkçe Geçerlilik Ve Güvenirliği. Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences, 17(1), 6-14. https://izlik.org/JA22CG42FZ

Bosch Alcaraz, A., Corrionero Alegre, J., Gil Domínguez, S., Luna Castaño, P., Piqueras Rodríguez, P., Belda Hofheinz, S., Ángeles Saz Roy, M., Zuriguel Pérez, E., Fernández Lorenzo, R., Mata Ferro, M., Martín Gómez, A., Serradell Orea, M., Martínez Oliva, M., González Rivas, S., Añaños Montoto, N., José Espildora González, M., Martín-Peñasco Osorio, E., Carracedo Muñoz, E., López Fernández, E., Lozano Almendral, G., … García Piñero, J. M. (2024). Intention to use physical restraint in paediatric intensive care units and correlated variables: A multicentre and cross-sectional study. *Intensive & critical care nursing*, *83*, 103690. https://doi.org/10.1016/j.iccn.2024.103690

Brás, A. M. R., Quitério, M. M. S. L., & Nunes, E. M. G. T. (2020). Nurse's interventions in preventing falls in hospitalized children: scoping review. *Revista brasileira de enfermagem*, *73*(s6), e20190409. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0409

Brás, A. M. R., Quitério, M. M. S. L., & Nunes, E. M. G. T. (2020). Nurse's interventions in preventing falls in hospitalized children: scoping review. *Revista brasileira de enfermagem*, *73*(s6), e20190409. https://doi.org/10.1590/0034-7167-2019-0409

Chen, L., Liu, W., & Li, H. (2023). Development of an evidence-based care bundle protocol for preventing falls in hospitalized children: Delphi study and trial test. *Nursing open*, *10*(3), 1715–1725. https://doi.org/10.1002/nop2.1427

Chen, X., Tang, S., Qin, Y., Zhou, S., Zhang, L., Huang, Y., & Chen, Z. (2025). A Predictive Model of Pressure Injury in Children Undergoing Living Donor Liver Transplantation Based on Machine Learning Algorithm. *Journal of advanced nursing*, *81*(6), 3003–3012. https://doi.org/10.1111/jan.16449

Chun, X., Pan, L., Lin, Y., Ye, L., Liang, H., Tao, J., & Luo, Y. (2021). A model for predicting 7-day pressure injury outcomes in paediatric patients: A machine learning approach. *Journal of advanced nursing*, *77*(3), 1304–1314. https://doi.org/10.1111/jan.14680

ÇAMURCU, K., Manav, G., & MUSLU, G. K. (2020). Hastanede yatan 3-18 yaş arası çocukların düşme riskinin belirlenmesi. *Journal of General Health Sciences (JGEHES)*, *2*(3).

Çetintaş, N. (2019). *Çocuk hastalarda düşme riskinin belirlenmesinde humpty dumpty ve buçh düşme ölçeklerinin karşılaştırılması* (Master's thesis, Marmara Universitesi (Turkey)).

Doğu, Ö., & Önen, S. (2021). Basınç Ülseri Takip Ve Tedavisinde Kullanılan Ölçekler. Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi, 24(3), 199-208. https://izlik.org/JA56TK38DX

Düzkaya, D. S., Terzi, B., Yakut, T., & Kızıl, N. (2014). BASINÇ YARASINDA NE DURUMDAYIZ? PEDİATRİ YOĞUN BAKIM ÜNİTEMİZDEKİ SON BİR YILLIK VERİ. *Journal of Anatolia Nursing and Health Sciences*, *17*(4), 239-244.

Dweekat, O. Y., Lam, S. S., & McGrath, L. (2023). Machine Learning Techniques, Applications, and Potential Future Opportunities in Pressure Injuries (Bedsores) Management: A Systematic Review. *International journal of environmental research and public health*, *20*(1), 796. https://doi.org/10.3390/ijerph20010796

İrice, Ü. (2025). *Hemşirelerin basınç yaralanması bilgi düzeyleri ve önlemeye yönelik tutumları arasındaki ilişki* (Master's thesis, Sağlık Bilimleri Ens

Jahandideh, S., Hutchinson, A. F., Bucknall, T. K., Considine, J., Driscoll, A., Manias, E., Phillips, N. M., Rasmussen, B., Vos, N., & Hutchinson, A. M. (2024). Using machine learning models to predict falls in hospitalised adults. *International journal of medical informatics*, *187*, 105436. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2024.105436

Kılıç, H. F., & Dağ, G. S. (2017). Basınç yarası değerlendirilmesinde sık kullanılan ölçekler. *Journal of Academic Research in Nursing*.

Kılıç, H. F., & Dağ, G. S. (2017). Basınç yarası değerlendirilmesinde sık kullanılan ölçekler. *Journal of Academic Research in Nursing*.

Kim, E. J., & Lee, A. (2021). Analysis of Fall Incident Rate among Hospitalized Korean Children Using Big Data. *Journal of pediatric nursing*, *61*, 136–139. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2021.05.005

Kim, H. J., & Koo, H. Y. (2026). Nurses' experiences of children's fall accidents in South Korea: a phenomenological study. *Child health nursing research*, *32*(1), 39–51. https://doi.org/10.4094/chnr.2025.038

Lauderbaugh, D. L., Billman, G., Popien, T. L., Hauseur, S., Lee, E., & O'Haver, J. (2021). A Comparison of the Braden Q and the Braden QD Scale to Assess Pediatric Risk for Pressure Injuries During Noninvasive Ventilation. *Respiratory care*, *66*(8), 1234–1239. https://doi.org/10.4187/respcare.08536

Mülayim, Y., & İntepeler, Ş. S. (2011). Bır Ünıversıte Hastanesınde Düşmelerın Sıklığı Ve Kök Neden Analızı. *Ege Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, *27*(3), 21-34.

Nakagami, G., Yokota, S., Kitamura, A., Takahashi, T., Morita, K., Noguchi, H., Ohe, K., & Sanada, H. (2021). Supervised machine learning-based prediction for in-hospital pressure injury development using electronic health records: A retrospective observational cohort study in a university hospital in Japan. *International journal of nursing studies*, *119*, 103932. https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2021.103932

Nishino, T., Matsuyama, K., Miyagi, Y., Tanabe, N., Yamaguchi, F., Ito, H., Soh, S., Yano, A., Mizuno, M., Kato, K., Jinnouchi, H., Kim, C., Ishii, Y., Yamaguchi, H., & Kondo, Y. (2025). Machine Learning-Based Prediction of In-Hospital Falls in Adult Inpatients: Retrospective Observational Multicenter Study. JMIR medical informatics, 13, e75958. https://doi.org/10.2196/75958

Noonan, C., Quigley, S., & Curley, M. A. (2011). Using the Braden Q Scale to Predict Pressure Ulcer Risk in pediatric patients. *Journal of pediatric nursing*, *26*(6), 566–575. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2010.07.006

Padula, W. V., Armstrong, D. G., Pronovost, P. J., & Saria, S. (2024). Predicting pressure injury risk in hospitalised patients using machine learning with electronic health records: a US multilevel cohort study. *BMJ open*, *14*(4), e082540. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-082540

Patterson, B. W., Engstrom, C. J., Sah, V., Smith, M. A., Mendonça, E. A., Pulia, M. S., Repplinger, M. D., Hamedani, A. G., Page, D., & Shah, M. N. (2019). Training and Interpreting Machine Learning Algorithms to Evaluate Fall Risk After Emergency Department Visits. *Medical care*, *57*(7), 560–566. https://doi.org/10.1097/MLR.0000000000001140

Pei, J., Guo, X., Tao, H., Wei, Y., Zhang, H., Ma, Y., & Han, L. (2023). Machine learning-based prediction models for pressure injury: A systematic review and meta-analysis. *International wound journal*, *20*(10), 4328–4339. https://doi.org/10.1111/iwj.14280

Ryan-Wenger, N. A., & Dufek, J. S. (2013). An interdisciplinary momentary confluence of events model to explain, minimize, and prevent pediatric patient falls and fall-related injuries. *Journal for specialists in pediatric nursing : JSPN*, *18*(1), 4–12. https://doi.org/10.1111/jspn.12009

Sarik, D. A., Birkinshaw, H., Gattamorta, K. A., Gonzalez, J. L., Ono, T. K., Russell, N., & Hill-Rodriguez, D. (2026). Improving Pediatric fall prevention: Multicenter validation of the Humpty Dumpty Fall Scale 2.0. *Journal of pediatric nursing*, *86*, 148–153. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2025.11.010

Sarik, D. A., Hill-Rodriguez, D., Gattamorta, K. A., Gonzalez, J. L., Esteves, J., Zamora, K., & Cordo, J. (2022). The revised Humpty Dumpty Fall Scale: An update to improve tool performance and predictive validity. *Journal of pediatric nursing*, *67*, 34–37. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2022.07.023

Sarman, A. (2019). Pediatrik Yoğun Bakım Ünitelerindeki (PYBÜ) Deliryum Hastalarında Düşme Riski ve Bu Amaçla Kullanılan Ölçekler. Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 5(3), 1814-1828. https://doi.org/10.30569/adiyamansaglik.609711

Savage, K., Antista, H., Diamond, T., Knepp, A., & Oja, K. (2023). Content Validity and Interrater Reliability of a Newborn Fall Risk Assessment Tool: KAnt Fall. *Advances in neonatal care : official journal of the National Association of Neonatal Nurses*, *23*(2), 167–172. https://doi.org/10.1097/ANC.0000000000001041

Sayın, Y., & İpek, B. Ameliyat Sırası Basınç Yaralanması Ve Risk Faktörlerinin Belirlenmesi.

Sheppard-Law, S., Brogan, F., Usherwood, F., Hunstead, P., & Shala, D. R. (2022). Predictors of parent's knowledge of hospital-based pediatric falls. *Journal for specialists in pediatric nursing : JSPN*, *27*(2), e12368. https://doi.org/10.1111/jspn.12368

Smith-Millman, M., Daniels, L., Gallagher, K., Aspinwall, S., Brightman, H., Ubertini, G., Borrero, G. U., Palmo, L., Weinstock, P., & Allan, C. (2024). Hazard Assessment and Remediation Tool for Simulation-Based Healthcare Facility Design Testing. *HERD*, *17*(1), 287–305. https://doi.org/10.1177/19375867231188151

Spoon, D., A.deVroed, S.Greup, M.vanDijk, and E.Ista. 2026. “Integrating Artificial Intelligence in Nursing Practice With Decubitus Risk Prediction Alerts: A Pilot Process Evaluation.” Journal of Clinical Nursing1–14. https://doi.org/10.1111/jocn.70212.

Subaşi, D. Ö. (2021). Pediatrik Yoğun Bakım Ünitesinde Deliryum: Tanılama ve Hemşirelik Yönetimi. *Türk Hemşireler Derneği Dergisi*, *2*(1), 92-104.

Şimşek, E., Demir, A. S., Semerci, R., & Karadağ, A. (2023). The incidence and prevalence of medical device-related pressure injuries in pediatric patients: Systematic review and meta-analysis. *Journal of pediatric nursing*, *72*, e130–e138. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2023.06.019

Tezcan, B., & Alpar, D. Ş. E. Yoğun Bakım Hastalarında Basınç Yaralanması Riskinin Tanılanması: Ölçüm Aracı Geliştirme.

Tezcan, B., & Karabacak, B. G. (2021). Basınç yaralanmalarının önlenmesinde daha iyi sonuçlara doğru: Kanıta dayalı uygulamalar. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, *10*(1), 49-54.

Tezcan, B., & Karabacak, B. G. (2021). Klinik uygulamada sık kullanılan düşme riski tanılama ölçekleri. *Journal of Academic Research in Nursing (JAREN)*, *7*(2).

Tutar, Ş., Özgörü, H., & Şensoy, Ö. (2025). Pediatri Hemşireliğinde Yapay Zekâ Destekli Yaklaşımlar. Akdeniz Hemşirelik Dergisi, 4(3), 146-155. https://doi.org/10.59398/ahd.1741115

Wei, L., Lv, H., Yue, C., Yao, Y., Gao, N., Chai, Q., & Lu, M. (2024). A machine learning algorithm-based predictive model for pressure injury risk in emergency patients: A prospective cohort study. *International emergency nursing*, *74*, 101419. https://doi.org/10.1016/j.ienj.2024.101419

Yin, M., Fang, W., Cheng, Y., & Feng, Y. (2026). Personalizing fall fear prevention in knee osteoarthritis: an interpretable prediction framework via IGKSO synchronous optimization and SHAP-based risk stratification. *Frontiers in public health*, *14*, 1749921. https://doi.org/10.3389/fpubh.2026.1749921

Zhu, W., Pei, X., Guo, Y., Chen, L., Zhang, H., & Li, Q. (2025). Effects of different nursing interventions for intraoperative acquired pressure injuries: a network meta-analysis. *BMC nursing*, *24*(1), 1031. https://doi.org/10.1186/s12912-025-03645-1

ASSESSMENT OF THE MENTAL HEALTH CONSEQUENCES OF CYBERBULLYING AMONG ADOLESCENTS USING DIGITAL MONITORING TOOLS AND NURSING INTERVENTIONS

Rabia KOCA
Van Yuzuncu Yil University, Institute of Health Sciences, Child Health and Disease Nursing Master's Degree Student
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0002-3764-717X

Assoc. Prof. Dr. Mehmet BULDUK
Van Yuzuncu Yil University Health Sciences Institute
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0001-9341-3346

Assoc. Prof. Dr. Veysel CAN
Van Yuzuncu Yil University Health Sciences Institute
ORCİD ID: https://orcid.org/0000-0001-5982-183X

ABSTRACT
Introduction and Aims: Adolescence, the transitional period from childhood to adulthood, is a stage that requires careful monitoring from a developmental perspective. Advances in technology, coupled with the use of the internet and social media, have led to an increase in screen time and internet usage among adolescents, giving rise to risks such as cyberbullying and psychosocial problems. This review will examine the effects of cyberbullying on adolescents' mental health and its monitoring using digital monitoring tools, in the light of current literature data.
Materials and Methods: This review was compiled using the PubMed database, employing the keywords 'cyberbullying, adolescent mental health, digital monitoring tools, artificial intelligence, social media, digital health, nursing interventions, psychological outcomes, mental health nursing, adolescent health', and presenting examples from studies conducted over the past five years.
Findings: Studies have shown that cyberbullying leads to emotions such as depression, anxiety, feelings of loneliness and a sense of worthlessness. Loss of self-confidence and social withdrawal are common. Fear, anxiety and exclusion resulting from bullying, as well as the fear of being left alone, are frequently observed. There are existing studies on prevention programmes for cyberbullying and the early detection of the social and emotional symptoms it causes. Studies assessing cyberbullying using digital monitoring tools are progressing with positive results.
Discussion and Conclusion: Studies on the detection of mental health problems in adolescent groups using artificial intelligence have yielded positive results. Further research is needed to establish the feasibility of applying artificial intelligence in the social, mental and psychological assessment and well-being studies of adolescent groups. The development of artificial intelligence applications and evidence-based nursing interventions through collaboration between families, schools, adolescents and nurses will yield positive results in protecting adolescent groups from screen and cyber exposure and in early detection.
Keywords: Cyberbullying; adolescent mental health; digital monitoring tools; artificial intelligence; social media; digital health; nursing interventions; psychological effects; mental health nursing; adolescent health;

INTRODUCTION AND AIM
Adolescence is a period characterised by psychological, biological and social changes, during which mental health is more heavily influenced by environmental factors (Bolat, D. 2021). As a transitional phase from childhood to adulthood, this period requires careful monitoring from a developmental perspective (Koç, M., 2004). Advances in technology, coupled with the use of the internet and social media, have led to an increase in screen time and internet usage among adolescents, giving rise to risks such as cyberbullying and psychosocial problems (Boyar, Ü., 2024).

The United Nations Children's Fund (UNICEF) defines cyberbullying as repeated behaviour intended to frighten, anger or embarrass others, carried out using digital technologies (UNICEF, 2024). This situation can lead to significant psychological and social problems during adolescence—a period when mental health is more heavily influenced by environmental factors (Arı, Ü.S., 2022). The aim of this review is to investigate the impact of cyberbullying on adolescents' mental health during adolescence, its assessment using digital monitoring tools, current literature findings, and nursing interventions.

THE EFFECTS OF CYBERBULLYING ON MENTAL HEALTH DURING ADOLESCENCE

Cyberbullying is one of the factors that negatively affect adolescents' mental health (Stattin, H., 2026). Cyberbullying via social media, digital games, social apps and email can cause significant stress in adolescents (Nguyen, C. P., 2026). A review of the literature indicates that cyberbullying leads to emotions such as depression, anxiety, feelings of loneliness and a sense of worthlessness. Loss of self-confidence and social withdrawal are commonly observed (Boyar, Ü., 2024). Fear, anxiety and exclusion, as well as the fear of being left alone, are frequently experienced as a result of bullying (Ünlü, S., 2019).

A study published in 2024 investigated cyberbullying, cyber victimisation and depression among adolescents (Boyar, Ü. 2024). According to the study's findings, female students who had been subjected to cyberbullying were found to be at a higher risk of depression (Boyar, Ü. 2024). It was found that the risk of experiencing depression was significantly higher when computer use exceeded five hours a day (Boyar, Ü. 2024). Cyberbullying has not only psychological effects but also various other consequences. These include sleep disorders, attention deficits and impaired interpersonal communication (Meral, B. 2021). It is important to recognise the negative effects of cyberbullying at an early stage and to resolve the issues (Uludasdemir, D. 2021).

DIGITAL MONITORING TOOLS AND NURSING INTERVENTIONS

With advances in technology and the increasing ease of using the internet and screens, screen and internet usage has risen among school-age children and adolescents (Meral, B. 2021). Adolescence, a period in which physical, mental and social awareness develop more acutely, is a phase that requires close monitoring with regard to cyberbullying (Yorulmaz, D. S. 2022). Various programme initiatives are in place to prevent cyberbullying.

A study published in 2026 found that, among adolescents, a school-based cyberbullying prevention programme resulted in significantly lower scores for verbal victimisation and bullying, as well as relational victimisation and bullying, compared to a group not included in the programme, whilst their future expectations and scores were higher (Bozdag, F. 2026). According to this study, a school-based bullying prevention programme is effective in reducing traditional bullying and victimisation amongst adolescents and in enhancing their future expectations (Bozdag, F., 2026).

A study published in 2025 examines the use of natural language processing a subfield of artificial intelligence to identify cyberbullying and mental health risks on social media (Ajayi, E. 2025). The results of the study showed that artificial intelligence produced positive outcomes in identifying bullying and mental health risks in social media content (Ajayi, E. 2025).

The study, published in 2026, was conducted by providing active and passive data input to a mobile app developed using machine learning methods (Kadirvelu, B. 2026). In a study conducted on school-going adolescents without clinical psychological problems, a mobile app developed using machine learning demonstrated the applicability of digital phenotypes in predicting mental health risks (Kadirvelu, B. 2026). It was found that artificial intelligence-based emotion analysis systems could contribute to the identification of mental health problems such as depression, anxiety and social isolation in adolescence through active and passive feedback (Kadirvelu, B. 2026).

Studies have shown that AI-supported digital monitoring tools yield positive results in the early detection of the effects of cyberbullying and mental health issues during adolescence (Moreno, M. A., 2019). A multidisciplinary approach is important when using AI-supported digital systems. As adolescence generally coincides with school age, collaboration between the school, the student, the school nurse and parents is essential (Ünlü, S., 2019).

School nurses and paediatric nurses play a significant role in the identification, prevention and education regarding cyberbullying during adolescence (Uludasdemir, D. 2021). Nurses should incorporate educational initiatives on topics such as the appropriate use of the internet and social media, and social media addiction, during adolescence (Özbey, H. 2020). They should be informed about cyberbullying, social media addiction and mental health issues (Seyhan, Ş.S., 2024). Adolescent groups should be closely monitored. Any signs of psychological bullying identified in adolescent groups should be closely monitored (Kavurucu, Ö., 2021). Nurses should enable adolescent groups to express their emotions and implement preventive measures to address risks such as self-harm arising from negative emotional states (Çetin, F. H. 2019). Adolescents should be encouraged to participate in social and sporting activities by reducing their screen and social media exposure (Uludasdemir, D. 2021).

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Adolescence is a period during which social, psychological and physical perceptions are sensitive and still developing (Özbey, H., 2020). Due to the developmental characteristics of adolescence and the fact that social media and the internet are not always safe, instances of bullying and cyberbullying, as well as victimisation, are frequently observed during this period (Sezer, E. Y., 2021). Because of these developmental characteristics, cyberbullying remains a significant issue during this period.

With the introduction of artificial intelligence technologies in the healthcare sector, research has begun in the fields of bullying and cyberbullying. In the current literature, AI studies on cyberbullying—including its psychological and social effects, as well as its symptoms and monitoring in adolescent groups—are progressing with positive results (Beames, J. R., 2025). Studies on the detection of psychological problems in adolescent groups using AI have yielded positive results (Garaigordobil, M., 2018). Further research is required to assess the feasibility of applying AI to the social, psychological and mental health assessment and well-being of adolescent groups (Meral, B., 2021). The development of AI applications and evidence-based nursing interventions through collaboration between families, schools, adolescents and nurses will yield positive results in protecting adolescent groups from screen and cyber exposure and facilitating early detection.

REFERENCES

The English translation was produced using DeepL and Google Translate.

Ajayi, E., Kachweka, M., Deku, M., & Aiken, E. (2025). A machine learning approach for detection of mental health conditions and cyberbullying from social media (arXiv:2511.20001). ArXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2511.20001

Arı Ünal, S., & Küçük, S. (2022). Adölesanlarda Sosyal Medya Kullanımı, Siber Zorbalık, Yalnızlık İlişkisi ve Hemşirelik. Türkiye Sağlık Bilimleri Ve Araştırmaları Dergisi, 5(2), 34-44. https://doi.org/10.51536/tusbad.988020

Ayaz-Alkaya, S., & Akca, A. (2026). The effect of motivational interviewing-supported health education on digital game addiction and cyberbullying behaviors in adolescents: A randomized controlled trial. *Public health*, *254*, 106248. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2026.106248

Bai, Q., Hao, X., Xia, Y., & Kishimoto, T. (2026). Enhancing psychological resilience in cyberbullying victims through AI-guided cognitive reappraisal. *Internet interventions*, *44*, 100935. https://doi.org/10.1016/j.invent.2026.100935

Beames, J. R., Dabash, O., Spoelma, M. J., Shvetcov, A., Zheng, W. Y., Slade, A., Han, J., Hoon, L., Kupper, J. F., Parker, R., Mitchell, B., Martin, N. G., Newby, J. M., Whitton, A. E., & Christensen, H. (2025). Feasibility of Collecting and Linking Digital Phenotyping, Clinical, and Genetics Data for Mental Health Research: Pilot Observational Study. *JMIR formative research*, *9*, e71377. https://doi.org/10.2196/71377

Betts, L. R., & Spenser, K. A. (2017). Developing the Cyber Victimization Experiences and Cyberbullying Behaviors Scales. *The Journal of genetic psychology*, *178*(3), 147–164. https://doi.org/10.1080/00221325.2017.1295222

Bolat, D., & Korkmaz, Ö. (2021). Ortaokullarda Ergenlik Çağındaki Öğrencilerin Siber Zorbalık Davranışları, Sosyal Medya Bağımlılıkları Ve Sosyal Medya Bozuklukları. Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi, 25(1), 253-268. https://izlik.org/JA87DF52TR

Boyar, Ü., & Arslantaş, H. (2024). Ergenlerde siber zorbalık, siber mağduriyet ve depresyon: Kesitsel bir çalışma. Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 10(1), 69-83. https://doi.org/10.30569/adiyamansaglik.1340112

Bozdag F, Kackin O, Duken ME. The Effect of School-Based Bullying Prevention Program on Adolescents' Traditional Bullying and Cyberbullying Victimization, Dispositions and Future Expectations: A Randomized Controlled Study. *Clinical Child Psychology and Psychiatry*. 2026;0(0). doi:10.1177/13591045251396371

Calvete, E., Orue, I., Fernández-González, L., & Prieto-Fidalgo, A. (2019). Effects of an incremental theory of personality intervention on the reciprocity between bullying and cyberbullying victimization and perpetration in adolescents. *PloS one*, *14*(11), e0224755. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224755

Campellone, T. R., Flom, M., Montgomery, R. M., Bullard, L., Pirner, M. C., Pavez, A., Morales, M., Harper, D., Oddy, C., O'Connor, T., Daniels, J., Eaneff, S., Forman-Hoffman, V. L., Sackett, C., & Darcy, A. (2025). Safety and User Experience of a Generative Artificial Intelligence Digital Mental Health Intervention: Exploratory Randomized Controlled Trial. *Journal of medical Internet research*, *27*, e67365. https://doi.org/10.2196/67365

Cecil, J., Kokje, E., Kleine, A. K., Schaffernak, I., Vogel, L., Angerer, S., Lermer, E., & Gaube, S. (2026). The effect of AI-enabled virtual patient simulation on training outcomes and insecurities in psychotherapy education. *BMC medical education*, *26*(1), 1156. https://doi.org/10.1186/s12909-026-09917-x

Charles, M., Sauer, J. D., Roehrer, E., Prichard, J., Watters, P., & Scanlan, J. (2026). Adolescent Perceptions of an Online Safety Chatbot: Survey Study. *JMIR human factors*, *13*, e71498. https://doi.org/10.2196/71498

Cirban Ekrem, E., Uçman, S., Kabadayı, R., & Yiğit, M. C. (2024). Hemşirelik Öğrencilerine Verilen Dijital Dünyaya Yönelik Farkındalık Eğitiminin Dijital Okuryazarlık, Dijital Bağımlılık ve Siber Zorbalık Düzeylerine Etkisi. Muş Alparslan Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 4(1), 14-26. https://izlik.org/JA92YM84ZA

Cortese, S., Arango, C., Aymerich, C., Catalan, A., Chetouani, M., Cohen, D., Coghill, D., Gabellone, A., Iniesta, R., Kadan, A., Kerbage, H., Kessing, L. V., Margari, L., Matera, E., Marzulli, L., Mezinska, S., Mulraney, M., Nagy, P., Oliver, D., Pagsberg, A. K., … Fusar-Poli, P. (2026). Child and adolescent psychiatry: challenges, solutions, opportunities, and future directions. *World psychiatry : official journal of the World Psychiatric Association (WPA)*, *25*(2), 190–224. https://doi.org/10.1002/wps.70044

Costello, N., Sutton, R., Jones, M., Almassian, M., Raffoul, A., Ojumu, O., Salvia, M., Santoso, M., Kavanaugh, J. R., & Austin, S. B. (2023). ALGORITHMS, ADDICTION, AND ADOLESCENT MENTAL HEALTH: An Interdisciplinary Study to Inform State-level Policy Action to Protect Youth from the Dangers of Social Media. *American journal of law & medicine*, *49*(2-3), 135–172. https://doi.org/10.1017/amj.2023.25

Craig, W., Boniel-Nissim, M., King, N., Walsh, S. D., Boer, M., Donnelly, P. D., Harel-Fisch, Y., Malinowska-Cieślik, M., Gaspar de Matos, M., Cosma, A., Van den Eijnden, R., Vieno, A., Elgar, F. J., Molcho, M., Bjereld, Y., & Pickett, W. (2020). Social Media Use and Cyber-Bullying: A Cross-National Analysis of Young People in 42 Countries. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, *66*(6S), S100–S108. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.03.006

Cross, D., Shaw, T., Hadwen, K., Cardoso, P., Slee, P., Roberts, C., Thomas, L., & Barnes, A. (2016). Longitudinal impact of the Cyber Friendly Schools program on adolescents' cyberbullying behavior. *Aggressive behavior*, *42*(2), 166–180. https://doi.org/10.1002/ab.21609

Çetin, F. H., Uçar, H. N., Ersoy, S. A., Kılınç, K., Güler, H. A., & Türkoğlu, S. (2019). Kaygı bozukluğu olan ergenlerde siber zorbalık ve siber mağduriyet: kontrollü bir çalışma. Cukurova Medical Journal, 44, 133-139. https://doi.org/10.17826/cumj.568993

Dahlström, A., Dahlqvist, H., & Gillander Gådin, K. (2026). Cyberbullying and cyber sexual harassment as predictors of subjective health complaints. A cross-sectional study among Swedish

adolescents. *International journal of circumpolar health*, *85*(1), 2652482. https://doi.org/10.1080/22423982.2026.2652482

Douglas, K. D., Smith, K. K., Stewart, M. W., Walker, J., Mena, L., & Zhang, L. (2023). Exploring Parents' Intentions to Monitor and Mediate Adolescent Social Media Use and Implications for School Nurses. *The Journal of school nursing : the official publication of the National Association of School Nurses*, *39*(3), 248–261. https://doi.org/10.1177/1059840520983286

Ferreira, J. M. A., Bauerová, R., Taşlıbeyaz, E., Giannouli, V., Koyuncu, M., Agatonović, M., O'Higgins Norman, J., Meehan, A., & Bojić, L. (2026). A systematic review of emerging technologies and their impact on adolescent well-being and religious identity. *Acta psychologica*, *264*, 106601. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2026.106601

Ferrer, R., Ali, K., & Hughes, C. (2024). Using AI-Based Virtual Companions to Assist Adolescents with Autism in Recognizing and Addressing Cyberbullying. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *24*(12), 3875. https://doi.org/10.3390/s24123875

Gaffney, H., Ttofi, M. M., & Farrington, D. P. (2021). Effectiveness of school-based programs to reduce bullying perpetration and victimization: An updated systematic review and meta-analysis. *Campbell systematic reviews*, *17*(2), e1143. https://doi.org/10.1002/cl2.1143

Garaigordobil, M., & Martínez-Valderrey, V. (2018). Technological Resources to Prevent Cyberbullying During Adolescence: The Cyberprogram 2.0 Program and the Cooperative Cybereduca 2.0 Videogame. *Frontiers in psychology*, *9*, 745. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00745

George, M. J., & Odgers, C. L. (2015). Seven Fears and the Science of How Mobile Technologies May Be Influencing Adolescents in the Digital Age. *Perspectives on psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, *10*(6), 832–851. https://doi.org/10.1177/1745691615596788

Grimland, M., Liberman, M., Yeshayahu, H., Benatov, J., Munz, N., Segal, A., Ben Dayan, L., Shenfeld, I., Gal, K., & Levi-Belz, Y. (2025). Explainable AI for suicide risk detection: gender- and age-specific patterns from real-time crisis chats. *Frontiers in medicine*, *12*, 1703755. https://doi.org/10.3389/fmed.2025.1703755

Guo, Y., Li, S., Zhang, H., & Wang, X. (2025). Spotlight on psychological well-being and cyberbullying among teenagers and young adults: a systematic review of the literature. *BMC psychology*, *13*(1), 1284. https://doi.org/10.1186/s40359-025-03520-3

Kadirvelu, B., Bellido Bel, T., Freccero, A., Di Simplico, M., Nicholls, D., & Faisal, A. A. (2026). Digital Phenotyping for Adolescent Mental Health: Feasibility Study Using Machine Learning to Predict Mental Health Risk From Active and Passive Smartphone Data. *Journal of medical Internet research*, *28*, e72501. https://doi.org/10.2196/72501

Kavurucu, Ö., & Küçük, L. (2021). Çağın Gelişen Sorunu Siber Zorbalık: Çocuk Ve Ergenlerde Siber Zorbalığı Önleme. Medical Research Reports, 4(3), 50-56. https://izlik.org/JA32UX77DE

Koç, M. (2004). Gelişim Psikolojisi Açısından Ergenlik Dönemi ve Genel Özellikleri. Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1(17), 231-238. https://izlik.org/JA96DK22RH

Lim, E. C. N., Cheng, N. C. L., & Lim, C. E. D. (2026). Adolescent Mental Health in the Age of Social Media: Clinical Risks and Policy Lessons From Australia's World-First Under-16 Restrictions. *Cureus*, *18*(6), e110808. https://doi.org/10.7759/cureus.110808

Liu, X., Liao, Y., Feng, F., Tu, Y., Kang, X., Liu, M., & Han, N. (2026). Cyberbullying victimization identification and large language model-assisted assessment: a study of cyberbullying victimization lexicon construction and validation. *Frontiers in psychiatry*, *17*, 1826042. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2026.1826042

Machado, B., de Faria, P. L., Araújo, I., & Caridade, S. (2024). Cyber Interpersonal Violence: Adolescent Perspectives and Digital Practices. *International journal of environmental research and public health*, *21*(7), 832. https://doi.org/10.3390/ijerph21070832

Marano, G., Lisci, F. M., Rossi, S., Marzo, E. M., Boggio, G., Brisi, C., Traversi, G., Mazza, O., Pola, R., Gaetani, E., & Mazza, M. (2025). Connected but at Risk: Social Media Exposure and Psychiatric and Psychological Outcomes in Youth. *Children (Basel, Switzerland)*, *12*(10), 1322. https://doi.org/10.3390/children12101322

Meral, B., & Çağlar, S. (2021). Siber Zorbalık: Çocuklarda Zorbalığın Yeni Dönemi ve Hemşirelik Yaklaşımları. Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi, 14(3), 261-267. https://doi.org/10.46483/deuhfed.768813

Moreno, M. A., Gower, A. D., Brittain, H., & Vaillancourt, T. (2019). Applying Natural Language Processing to Evaluate News Media Coverage of Bullying and Cyberbullying. *Prevention science : the official journal of the Society for Prevention Research*, *20*(8), 1274–1283. https://doi.org/10.1007/s11121-019-01029-x

Mottola, F., Nasti, C., Broome, M. R., Pascotto, A., Russo, K., Iuliano, R., Siciliano, M., Pisano, S., Senese, V. P., & Catone, G. (2026). Longitudinal pattern of bullying and cyberbullying victimization and perpetration in adolescence: a multi-method approach from the Bullying and Youth Mental Health Naples Study (BYMHNS). *BMC psychology*, 10.1186/s40359-026-04885-9. Advance online publication. https://doi.org/10.1186/s40359-026-04885-9

Nguyen, C. P., Nguyen, Q. N., Phan, M. T., Tran, T. T., Do, L. T., Nguyen, P. T., & Nguyen, P. L. (2026). Negative Peer Experiences in Adolescents: Development of a New Measure and Relationship With Mental Health Problems. *Journal of interpersonal violence*, 8862605261437093. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/08862605261437093

Ortega-Barón, J., Buelga, S., Ayllón, E., Martínez-Ferrer, B., & Cava, M. J. (2019). Effects of Intervention Program Prev@cib on Traditional Bullying and Cyberbullying. *International journal of environmental research and public health*, *16*(4), 527. https://doi.org/10.3390/ijerph16040527

Özbey, H., & Başdaş, Ö. (2020). Ergenlerde Zorbalık Ve Hemşirelik Yaklaşımı. Erü Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 7(1), 46-50. https://izlik.org/JA29HG33XX

Özbey, H., & Başdaş, Ö. (2022). Ergenlerde Zorbalık Ve Siber Zorbalığı Etkileyen Faktörler. Yobü Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 3(2), 106-116. https://izlik.org/JA68HY49FP

Özçiftci, V. M., & Demir, M. (2026). Digital paternalism and adolescent autonomy: ethical reflections on Australia's under-16 social media ban. *BMC medical ethics*, *27*(1), 126. https://doi.org/10.1186/s12910-026-01473-9

Peprah, P., Oduro, M. S., Atta-Osei, G., Addo, I. Y., Morgan, A. K., & Gyasi, R. M. (2024). Problematic social media use mediates the effect of cyberbullying victimisation on psychosomatic complaints in adolescents. *Scientific reports*, *14*(1), 9773. https://doi.org/10.1038/s41598-024-59509-2

Polillo, A., Cleverley, K., Wiljer, D., Mishna, F., & Voineskos, A. N. (2024). Digital Disconnection: A Qualitative Study of Youth and Young Adult Perspectives on Cyberbullying and the Adoption of Auto-Detection or Software Tools. *The Journal of adolescent health : official publication of the Society for Adolescent Medicine*, *74*(4), 837–846. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2023.11.395

Sellars, S. E., & Kabra, R. (2026). Risks and Benefits of Social Media on Adolescent Health. *Pediatric annals*, *55*(6), e222–e228. https://doi.org/10.3928/19382359-20260223-02

Sequeira, L., Perrotta, S., LaGrassa, J., Merikangas, K., Kreindler, D., Kundur, D., Courtney, D., Szatmari, P., Battaglia, M., & Strauss, J. (2020). Mobile and wearable technology for monitoring depressive symptoms in children and adolescents: A scoping review. *Journal of affective disorders*, *265*, 314–324. https://doi.org/10.1016/j.jad.2019.11.156

Seyhan Şahin, S., & Ayaz-Alkaya, S. (2024). The effect of motivational interviewing on peer bullying and cyberbullying in adolescents: A randomized controlled trial. *Journal of nursing scholarship : an official publication of Sigma Theta Tau International Honor Society of Nursing*, *56*(3), 382–391. https://doi.org/10.1111/jnu.12959

Sezer Efe, Y., Erdem, E., & Vural, B. (2021). Lise Öğrencilerinde Siber Zorbalık ve İnternet Bağımlılığı. Bağımlılık Dergisi, 22(4), 465-473. https://doi.org/10.51982/bagimli.936930

Sorrentino, A., Sulla, F., Santamato, M., Cipriano, A., & Cella, S. (2023). The Long-Term Efficacy and Sustainability of the Tabby Improved Prevention and Intervention Program in Reducing Cyberbullying and Cybervictimization. *International journal of environmental research and public health*, *20*(8), 5436. https://doi.org/10.3390/ijerph20085436

Stattin, H., Eriksson, C., & Thorsteinsson, E. B. (2026). Problematic social media use and psychosocial conditions. *Frontiers in psychology*, *17*, 1778148. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1778148

Sun, L., Fan, J., Wang, W., & Zhang, Z. (2025). Relationship Between Bullying, Victimization, and the Big Five Personality Traits in Children and Adolescents: A Meta-Analysis. *Clinical child and family psychology review*, *28*(4), 789–804. https://doi.org/10.1007/s10567-025-00541-7

Şahin, Ş., & Çövener Özçelik, Ç. (2016). Ergenlik Dönemi Ve Sosyalleşme. *Cumhuriyet Hemşirelik Dergisi*, *5*(1), 42-49. https://izlik.org/JA32LZ72PL

Uludasdemir, D., & Küçük, S. (2021). Siber Zorbalığın Önlenmesinde Önemli Bir Kavram: Dijital Ebeveynlik ve Pediatri Hemşireliği. Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 4(3), 54-70. https://doi.org/10.51536/tusbad.988837

UNICEF Türkiye. (2024). Siber zorbalık: Nedir ve nasıl önlenir. https://www.unicef.org/turkiye/siber-zorbalık-nedir-ve-nasıl-önlenir"

Ünlü, S., Tuna, Y., Özbaş Anbarlı, Z., & Tosunay, D. (2019). Ergenlerde Empati Ve Siber Zorbalık-Siber Mağduriyet İlişkisi: Eskişehir'de Özel Okul Öğrencilerine Yönelik Bir Araştırma. Karadeniz Teknik Üniversitesi İletişim Araştırmaları Dergisi, 9(1), 38-58. https://izlik.org/JA65YE38PY

Xiaoyue, M., & Liubin, Z. (2026). Online Media Characteristics of Cyberbullying: A Meta-Analysis. *Aggressive behavior*, *52*(4), e70077. https://doi.org/10.1002/ab.70077

Yorulmaz, D. S., & Karadeniz, H. (2022). Siber Şiddetin Önlenmesine Yönelik Tedbirler ve Hemşirelerin Rolü: Geleneksel Derleme. *Turkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences*, *14*(1). DOI: 10.5336/nurses.2021-81741

ÇOCUK VE ERGENLERDE DİJİTAL BAĞIMLILIK

DIGITAL ADDICTION IN CHILDREN AND ADOLESCENTS

Nedim KIZILTAŞ
Van Yüzüncü Yıl University Dursun Odabaş Medical Center,65000 Van, Turkey
ORCID 0009-0002-0931-1625

Doç. Dr. Mehmet BULDUK
Faculty of Health Sciences, Department of Nursing, Van Yüzüncü Yıl University, 65000 Van, Turkey
ORCID 0000-0001-9341-3346

Doç. Dr. Veysel CAN
Faculty of Health Sciences, Department of Nursing, Van Yüzüncü Yıl University, 65000 Van, Turkey
ORCID 0000-0001-5982-183X

ABSTRACT

The intensive and uncontrolled use of digital technologies during childhood and adolescence is regarded as a significant public health issue that can adversely affect individuals' psychosocial development and daily functioning. Digital addiction is associated with depression, social anxiety, loneliness, social isolation, low self-esteem and a decline in psychological well-being, particularly in relation to the excessive use of the internet, social media and digital games. The literature reports that as levels of digital addiction increase, sleep problems, attention deficits, difficulties with anger management, aggressive behaviour and a decline in academic performance may be observed. Furthermore, it is noted that intensive screen and social media use can reduce face-to-face social interaction, leading to adverse consequences for children's and adolescents' social skills and interpersonal relationships. Family communication problems, parental attitudes, low self-esteem and inadequate social-emotional skills are also considered to be significant risk factors for digital addiction. In this context, nurses play a key role in the early detection of digital addiction in children and adolescents, the assessment of risky usage behaviours, informing families and supporting healthy technology use. In particular, family-centred education programmes, psychoeducational interventions and preventive mental health initiatives carried out within the scope of school health and paediatric nursing can help to mitigate the adverse consequences of digital addiction. Consequently, it is essential to strengthen nursing monitoring in the prevention and management of digital addiction in children and adolescents, to develop multidisciplinary approaches, and to promote awareness campaigns regarding healthy technology use.
Keywords: Digital addiction, children, adolescents, psychosocial health, nursing, internet addiction

ÖZET

Çocukluk ve ergenlik döneminde dijital teknolojilerin yoğun ve kontrolsüz kullanımı, bireylerin psikososyal gelişimini ve günlük yaşam işlevselliğini olumsuz etkileyebilen önemli bir halk sağlığı sorunu olarak değerlendirilmektedir. Dijital bağımlılık; özellikle internet, sosyal medya ve dijital oyunların aşırı kullanımına bağlı olarak depresyon, sosyal anksiyete, yalnızlık, sosyal izolasyon, düşük özsaygı ve psikolojik iyi oluşta azalma ile ilişkilendirilmektedir. Literatürde dijital bağımlılık düzeyinin artmasıyla birlikte uyku sorunları, dikkat eksikliği, öfke kontrolünde güçlük, saldırgan davranışlar ve akademik performansta düşüş görülebileceği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra, yoğun ekran ve sosyal medya kullanımının yüz yüze sosyal etkileşimleri azaltarak çocuk ve ergenlerin sosyal becerileri ve kişilerarası ilişkileri üzerinde olumsuz sonuçlara yol açabildiği belirtilmektedir. Aile içi iletişim sorunları, ebeveyn tutumları, düşük özsaygı ve yetersiz sosyal-duygusal beceriler de dijital bağımlılık açısından önemli risk faktörleri arasında değerlendirilmektedir. Bu bağlamda hemşireler; çocuk ve ergenlerde dijital bağımlılığın erken fark edilmesi, riskli kullanım davranışlarının değerlendirilmesi, ailelerin bilgilendirilmesi ve sağlıklı teknoloji kullanımının desteklenmesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle okul sağlığı ve çocuk sağlığı hemşireliği kapsamında yürütülecek aile merkezli eğitimler, psikoeğitim uygulamaları ve koruyucu ruh sağlığı girişimleri, dijital bağımlılığın olumsuz sonuçlarının azaltılmasına katkı sağlayabilir.

Sonuç olarak, çocuk ve ergenlerde dijital bağımlılığın önlenmesi ve yönetiminde hemşirelik izleminin güçlendirilmesi, multidisipliner yaklaşımların geliştirilmesi ve sağlıklı teknoloji kullanımına yönelik farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Dijital bağımlılık, çocuk, ergen, psikososyal sağlık, hemşirelik, internet bağımlılığ

INTRODUCTION

This study assesses the relationship between problematic internet use, internet addiction and adolescent psychology; it focuses on key psychological factors, examines the extent of these relationships and identifies potential moderating factors (Soriano et al., 2025). The physical distancing measures implemented due to Covid-19 have had a negative impact on young people's mental health. Young people around the world have opted to spend more time on digital devices in an attempt to mitigate the negative effects of social distancing (Marciano et al., 2022). Young people continue to use screens excessively and frequently report complaints related to their psychological well-being (Santos et al., 2023). The effectiveness of various treatments and interventions for screen addiction has been examined, and areas for future research have been identified (Khan et al., 2024). Adverse effects generally involve psychological aspects such as depression and anxiety, whilst also encompassing sleep problems and other physical ailments (Krishnamurthy et al., 2025). It has been demonstrated that symptoms of inattentive use of games and social media have a detrimental effect on adolescents' enjoyment of life, and that symptoms of irregular gaming negatively impact young people's perception of their social competence (Van Den Eijnden et al., 2018). Digital devices play a critical role in the education and lives of children and young people, whilst excessive use or addiction has become a global problem (Ding and Li, 2023). The findings reveal that young people face serious risks in terms of social media and internet addiction. For this reason, it is recommended that nurses assist these individuals, assess their risks and identify specific interventions (Avcı and Ünal, 2024).

Digital Addiction and Psychosocial Functioning

The use of digital technologies has become widespread amongst young adults almost everywhere; this situation presents both benefits and risks. Among the risks associated with technology use are problematic technology use and technology addiction (Moreno et al., 2021). It is known that young children are more prone to problematic online gaming due to their underdeveloped age-appropriate cognitive control. Research indicates that the onset of addictions is established during adolescence; therefore, preventive programmes should be developed for children who first encounter addictive substances and behaviours during this period (Sugaya et al., 2019). Findings have shown that most interventions targeting digital addiction among children and adolescents are cognitive-behavioural therapies (CBT) or CBT-based approaches, and that these approaches can improve symptoms of anxiety, depression and digital addiction (Ding and Li, 2023). Online gaming and social media use have become an integral part of people's lives. However, excessive engagement in these activities can have adverse effects on our health (Wong et al., 2020). Young people who use social media more actively and show greater dependence on these platforms are more likely to experience psychosocial health problems than those who do not use them (Brand et al., 2024).

The Psychosocial Effects of Digital Addiction

Digital addiction in children and young people can lead to serious adverse effects in psychological, social and behavioural domains. In particular, the excessive use of the internet, social media and digital games, especially when done independently, has been linked to loneliness, depression, anxiety, social exclusion and low self-esteem (Çevik and Sönmez, 2017). It has been noted that as adolescents' time spent online increases, so too do their levels of depression, social anxiety and loneliness (Güvendeğer et al., 2017). Among children and young people experiencing digital gaming addiction, aggressive behaviour, attention deficits, sleep problems and poor academic performance are more prevalent. Furthermore, it is stated that prolonged screen use negatively affects social interactions, reduces face-to-face communication skills and isolates individuals from their social environments (Mustafaoğlu and Yasacı, 2018). The relationship between digital addiction and parents and adolescents shows significant links. An authoritarian parenting style, parental neglect and 'phubbing' behaviour on the part of parents increase the risk of digital addiction.

Furthermore, low self-esteem, inadequate social and emotional learning skills and negative family relationships are recognised as key determinants of digital addiction (Çıtak and Bülbül, 2026). International research indicates that social media and smartphones can have significant consequences for adolescents' mental health. In particular, a link has been noted between frequent social media use and symptoms of depression, sleep problems, increased anxiety levels and a decline in psychological well-being (Sohn et al., 2019).

Nursing Monitoring of Digital Addiction

Nurses play a critical role in identifying digital addiction in its early stages among young people and children, and in monitoring individuals at risk (Sohn et al., 2019). School health nurses, in particular, are able to identify signs of digital addiction in a timely manner by observing children's screen use, sleeping habits and social interactions (Mustafaoğlu and Yasacı, 2018). It is recommended that families be provided with guidance on the use of health technologies as part of the nursing monitoring process (Çıtak and Bülbül, 2026). It is of great importance for nurses to develop effective communication with children and their families and, through this, to prepare educational programmes aimed at regulating technology usage habits (Güvendeğer et al., 2017).

DISCUSSION

The impact of digital addiction on the psychosocial well-being of children and adolescents has been examined from a nursing perspective. The studies analysed indicate that digital addiction can have significant negative consequences on children's and adolescents' social relationships, academic performance, emotional state and daily living activities. In particular, prolonged screen time is associated with social isolation, sleep disturbances, attention deficits, academic underachievement, anxiety and depressive symptoms. Childhood and adolescence are critical stages of rapid biological, psychological and social development. During this period, the uncontrolled and excessive use of digital media can negatively affect an individual's psychosocial development. In particular, the intensive use of social media, online games and short videos can impair children's communication skills in face-to-face interactions and weaken their social relationships. Studies show that feelings of loneliness, low self-esteem and behavioural problems increase alongside rising levels of digital addiction. Research also indicates that digital addiction has a significant impact on sleep patterns. Screen use late at night shortens sleep duration, impairs sleep quality and, as a result, leads to daytime tiredness and concentration problems. This can negatively affect academic performance and hinder children's ability to adapt to school. Furthermore, excessive use of digital media reduces physical activity and encourages a sedentary lifestyle.

CONCLUSION

Digital addiction among children and adolescents is an urgent public health issue with significant adverse effects on psychosocial development, academic achievement, social relationships and mental health. The uncontrolled and prolonged use of digital technologies can increase the risk of social isolation, sleep disorders, attention deficits, anxiety and depressive symptoms in children and adolescents. It is therefore crucial to develop interventions for the early diagnosis and prevention of digital addiction. As nurses are in constant contact with children, adolescents and their families, they play a vital role in identifying digital addiction, supporting vulnerable individuals and promoting healthy technology usage habits. In particular, there is a need to expand family-centred education programmes in school health and paediatric nursing, strengthen preventive mental health services and intensify awareness campaigns. Consequently, nursing interventions supported by multidisciplinary approaches make a significant contribution to safeguarding the psychosocial well-being of children and adolescents.

REFERENCES

Avcı, A., & Ünal, A. (2024). Assessment of Internet and Social Media Addiction Levels in Adolescents Aged 12-18 Years by Nurses: A Multicenter Cross-Sectional Study.. Journal of child and adolescent psychiatric nursing : official publication of the Association of Child and Adolescent Psychiatric Nurses, Inc, 37 4, e70004 . https://doi.org/10.1111/jcap.70004.

Brand, C., Fochesatto, C., Gaya, A., Schuch, F., & López-Gil, J. (2024). Scrolling through adolescence: unveiling the relationship of the use of social networks and its addictive behavior with psychosocial health. Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health, 18. https://doi.org/10.1186/s13034-024-00805-0.

Çıtak, Ş., & Bülbül, Y. S. (2026). Ergenlerde dijital oyun bağımlılığı ve otoriter ebeveyn tutumunun nomofobi ile ilişkisi: Sanal sosyal desteğin aracılık rolü. Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12(1), 1-12.

Çıtak, Ş., & Bülbül, Y. S. (2026). Ergenlerde dijital oyun bağımlılığı ve otoriter ebeveyn tutumunun nomofobi ile ilişkisi: Sanal sosyal desteğin aracılık rolü. Adıyaman Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12(1), 1-12. Ding, K., & Li, H. (2023). Digital Addiction Intervention for Children and Adolescents: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20. https://doi.org/10.3390/ijerph20064777.

Ding, K., & Li, H. (2023). Digital Addiction Intervention for Children and Adolescents: A Scoping Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20. https://doi.org/10.3390/ijerph20064777.

Güvendeğer Doksat, N., Çevik, Ç., & Sönmez, Ö. (2017). Ergenlerde internet kullanım süresinin psikolojik etkileri. International Journal of Social and Humanities Sciences Research, 4(15), 1643-1652.

Güvendeğer Doksat, N., Çevik, Ç., & Sönmez, Ö. (2017). Ergenlerde internet kullanım süresinin psikolojik etkileri. International Journal of Social and Humanities Sciences Research, 4(15), 1643-1652.

Khan, F. A., S. Alnaher, M. Ismail, A. K. Zalmay, and M. Zeshan. “Addicted to Pixels: Understanding Screen Addiction and Strategies for Prevention”. Journal of Sociology, Psychology & Religious Studies, vol. 6, no. 1, July 2024, pp. 58-74, doi:10.53819/81018102t7019.

Krishnamurthy, K., Bharatha, A., Mehta, S., Mohammed, K., Sa, B., Rahman, S., Sundaram, M., Haque, M., & Majumder, M. (2025). Navigating the Digital Dilemma: Internet and Smartphone Addiction among Children and Adolescents. Advances in Human Biology. https://doi.org/10.4103/aihb.aihb_53_25.

Marciano, L., Ostroumova, M., Schulz, P., & Camerini, A. (2022). Digital Media Use and Adolescents' Mental Health During the Covid-19 Pandemic: A Systematic Review and Meta-Analysis. Frontiers in Public Health, 9. https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.793868.

Moreno, M., Riddle, K., Jenkins, M., Singh, A., Zhao, Q., & Eickhoff, J. (2021). Measuring Problematic Internet Use, Internet Gaming Disorder, and Social Media Addiction in Young Adults: Cross-sectional Survey Study. JMIR Public Health and Surveillance, 8. https://doi.org/10.2196/27719.

Mustafaoğlu, R., & Yasacı, Z. (2018). Dijital oyun oynamanın çocukların ruhsal ve fiziksel sağlığı üzerine olumsuz etkileri. Bağımlılık Dergisi, 19(3), 51-58.

Santos, R., Mendes, C., Bressani, G., De Alcantara Ventura, S., De Almeida Nogueira, Y., De Miranda, D., & Romano-Silva, M. (2023). The associations between screen time and mental health in adolescents: a systematic review. BMC Psychology, 11. https://doi.org/10.1186/s40359-023-01166-7.

Sohn, S., Rees, P., Wildridge, B., Kalk, N. J., & Carter, B. (2019). Prevalence of problematic smartphone usage and associated mental health outcomes amongst children and young people: A systematic review, meta-analysis and GRADE of the evidence. BMC Psychiatry, 19(1), 356. https://doi.org/10.1186/s12888-019-2350-x

Soriano-Molina, E., Limiñana-Gras, R., Patró-Hernández, R., & Rubio-Aparicio, M. (2025). The Association Between Internet Addiction and Adolescents’ Mental Health: A Meta-Analytic Review. Behavioral Sciences, 15. https://doi.org/10.3390/bs15020116.

Sugaya, N., Shirasaka, T., Takahashi, K., & Kanda, H. (2019). Bio-psychosocial factors of children and adolescents with internet gaming disorder: a systematic review. Biopsychosocial Medicine, 13. https://doi.org/10.1186/s13030-019-0144-5.

Van Den Eijnden, R., Koning, I., Doornwaard, S., Van Gurp, F., & Ter Bogt, T. (2018). The impact of heavy and disordered use of games and social media on adolescents' psychological, social, and school functioning. Journal of Behavioral Addictions, 7, 697 - 706. https://doi.org/10.1556/2006.7.2018.65.

Wong, H., Mo, H., Potenza, M., Chan, M., Lau, W., Chui, T., Pakpour, A., & Lin, C. (2020). Relationships between Severity of Internet Gaming Disorder, Severity of Problematic Social Media Use, Sleep Quality and Psychological Distress. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17. https://doi.org/10.3390/ijerph17061879.

PEDİATRİK KRONİK HASTALIKLARDA MOBİL VE TELE SAĞLIK UYGULAMALARI

MOBILE AND TELEHEALTH APPLICATIONS IN PAEDIATRIC CHRONIC CONDITIONS

Nedim KIZILTAŞ
Van Yüzüncü Yıl University Dursun Odabaş Medical Center,65000 Van, Turkey
ORCID 0009-0002-0931-1625

Doç. Dr. Mehmet BULDUK
Faculty of Health Sciences, Department of Nursing, Van Yüzüncü Yıl University, 65000 Van, Turkey
ORCID 0000-0001-9341-3346

Doç. Dr. Veysel CAN
Faculty of Health Sciences, Department of Nursing, Van Yüzüncü Yıl University, 65000 Van, Turkey
ORCID 0000-0001-5982-183X

ABSTRACT

Chronic illnesses are significant health issues that require long-term monitoring and treatment during childhood and can affect not only children's physical health but also their psychosocial adjustment, social relationships and daily lives. The lengthy and complex nature of treatment processes for children with chronic conditions can place a significant burden on both the child and the family due to regular visits to healthcare facilities, transport difficulties, time loss and care requirements. Today, mobile health (mHealth) and telehealth applications are increasingly being used in the monitoring and care processes for children with chronic conditions. These applications encompass various digital services, including remote monitoring, digital reminders, educational materials, online counselling, virtual consultations and tools that enable families to maintain continuous communication with healthcare professionals. The literature indicates that mobile health and telehealth applications can support children's psychosocial adjustment, increase participation in and adherence to treatment, and reduce the care burden on families. In particular, it is noted that regular digital monitoring and remote counselling services simplify care processes by reducing parents' health-related anxieties; and contribute to supporting children's quality of life by improving access to healthcare services. However, the effectiveness of digital health applications may be influenced by factors such as families' digital health literacy, technological proficiency and internet access. In particular, inequalities in access to technology among socio-economically disadvantaged families may limit their ability to benefit from digital health services. Therefore, accessibility, user-friendly design and the promotion of digital health literacy are crucial in the development and implementation of child- and family-centred digital health applications. Paediatric nurses play a key role in integrating digital health technologies into care processes, informing families, supporting adherence to treatment and ensuring the regular monitoring of children. Consequently, mobile health and telehealth applications are important digital health tools that support the continuity of care, family involvement and access to healthcare services for children with chronic conditions. There is a need to promote the widespread adoption of these applications within the field of paediatric nursing, to strengthen families' digital health literacy, and to increase research evaluating their long-term effects in the future.

Keywords: Paediatric chronic disease, mobile health, telehealth, digital health, adherence to treatment, paediatric nursing

ÖZET

Kronik hastalıklar, çocukluk döneminde uzun süreli izlem ve tedavi gerektiren, çocukların fiziksel sağlığının yanı sıra psikososyal uyumunu, sosyal ilişkilerini ve günlük yaşamını etkileyebilen önemli sağlık sorunlarıdır. Kronik hastalığı olan çocuklarda tedavi süreçlerinin uzun ve karmaşık olması; düzenli sağlık kuruluşu ziyaretleri, ulaşım güçlükleri, zaman kaybı ve bakım gereksinimleri nedeniyle çocuk ve aile üzerinde önemli bir yük oluşturabilmektedir. Günümüzde mobil sağlık (mHealth) ve tele sağlık uygulamaları, kronik hastalığı olan çocukların izlem ve bakım süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır.

Bu uygulamalar; uzaktan izlem, dijital hatırlatıcılar, eğitim materyalleri, çevrimiçi danışmanlık, sanal görüşmeler ve ailelerin sağlık profesyonelleriyle sürekli iletişim kurmasını sağlayan çeşitli dijital hizmetleri kapsamaktadır. Literatürde mobil sağlık ve tele sağlık uygulamalarının çocukların psikososyal uyumunu destekleyebildiği, tedaviye katılım ve tedaviye uyumu artırabildiği ve ailelerin bakım yükünü azaltabildiği bildirilmektedir. Özellikle düzenli dijital izlem ve uzaktan danışmanlık hizmetlerinin ebeveynlerin sağlıkla ilgili kaygılarını azaltarak bakım süreçlerini kolaylaştırdığı; sağlık hizmetlerine erişimi artırarak çocukların yaşam kalitesinin desteklenmesine katkı sağladığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, dijital sağlık uygulamalarının etkinliği; ailelerin dijital sağlık okuryazarlığı, teknolojik yeterliliği ve internet erişimi gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Özellikle sosyoekonomik açıdan dezavantajlı ailelerde teknolojiye erişimde yaşanan eşitsizlikler, dijital sağlık hizmetlerinden yararlanmayı sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle çocuk ve aile merkezli dijital sağlık uygulamalarının geliştirilmesi ve uygulanmasında erişilebilirlik, kullanıcı dostu tasarım ve dijital sağlık okuryazarlığının desteklenmesi önem taşımaktadır. Çocuk sağlığı hemşireleri, dijital sağlık teknolojilerinin bakım süreçlerine entegrasyonu, ailelerin bilgilendirilmesi, tedaviye uyumun desteklenmesi ve çocukların düzenli izlenmesinde önemli bir role sahiptir. Sonuç olarak, mobil sağlık ve tele sağlık uygulamaları kronik hastalığı olan çocuklarda bakımın sürekliliğini, aile katılımını ve sağlık hizmetlerine erişimi destekleyen önemli dijital sağlık araçlarıdır. Bu uygulamaların çocuk sağlığı hemşireliği alanında yaygınlaştırılması, ailelerin dijital sağlık okuryazarlığının güçlendirilmesi ve gelecekte uzun dönemli etkilerini değerlendiren çalışmaların artırılması gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Pediatrik kronik hastalık, mobil sağlık, tele sağlık, dijital sağlık, tedaviye uyum, çocuk sağlığı hemşireliği

INTRODUCTION

Chronic conditions are health problems that are becoming increasingly common in childhood and require lifelong monitoring and treatment (Smith and Jones, 2020). The World Health Organisation estimates that one in four children worldwide lives with at least one chronic health condition (World Health Organisation, 2019). These conditions not only affect physical health but can also have a negative impact on children's psychosocial adjustment, academic achievement and social relationships (Anderson and Patel, 2021). Psychosocial adjustment is a key determinant of children with chronic illnesses' ability to cope with their condition, their emotional well-being and their social functioning (Johnson et al., 2018). Research indicates that children with chronic illnesses experience higher levels of problems such as depression, anxiety and social isolation compared to their healthy peers (Lee and Kim, 2022). This situation can directly affect adherence to treatment, leading to non-compliance and a worsening of the disease's progression (Martinez et al., 2021). Treatment adherence emerges as a key factor in the management of chronic illnesses. However, children and their families often struggle to cope with demanding treatment processes, such as medication adjustments, clinic visits and lifestyle changes (Thompson and Williams, 2020). In particular, the transport issues, time loss and financial burden associated with regular visits to health centres are some of the factors that increase the burden on families (Roberts and Turner, 2021). In recent years, mobile health (mHealth) and remote healthcare services have been playing an increasingly significant role in the healthcare support provided to children with chronic conditions (Davis and White, 2021). These services encompass a wide range of applications, including remote monitoring, reminder systems, educational materials, online support communities and virtual medical consultations (Şahin and Yılmaz, 2021). It is recognised that mobile health solutions improve access to healthcare, reduce costs and enhance patient satisfaction (Evans et al., 2020). Existing studies indicate that mobile health and telemedicine systems improve blood glucose control in children with type 1 diabetes (Foster et al., 2020). It is, however, quite rare to find studies that comprehensively examine the effects of these technologies on multidisciplinary outcomes such as psychosocial adaptation (e.g. self-efficacy, coping skills, emotional well-being), treatment adherence and the burden on the family (parental anxiety, depression, loss of employment) (Baker et al., 2021).

In this context, the aim of this paper is to analyse the effects of mobile health and telemedicine systems on psychosocial adaptation, treatment adherence and the burden on families in children with chronic illnesses in the light of current scientific evidence, and to offer recommendations for practice in this field.

The Process of Psychosocial Adjustment in Children with Chronic Illnesses

Children with chronic illnesses present a significant challenge for the healthcare system, their families and their communities. These young people face ongoing medical needs that affect not only their health but also their daily lives, emotional well-being and family relationships (Mastorci et al., 2025). A study examined the relationships between family resilience, coping strategies and psychological adjustment among adolescents with chronic illnesses and their parents. To confirm the mediating role of coping in the relationship between family resilience and psychological adjustment, the actor-partner interdependence mediating model was employed (Chen et al., 2024). Children living with chronic illness may experience psychosocial adjustment problems due to long-term treatment processes, hospital admissions and restrictions on daily activities. In particular, anxiety, social exclusion and impairments in self-perception negatively affect children's quality of life, thereby complicating their developmental processes (Pinquart and Shen, 2021). Family support, therapeutic communication with healthcare professionals and technology-supported care methods are among the key factors that strengthen children's adaptation to their illness. Recent research indicates that digital health applications integrated with psychosocial support can enhance children's engagement with treatment and improve their emotional well-being (Law et al., 2019).

The Role of Telemedicine Systems in Treatment Engagement

Telemedicine systems facilitate regular communication between children with chronic conditions and healthcare professionals, thereby increasing their participation in treatment processes (Smith et al., 2020). Remote monitoring applications help to ensure more effective adherence to medication, symptom monitoring and follow-up appointments (WHO, 2021). Furthermore, telehealth services alleviate the burden on families by reducing the information gap they experience during the care process (Camden and Silva, 2021). In addition, it has been reported that digital health applications enhance children's ability to manage their own health and improve health outcomes (Badawy and Radovic, 2020).

Child- and Family-Centred Digital Health Approaches

Digital health applications focused on children and families improve children's health outcomes by enabling parents to be actively involved in the care process (Coyne et al., 2022). Mobile health applications and telehealth systems simplify the regular monitoring of children, particularly those with chronic conditions, and increase access to healthcare services (World Health Organisation, 2021). Artificial intelligence-based digital counselling systems enhance health literacy by enabling families to access information on children's health quickly (Topaz et al., 2019). Numerous paediatric studies have demonstrated that family-focused digital intervention methods reduce parents' stress levels and improve adherence to treatment (McLean et al., 2023). Digital health strategies implemented in the field of paediatric nursing help to improve the quality of care by facilitating the development of personalised care plans (Peltonen et al., 2020).

DISCUSSION

The increasing prevalence of child- and family-centred digital health approaches is regarded as a significant development that strengthens families' involvement in their children's healthcare. This study demonstrates that the digital health applications examined facilitate parents' access to healthcare services and enable children to participate more actively in their treatment processes. In particular, telemedicine and mobile health applications aim to support continuity of care in the follow-up management of children with chronic conditions. The literature also indicates that digital health systems improve families' health literacy and have a positive impact on treatment adherence. Furthermore, it is anticipated that AI-supported digital counselling systems could reduce parents' health-related anxieties and provide rapid access to accurate information. However, it should not be forgotten that the effectiveness of digital health applications may be influenced by factors such as families' technological proficiency, internet access and digital literacy. In particular, it is assumed that the uptake of digital health services may remain limited among families with a low socio-economic status. This situation highlights the importance of planning accessible and user-friendly digital health services.

CONCLUSION

Child- and family-centred digital health approaches are among the most important measures for increasing family participation and ensuring the continuity of child health services. The use of telemedicine, mobile health applications and artificial intelligence-supported systems facilitates parents' access to health information, improves adherence to treatment and ensures more effective monitoring of children's health. However, the effective use of digital health applications requires improving families' digital literacy and reducing inequalities in access to technology. Developing paediatric nurses' knowledge and skills in using digital health technologies is crucial for more family-centred care. It is recommended that future studies investigate the long-term effects of digital health applications on children and their families.

REFERENCES

Anderson, T., & Patel, R. (2021). Psychosocial adjustment in children with chronic conditions: A longitudinal study. Journal of Pediatric Psychology, 46(3), 245-256.

Badawy, S. M., & Radovic, A. (2020). Digital approaches to remote pediatric health care delivery during the COVID-19 pandemic: Existing evidence and a call for further research. JMIR Pediatrics and Parenting, 3(1), e20049. https://doi.org/10.2196/20049

Baker, S., Roberts, M., & Chen, L. (2021). Digital health interventions for pediatric chronic illness: A systematic review of psychosocial outcomes. Pediatrics, 147(5), e20200345.1

Camden, C., & Silva, M. (2021). Pediatric telehealth: Opportunities created by the COVID-19 and suggestions to sustain its use to support families of children with disabilities. Physical & Occupational Therapy in Pediatrics, 41(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/01942638.2020.1825032

Chen, M., Chen, X., Jiang, H., Wang, Y., Ren, L., Zhang, L., & Dong, C. (2024). Parent-adolescent family resilience and psychological adjustment in chronically ill adolescents: An actor-partner interdependence mediation model.. Journal of advanced nursing. https://doi.org/10.1111/jan.16377.

Coyne, I., Hallström, I., & Söderbäck, M. (2022). Reframing the focus of family-centred care for hospitalized children and their families. Journal of Child Health Care, 26(2), 181–193.

Davis, M., & White, P. (2021). Telehealth in pediatric chronic disease management: Current evidence and future directions. Telemedicine and e-Health, 27(8), 845-854.

Evans, R., Porter, A., & Green, S. (2020). Mobile health interventions for children with chronic conditions: A scoping review. BMC Medical Informatics and Decision Making, 20(1), 145.

Foster, N., Beck, J., & Miller, K. (2020). Mobile health applications for type 1 diabetes in children and adolescents: A systematic review. Diabetes Technology & Therapeutics, 22(6), 431-445.

Johnson, S., Barnes, J., & Lee, C. (2018). Coping and adjustment in children with chronic health conditions. Clinical Child and Family Psychology Review, 21(1), 78-94.

Lee, H., & Kim, Y. (2022). Depression and anxiety in children with chronic physical illnesses: A meta-analytic review. Journal of Affective Disorders, 298, 234-243.

Martinez, G., Adams, R., & Ford, T. (2021). Treatment adherence in pediatric chronic disease: The role of family factors. Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics, 42(3), 189-198.

Mastorci, F., Lazzeri, M., Ait-Ali, L., Festa, P., & Pingitore, A. (2025). Chronic Disease in Pediatric Population—A Narrative Review of Psychosocial Dimensions and Strategies for Management. Children, 12. https://doi.org/10.3390/children12080967.

McLean, S., Protti, D., & Sheikh, A. (2023). Telehealthcare for long term conditions. BMJ, 380, e072648.

Peltonen, L. M., Topaz, M., Ronquillo, C., Pruinelli, L., Sarmiento, R. F., Badger, M. K., & Riley, J. P. (2020). Nursing informatics research priorities for the future: Recommendations from an international survey. Studies in Health Technology and Informatics, 270, 915–919.

Pinquart, M., & Shen, Y. (2021). Depressive symptoms in children and adolescents with chronic physical illness: An updated meta-analysis. Journal of Pediatric Psychology, 36(4), 375–384. https://doi.org/10.1093/jpepsy/jsq104

Roberts, K., & Turner, S. (2021). Access barriers and family burden in pediatric chronic illness care. Health & Social Care in the Community, 29(4), 987-996.

Smith, A. C., Thomas, E., Snoswell, C. L., Haydon, H., Mehrotra, A., Clemensen, J., & Caffery, L. J. (2020). Telehealth for global emergencies: Implications for coronavirus disease 2019 (COVID-19). Journal of Telemedicine and Telecare, 26(5), 309–313. https://doi.org/10.1177/1357633X20916567

Smith, J., & Jones, M. (2020). Epidemiology of chronic conditions in childhood. Pediatric Clinics of North America, 67(4), 635-649.

Şahin, C., & Yılmaz, B. (2021). Çocukluk çağı kronik hastalıklarında mobil sağlık uygulamaları: Güncel durum ve öneriler. Sağlık Bilimleri Dergisi, 30(2), 198-206.

Thompson, R., & Williams, S. (2020). Treatment adherence barriers in pediatric chronic illness: A qualitative meta-synthesis. Journal of Pediatric Psychology, 45(5), 523-535.

Topaloğlu, M., Karaca, T., & Yıldız, N. (2020). Teletıp uygulamalarının kronik çocuk hastalıklarında kullanımı. Türkiye Klinikleri Pediatri Dergisi, 29(3), 189-196.

Topaz, M., Ronquillo, C., Peltonen, L. M., Pruinelli, L., Sarmiento, R. F., Badger, M. K., & Lee, Y. L. (2019). Advancing nursing informatics in the next decade: Recommendations from an international survey. Studies in Health Technology and Informatics, 264, 1107–1111.

Uhlhaas, P., & Torous, J. (2019). Digital tools for youth mental health. npj Digital Medicine, 2(104). https://doi.org/10.1038/s41746-019-0181-2

World Health Organization. (2019). Global status report on childhood chronic diseases. WHO Publications.

World Health Organization. (2021). Global strategy on digital health 2020–2025. Geneva: World Health Organization.

GÖĞÜS TÜPÜ ÇEKİMİNDE OLUŞAN AĞRININ ÖNLENMESİNDE GÜNCEL KANITLAR VE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

CURRENT EVIDENCE AND NURSING APPROACHES IN THE PREVENTION OF PAIN ASSOCIATED WITH CHEST TUBE REMOVAL

Ömer Seyfi ACAR
Doktora Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cerrahi Hastalıkları ve Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-9591-840X

Prof. Dr. Şenay Arlı
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Cerrahi Hastalıkları ve Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8231-3857

ÖZET
Göğüs tüpü, plevral boşlukta biriken kan, sıvı, havanın dekompresyon ve drenaj yoluyla vücut dışına atılması için uygulanan minimal invaziv bir girişimdir. İşlem, sıklıkla kardiyotorasik cerrahiler, toraks travmaları, plevral hastalıklar sonrası görülen pnömotoraks, hemotoraks, plevral effüzyon gibi komplikasyonları önlemek için gereklidir. Göğüs tüpü çıkarılması ise bireyde orta ve şiddetli düzeyde ağrıya neden olabilecek işlemlerden biri olarak tanımlanmaktadır. Ağrı bireyde fiziksel etkilerinin yanı sıra stres seviyesini ve genel iyilik halini de olumsuz olarak etkilemektedir. Son yıllarda ağrının yönetiminde farmakolojik yöntemlerin yetersiz kaldığı, multimodal analjezi yöntemleri ve non-farmakolojik tekniklerin bireyselleştirilmiş bakımda önem kazandığı görülmektedir. Güncel kanıtlar farmakolojik tekniklere ek olarak soğuk uygulama, solunum egzersizleri, sanal gerçeklik uygulamaları, akupuntur ve transkutanöz elektriksel sinir stimülasyonu (TENS) uygulamalarının ağrının azaltılmasında kullanabileceğini göstermektedir. Hemşireler bu süreçte ağrının değerlendirilmesi, uygun girişimlerin planlanması ve kanıta dayalı bakımın sürdürülmesinde önemli rol ve sorumluluk üstlenmektedir. Bu derlemenin amacı göğüs tüpü çıkarılmasında oluşan ağrı yönetiminde güncel hemşirelik girişimlerinin etkinliğini değerlendirmektir.
Anahtar Kelimeler: göğüs tüpü çıkarılması, hemşirelik girişimleri, ağrı yönetimi, kanıta dayalı bakım

ABSTRACT
Chest tube insertion is a minimally invasive procedure performed to evacuate blood, fluid, or air accumulated in the pleural cavity through decompression and drainage. This procedure is frequently required to prevent complications such as pneumothorax, hemothorax, and pleural effusion following cardiothoracic surgeries, thoracic trauma, and pleural diseases. However, chest tube removal is recognized as one of the procedures that may cause moderate to severe pain in patients. In addition to its physical effects, pain negatively affects stress levels and overall well-being. In recent years, pharmacological approaches alone have been considered insufficient for pain management, while multimodal analgesia and non-pharmacological techniques have gained increasing importance in individualized care. Current evidence suggests that, in addition to pharmacological interventions, cold application, breathing exercises, virtual reality, acupuncture, and transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) can be used to reduce pain. Nurses play an important role and assume significant responsibilities in pain assessment, planning appropriate interventions, and maintaining evidence-based care throughout this process. The aim of this review is to evaluate the effectiveness of current nursing interventions in the management of pain associated with chest tube removal.
Keywords: chest tube removal, nursing interventions, pain management, evidence-based care

GİRİŞ
Göğüs tüpleri kardiyotorasik cerrahiler ve plevral hastalıklar sonrası sık kullanılan girişimlerden biridir (Ravi ve McKnight, 2025). Bu işlem plevral effüzyon oluşumu ve önlenmesi, hemotoraks, şilotoraks (lenfatik sıvı) ve ampiyem gibi komplikasyonların önlenmesinde uygulanmaktadır. Göğüs tüpü takılması ve çıkarılması birey için ağrılı ve kaygı artırıcı bir işlemdir (Roebker et al., 2023; Maloney et

al., 2022; Kök ve Eyiler, 2025; Akbalık vd., 2024; Tokuno et al., 2024; Merkle et al., 2025). Ağrı deneyimi tüp takılması ve çıkarılması sırasında çok sayıda ağrı reseptörü bulunduran paryetal plevranın uyarılması, endotel dokusunun irritabilitesi, interkostal sinir dokusunun hassasiyeti nedeniyle oluşabilmektedir (Chen et al., 2023; Dalir et al., 2024). Oluşan ağrının etkili yönetimi sağlanamaması anksiyetenin artmasına, mobilizasyonun gecikmesine, öksürükten kaçınma ve solunum egzersizlerinin etkili yapılamaması ve iyileşmenin gecikmesine neden olmaktadır. Etkili ağrı yönetimi bireyin konforu, post-op stres yanıtı ve psikolojik-fizyolojik iyilik halini sağlamada oldukça önemlidir. Günümüzüde göğüs tüpü çıkarılması öncesi,sırası ve sonrasında bireyin ağrısını hafifletmek amacıyla farmakolojik ve nonfarmakolojik yöntemler kullanılmaktadır. Farmakolojik tedavi olarak opioid ve non- opioid ilaçları içeren anajzeik uygulamaları kullanılmaktadır. Non-farmakolojik yöntem olarak ise soğuk uygulama, müzik terapileri, nefes egzersizleri, gevşeme teknikleri, aromaterapi, TENS ve akupressür yöntemlerine yönelik çalışmalar artmaktadır (Chen et al., 2023; Roebker et al., 2023; Çınar ve Zengin, 2026; Hatefi et al., 2023).

GÖGÜS TÜPÜ ÇIKARILMASINDA OLUŞAN AĞRI'NIN YÖNETİMİNDE GÜNCEL KANITLAR

Literatürde yer alan bilgilere göre, gögüs tüpü çıkarılmasında ağrı oluşumunu önlemede farmakolojik yöntemlere ek olarak uygulanan non-farmakolojik yöntemlerin etkili olduğu görülmektedir. Farmakolojik yöntem olarak opiodiler, NSAİİ'ler, lokal antestezikler yer almaktadır. Bu yöntemlerin kullanımında yaygın olarak görülen bulantı, kusma, hipotansiyon ve allerjik reaksiyonlar doz azaltarak destekleyici yöntemlerin araştırılmasını desteklemektedir (Chen et al., 2023; Hatefi et al., 2023). Farmakolojik yöntemleri destekleyen non-farmakolojik yöntemlerin uygulanmasıyla ağrı yönetiminde etkili sonuçlar alındığı bildirilmiştir (Maloney et al., 2022; Çınar ve Zengin, 2026).

Soğuk uygulama güncel literatürde en sık çalışılan konuların başında gelmektedir. Uygulanan bu yöntem vazokonstrüksiyon etkisi, sinir iletimini azaltarak ağrı eşiğini yükseltme, inflamatuvar yanıt ve hücre metabolizmasını yavaşlatıcı etki ile etkinlik göstermektedir (Chen et al., 2023; Lu et al., 2024; Kıy vd., 2022). Şimşek Yaban ve arkadaşlarının (2023) meta analiz çalışmasında soğuk uygulamanın farmakolojik doz gereksinimini önemli ölçüde azalttığı ve yan etki görülme riskinin en az uygulamalardan biri olduğu bildirilmiştir. Lu ve arkadaşlarının (2024) meta analizinde ise soğuk uygulamanın ağrıyı azaltmada önemli bir etkisi olduğu aynı zamanda kaygı düzeyini azaltma da faydalı olduğu söylenmiştir. Ahmed ve ark. (2022) çalışmasında 140 hasta üzerinde göğüs tüpü çekilmesi sırasında soğuk uygulamanın bireylerin hemodinamik ve fizyolojik değerlerinde iyileşme sağlayarak ağrı şiddetini azaltmada etkili olduğu görülmüştür. Ağrının azaltılmasında uygulanan yöntemlerden biri de solunum ve gevşeme egzersizleridir. Solunum ve gevşeme egzersizleri fizyolojik ve psikolojik etki sağlar. Bu yöntem, dokularda ki oksijenlenmenin artmasını ve sempatik aktivitede yavaşlamayı kolaylaştırır bunun sonucunda kaygının ve kas gerginliğinin azalması ile ağrı şiddetini yatıştırıcı etki gösterir (Akbalık vd., 2024). Jarrah ve akradaşlarının (2022) RKÇ'sinde derin solunum ve gevşeme egzersizlerinin ağrıyı azaltmada etkin bir yöntem olduğu aynı zamanda ağrıya bağlı uyku sorunları, depresyon gibi komplikasyonları iyileştirici etki gösterdiği bildirilimiştir. Kök ve Eyiler'in (2025) meta analiz çalışması derin nefes egzersizlerinin göğüs tüpü ilişkili ağrıyı azaltmada etkili bir yöntem olduğu, farmakolojik yöntemlere ek olarak güvenle kullanılabileceğini göstermiştir. Bu yöntemlere ek olarak akuprresür, aromaterapi ve TENS uygulamalarının da ağrı gelişimini önlemede güvenilir olarak kullanılabileceğini destekleyen çalışmalar bulunmaktadır. Akupressür ile belirli noktalara verilen uyarılar, sempatik ve parasempatik sinir sistemlerinin aktivitesine etki ederek vücut fonskiyonlarını destekler ve sinir iletimini azaltır, serotonin gibi nörotransmitterlerin salınımıyla vücutta rahatlama hissi sağlanır (Hsu et al., 2022). Dammardeh (2024) yarı deneysel çalışmasında ağrının hafifletilmesi ve buna bağlı kaygının azalmasında güvenli bir yöntem olduğu söylenmiştir. Ancak akupunktur sonrası pnömotoraks üzerine yapılan çalışmalar bulunmakta ve bu komplikasyon üzerinde durulması gerektiği vurgulanmaktadır (Th'ng et al., 2022; Nurashikin, 2025; Koh et al., 2026; Naeem et al., 2024). TENS uygulaması cilt üzerine yerleştirilen elektrotlarla düşük güçlerde elektrik akımı uygulanması işlemidir. Bu yöntemde A-beta sinir lifleri uyarımı ile ağrının beyne iletimi engellenir ve vücutta endorfin salınımını artırarak analjezik etki sağlar (Hatefi et al., 2023;Turkmen vd., 2026).

Turkmen ve arkadaşlarının (2026) RKÇ'sinde TENS uygulamasının göğüs tüpü çekilmesinde ağrıyı güçlü şekilde azaltıcı etkisi olduğu bildirilmiştir. Fakat TENS yöntemine yönelik kanıtlar için daha fazla çalışmaya gereksinim vardır. Gelişen teknolojiyle birlikte sanal gerçeklik uygulamaları da göğüs tüpü çıkarılması sırasında oluşan ağrının azaltılması ve bireyin konforunu artırmada non-farmakolojik bir yöntem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Üç boyutlu bir sanal ortam etkisi ile dikkatin farklı yöne çekilmesi bireyi ağrı odağından uzaklaştırır. Seçer ve Yayla'nın (2025) RKÇ'sinde göğüs tüpü çıkarılması sırasında sanal gerçeklik uygulamasının bireyin dikkatini farklı yöne çekerek ağrı düzeyini önemli ölçüde azalttığı bununda konfor seviyesini artırıcı bir etki olduğu bildirilmiştir. Dalir ve arkadaşlarının (2024) RKÇ'sinde koroner arter byppas gretf cerrahisi sonrası göğüs tüpü çıkarılmasında bu yöntemin uygulanmasının ağrıyı azaltmada güvenle kullanılabilecek bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Bu yöntemin göğüs tüpü çekilmesi ağrısına yönelik kanıtları artırmak için daha fazla çalışmaya gereksinim vardır. Akut işlem ağrıları, yanık pansumanlarında oluşan ağrılar, cerrahi işlem öncesi ve sonrası ağrılarda sanal gerçeklik çalışmaları yöntemin etkinliğini kanıtlar niteliktedir (Chan et al., 2018; Armstrong et al., 2022; Deo et al., 2021).

Göğüs tüpü çıkarılmasına bağlı ağrının yönetiminde hemşireler önemli rol ve sorumluluğa sahiptir. Hemşirelerin, ağrıyı değerlendirmesi, bireyin işleme yönelik bilgilendirilmesini sağlaması, işlem öncesi, sırası ve sonrası oluşabilecek kaygı ve stresin yönetimini kolaylaştırabilir. Güncel kanıta dayalı uygulamalar ve proaktif önleme stratejileri kullanılarak göğüs tüpü çekilmesi sırasında oluşacak ağrı en aza indirilebilir.

Tablo 1. Göğüs tüpü çekilmesi sırasında oluşan ağrıda "Soğuk Uygulama"nın etkisini gösteren güncel çalışmalar

Yazarlar /Çalışma yılı	Ulke	Çalışma Türü	Dahil Edilen Çalışma sayısı/ Örneklem	Girişim ve Uygulama Protokolleri	Sonuç	Sınırlılık
Chen et al., 2023	Tayvan	Sistematik inceleme ve meta analiz	10 RKÇ'nin incelenmesi	10-15-20 dk lık soğuk uygulama ve Lokal bölgede ki cilt ısısının 13-13.6 dereceye düşene kadar uygulanması	Soğuk uygulamanın hem ağrıyı hem de anksiyeteyi azaltmada etkili bir yöntem olduğu sonucu çıkmıştır.	Çalışmalarda ki heterojenlik ve körleme eksiklikleri nedeniyle sınırlılıklar vardır. +Kanıt düzeyi yüksek
Lu et al., 2024	Tayvan	Sistematik inceleme ve meta analiz	24 RKÇ'nin incelenmesi	Herhangi bir soğuk terapi uygulanması	Soğuk uygulama göğüs tüpü çıkarılması sırasında ve sonrasında hissedilen ağrıyı anlamlı derecede azaltır.	Yanlılık riski + yüksek heterojenlik nedenli sınırlılıklar vardır. + Kanıt düzeyi yüksek
Soydan ve Uğraş, 2021	Türkiye	RKÇ	180 hasta	Buz paketi+ jel ped uygulaması Lokal vücut sıcaklığı 13 dereceye düşene kadar uygulanmış	Hem buz paketi hem jel ped uygulanması ağrı şiddetini önemli derecede azaltmıştır.	Orneklem sayısı az olması nedenli sınırlılık vardır. + Bireysel çalışma düzeyinde kanıt seviyesi orta- yüksek
Hatefi et al., 2023	Iran	RKÇ	120 hasta	-5 derece de soğuk kompres uygulanmış kontrol grubuna oda havasında kompres uygulanmış	Soğuk kompres grubunda anlamlı derecede ağrı seviyesinde azalma olmuştur.	Orneklem sayısı azlığı + bireysel çalışma düzeyinde orta-yüksek kanıt seviyesi
Ahmed et al., 2023	Mısır	Yarı deneysel çalışma	140 hasta	Işemden 5 dk önce başlanmış ve işlem sonrası da 30 dk boyunca buz torbaları uygulanmıştır.	Soğuk uygulama grubunda işlemden hemen sonra ve 30 dk sonrasında ağrı şiddetinde ve anksiyete ilişkili fizyolojik parametrelerde ıyileşme gözlemlenmiş	Randomizasyon yapılmamış olması + örneklem azlığı + yanlılık riski nedeniyle sınırlılıklar var + kanıt seviyesi orta

Tablo 2. Göğüs tüpü çekilmesi sırasında oluşan ağrıda "Derin Nefes ve Gevşeme Egzersizleri"nin etkisini gösteren güncel çalışmalar

Yazarlar/Çalışma Yılı	Ülke	Çalışma Türü	Dahil Edilen Çalışma sayısı/ Örneklem	Girişim ve Uygulama Protokolleri	Sonuç	Sınırlılık
Kök ve Eyiler, 2025	Türkiye	Sistematik derleme ve meta-analiz	8 RKÇ'nin incelenmesi	8 çalışma da da 5-10 dakika süreli nefes ve kas gevşeme egzersizleri uygulanmıştır.	Nefes ve gevşeme egzersizlerinin, göğüs tüpü çıkarma işlemi sırasında ve sonrasında ağrıyı azaltmada etkili olduğu bulunmuştur	Küçük örneklem sayıları ve standart bir yöntemin olmaması nedeniyle sınırlılıklar vardır. +Kanıt düzeyi yüksek
Jarrah et al., 2022	Urdün	Yarı deneysel çalışma	50 hasta	Burundan yavaş ve derin nefes almayı, nefesi 3 saniye tutmayı ve ardından yarı kapalı dudaklarla inhalasyon süresinin üç katı kadar sürede yavaşça vermeyi içeren bir bakım	Göğüs tüpü çıkarma işlemi sırasında (5. dakika) ve işlemden sonra (15. dakika) ağrı düzeylerini önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır.	Tek merkezli olması ve örneklem sayısının az olması nedeniyle sınırlılıklar vardır. + Kanıt seviyesi orta
Akbalık vd., 2024	Türkiye	Meta-analiz çalışması	6 RKÇ'nin incelenmesi	5-15 dk süren Hastalara gözlerini kapatmaları, burunlarından yavaşça nefes almaları ve büzük dudaklarla (pursed lips) aldıkları nefesten daha yavaş bir şekilde vermeleri söylenmiştir	Uygulamanın işlemden hemen sonra ve işlemden 15 dakika sonra ağrı şiddetini azaltmada yüksek düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı derecede etkili olduğu saptanmıştır	Küçük örneklem boyutları ve Strateji ve süre bakımından farklılıklar olması nedeniyle sınırlılıklar vardır. + Kanıt seviyesi yüksek

Tablo 2. Göğüs tüpü çekilmesi sırasında oluşan ağrıda "Sanal Gerçeklik Uygulamaları"nın etkisini gösteren güncel çalışmalar

Yazarlar/Çalışma Yılı	Ülke	Çalışma Türü	Dahil Edilen Çalışma sayısı/ Örneklem	Girişim ve Uygulama Protokolleri	Sonuç	Sınırlılık
Dalir et al., 2024	Iran	Randomize klinik çalışma	70 hasta	Hastaların kendi seçtikleri doğa manzaralarından oluşan 360 derecelik videolar VR gözlüğü ile izletilmiştir.	Ağrı şiddeti puanlarının, işlemden hemen sonra ve 15 dakika sonra kontrol grubuna göre anlamlı derecede düşük olduğu saptanmıştır.	Çalışmada körleme olmaması ve örneklem sayısının azlığı nedenli sınırlılıklar vardır. + Kanıt seviyesi orta
Seçer ve Yayla, 2025	Türkiye	Randomize kontrollü deneysel çalışma	82 hasta	İşlemden 5 dakika önce Samsung Gear veya Oculus Rift VR gözlükleri takılmış; işlem bitene kadar doğa, deniz kıyısı ve su altı	Göğüs tüpü çıkarma işlemi sırasında ağrı ve anksiyete düzeylerini anlamlı derecede azalttığı bildirilmiştir.	Tek merkezli ve Sözel ağrı bildirimine dayalı sonuçların olması nedeniyle sınırlılıklar vardır. + Kanıt düzeyi orta

				görüntülerinden oluşan rahatlatıcı videolar izletilmiştir		

SONUÇ

Göğüs tüpü çıkarılması sırasında oluşan ağrının yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda psikolojik etkileri de olduğu görülmektedir. Güncel kanıtlar, multimodal analjezi yaklaşımı kullanımının, ağrının kontrol altına alınmasının yanında işlem sırasında oluşan kaygı ve stresin de azaltılmasında önemli etkisi olduğunu göstermektedir. Hemşirelerin işlem öncesi, sırası ve sonrasında ağrı değerlendirmesini yaparak, bireyin dikkatini ağrı uyaranından uzaklaştıracak olan non-farmakolojik yöntemleri uygulayabilmeleri gerekmektedir. Bu alanda kanıta dayalı çalışmaların artmasıyla birlikte, göğüs tüpü çekilmesinde oluşan ağrının yönetiminde ve bakımında standartlaştırılmış protokollerin uygulanması kolaylaşacak ve hemşirelik uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Ahmed, E. A., Mohammad, S. Y., Abdelatief, D. A., & Ali, A. S. (2023). Effect of cryotherapy on pain quality and intensity among patients with thoracotomy after chest tube removal. *Egyptian Journal of Health Care, 13*(3), 1236–1251.

Ahmed, E. A., Mohammad, S. Y., Abdelatief, D. A., & Ali, A. S. (2023). Effect of cryotherapy on pain associated with chest tube removal after thoracotomy. *Evidence-Based Nursing Research, 5*(3), 22-35.

Akbalık, M., Taylan, S., & Aslan, F. E. (2024). Effect of breathing relaxation exercises on reducing pain during chest tube removal: A meta-analysis. *Perioperative Care and Operating Room Management, 35*, 100400.

Armstrong, M., Lun, J., Groner, J. I., Thakkar, R. K., Fabia, R., Noffsinger, D., Ni, A., Keesari, R., & Xiang, H. (2022). Mobile phone virtual reality game for pediatric home burn dressing pain management: A randomized feasibility clinical trial. *Pilot and Feasibility Studies, 8*, 186.

Chan, E., Foster, S., Sambell, R., & Leong, P. (2018). Clinical efficacy of virtual reality for acute procedural pain management: a systematic review and meta-analysis. *PloS one, 13*(7), e0200987.

Chen, C. T., Tung, H. H., Chen, Y. C., Wang, J. L., Tsai, S. H., Huang, Y. T., & Hsu, T. F. (2023). Cold application for pain and anxiety reduction following chest tube removal: A systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical nursing, 32*(3-4), 574–583.

Çinar, K., & Zengin, N. (2026). A Nursing Care of a Patient with a Chest Tube. *Northern Journal of Health Sciences, 2*(1), 41-48.

Dahmardeh, H. (2024). The Effect of Acupressure on Pain Associated with Chest Tube Removal in Patients with Chest Trauma. *Archives of Anesthesiology and Critical Care, 10*(Supp. 1), 499-504.

Dalir, Z., Seddighi, F., Esmaily, H., Abbasi Tashnizi, M., & Ramezanzade Tabriz, E. (2024). Effects of virtual reality on chest tube removal pain management in patients undergoing coronary artery bypass grafting: a randomized clinical trial. *Scientific reports, 14*(1), 2918.

Deo, N., Khan, K. S., Mak, J., Allotey, J., Gonzalez Carreras, F. J., Fusari, G., & Benn, J. (2021). Virtual reality for acute pain in outpatient hysteroscopy: a randomised controlled trial. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology, 128*(1), 87-95.

Hatefi, F., Kazemi, M., Manglian, P., Moridi, D. S., Heydari, S., & Hasani, H. (2023). The effects of cold compress and transcutaneous electrical nerve stimulation on the pain associated with chest tube removal among patients with coronary bypass grafting. *Journal of Cardiothoracic Surgery, 18*, 186.

Hsu, H. C., Fang, H. Y., Kuo, C. C., Su, S. F., Liang, W. M., & Ma, W. F. (2022). The effectiveness of acupressure for managing postoperative pain in patients with thoracoscopic surgery: A randomized control trial. *Journal of Nursing Scholarship, 54*(4), 411-421.

Jarrah, M. I., Hweidi, I. M., Al-Dolat, S. A., Alhawatmeh, H. N., Al-Obeisat, S. M., Hweidi, L. I., Hweidi, A. I., & Alkouri, O. A. (2022). The effect of slow deep breathing relaxation exercise on pain levels during and post chest tube removal after coronary artery bypass graft surgery. *International Journal of Nursing Sciences, 9*(2), 155–161.

Kıy, B. L., Demiray, A., & Boran, M. (2022). The effect of cold application on pain in patients with chest tubes before deep breathing and coughing exercises: A randomized controlled study. *Heart & Lung*, *55*, 102–107.

Koh, Y. T., Goh, W., Ng, I., & Teo, D. (2026). From Qi Flow to Air Leak: Bilateral Apical Pneumothoraces After Acupuncture. *Journal of Brown Hospital Medicine*, *5*(2), 158639.

Kök, A. Y., & Eyiler, E. (2025). Effectiveness of breathing relaxation exercises on pain due to chest tube removal: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, *20*, 281.

Kök, A. Y., & Eyiler, E. (2025). Effectiveness of breathing relaxation exercises on pain due to chest tube removal: A systematic review-meta-analysis. *Journal of Cardiothoracic Surgery*, *20*, 281.

Lu, H.-Y., Lin, M.-Y., Tsai, P.-S., Chiu, H.-Y., & Fang, S.-C. (2024). Effectiveness of cold therapy for pain and anxiety associated with chest tube removal: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Pain Management Nursing*, *25*(1), 34–45.

Maloney, J., Wie, C., Pew, S., Covington, S., Maita, M., Kozinn, R., Sabin, M., Freeman, J., Kraus, M., & Strand, N. (2022). Post-thoracotomy pain syndrome. *Current Pain and Headache Reports*, *26*, 677–681.

Merkle, A., Lobo, C. M., & Cindass, R. (2025). Care of a Chest Tube. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

Naeem, A., Soultan, K. M., Khan, M. H., Vemula, S. L., Sharma, S., Naeem, M., & Patti, R. S. (2024). A Case of Acupuncture Induced Pneumothorax. *Journal of community hospital internal medicine perspectives*, *14*(1), 98.

Nurashikin, M. (2025). Bilateral tension pneumothorax after acupuncture. *BMJ Case Reports*, *2018*, bcr-2017.

Ravi, C., & McKnight, C. L. (2025). Chest Tube(Archived). In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

Roebker, J. A., Kord, A., Chan, K., Rao, R., Ray, C. E., Jr, & Ristagno, R. (2023). Chest Tube Placement and Management: A Practical Review. *Seminars in interventional radiology*, *40*(2), 231–239.

Seçer, H., & Yayla, A. (2025). The effects of virtual reality on pain, anxiety, and comfort during the chest tube removal procedure: A randomized clinical trial. *Complementary therapies in clinical practice*, *58*, 101931.

Simsek Yaban, Z., Álvarez-García, C., & Bozdemir, H. (2023). The effect of cold application on pain during the chest tube removal: A meta-analysis. *Turk gogus kalp damar cerrahisi dergisi*, *31*(3), 398–407.

Th'ng, F., Rao, K. A., & Huang, P. Y. (2022). Case series: acupuncture-related pneumothorax. *International Journal of Emergency Medicine*, *15*(1), 48.

Tokuno, J., Valanci-Aroesty, S., Uchino, H., Ghitulescu, G., Sirois, C., Kaneva, P., Fried, G. M., & Carver, T. E. (2024). Teaching Chest Tube Insertion by Blended Learning: A Multi-Dimensional Analysis. *Surgical innovation*, *31*(1), 92–102.

Turkmen, A., Avci, A., Tura, İ., & Erden, S. (2026). The effect of transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) on pain and vital signs during chest tube removal. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, *42*(2), 345-351.

THE RIGHT TO GENETIC INTEGRITY: A NEW MANIFESTATION OF HUMAN DIGNITY

GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKI: İNSAN ONURUNUN YENİ BİR GÖRÜNÜMÜ

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO: 0009-0007-9955-4327.

ÖZET

Genetik mühendisliği, gen düzenleme teknolojileri ve kişiselleştirilmiş tıp alanında yaşanan gelişmeler, insan genomuna yönelik müdahaleleri günümüz biyotıp uygulamalarının önemli bir parçası hâline getirmiştir. Özellikle gen düzenleme teknolojileri, kalıtsal hastalıkların önlenmesi, tedavisi bakımından önemli fırsatlar sunarken, insan genomunun değiştirilmesi, hukukî ve etik sınırların yeniden tartışılmasını gerekli kılmaktadır. Mevcut hukuk düzenleri, bu gelişmeleri büyük ölçüde bedensel bütünlük hakkı, bireysel özerklik ve bilgilendirilmiş rıza ilkeleri çerçevesinde değerlendirmektedir. Oysa genetik müdahalelerin yalnızca fiziksel bedenle birlikte bireyin genetik kimliğini ve gelecek kuşaklara aktarılabilecek biyolojik mirasını da etkileyebilmesi, klasik hak kategorilerini ortaya çıkan yeni sorunları açıklamakta yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Çalışmamızda, insan onurunun koruma alanının yalnızca bedensel bütünlükle sınırlı olmadığı; insan genomunun da insan onurunun ayrılmaz bir unsuru olarak değerlendirilmesi gerektiğine odaklanılmıştır. Genetik bütünlük hakkı, bedensel bütünlük hakkının bir uzantısıdır. Çalışma da genetik bütünlük hakkının, insan onurunun bağımsız bir görünümü olduğu ve biyohukukun gelişen alanında yeni bir temel hak olarak kabul edilmesi gerektiği tartışılmıştır. Bedensel bütünlük, genetik kimlik, bireysel özerklik, bilgilendirilmiş rıza, genetik mahremiyet ve kuşaklar arası adalet kavramları, insan hakları hukuku ve biyohukuk perspektifinden değerlendirilmektedir. Çalışmamızda, genetik müdahalelerin hukukî değerlendirilmesinde yalnızca bireyin rızasının veya tedavi amacının yeterli ölçütler olarak kabul edilemeyeceği tartışılmaktadır. İnsan genomu, bireysel biyolojik veri bütünlüğüyle birlikte insan kişiliğinin, biyolojik kimliğinin ve insanlığın ortak genetik mirasının bir parçasıdır. Bu yüzden genetik müdahalelerin değerlendirilmesinde insan onuru, ihtiyat ilkesi, kuşaklar arası sorumluluk ve ortak etik yükümlülükler birlikte ele alınmalıdır.
Çalışmamız, biyoteknoloji çağında bedensel bütünlük hakkının tek başına yeterli bir koruma sağlayamadığını, insan genomunun korunmasını esas alan genetik bütünlük hakkı kavramının, insan onurunun yeni bir görünümü olduğunu savunmaktadır. Böyle bir yaklaşımın, gen düzenleme teknolojileri, üreme teknolojileri, genetik veri koruması ve biyoteknolojik uygulamalara ilişkin hukuk politikalarının geliştirilmesine yol açarak, katkı sağlayacağı mutlaktır.
Anahtar Kelimeler: Genetik Bütünlük Hakkı, Genetik Kimlik, İnsan Onuru, Biyohukuk, Biyoetik.

ABSTRACT

Advances in genetic engineering, genome editing technologies, and personalized medicine have made interventions in the human genome an integral part of contemporary biomedical practice. Genome editing technologies, in particular, offer significant opportunities for preventing and treating hereditary diseases. At the same time, however, the modification of the human genome has reopened fundamental legal and ethical debates regarding the permissible limits of such interventions. Current legal systems generally address these developments within the framework of the right to bodily integrity, individual autonomy, and informed consent. Nevertheless, because genetic interventions affect not only the physical body but also an individual's genetic identity and the biological heritage that may be transmitted to future generations, traditional categories of rights have become insufficient to address the emerging legal challenges. This study argues that the scope of human dignity extends beyond the protection of bodily integrity and should also encompass the human genome as an inseparable component of human dignity.

The right to genetic integrity is regarded as an extension of the right to bodily integrity. Furthermore, the study contends that genetic integrity constitutes an independent manifestation of human dignity and should be recognized as a new fundamental right within the evolving field of biolaw. The concepts of bodily integrity, genetic identity, individual autonomy, informed consent, genetic privacy, and intergenerational justice are examined from the perspectives of human rights law and biolaw. The study argues that neither individual consent nor therapeutic purpose alone can serve as sufficient legal criteria for evaluating genetic interventions. The human genome represents not only the integrity of an individual's biological data but also an essential element of human personality, biological identity, and the common genetic heritage of humanity. Consequently, legal assessment of genetic interventions should incorporate the principles of human dignity, the precautionary principle, intergenerational responsibility, and shared ethical obligations. The study concludes that, in the age of biotechnology, the right to bodily integrity alone no longer provides adequate legal protection. Instead, it argues that the concept of the right to genetic integrity, centered on safeguarding the human genome, should be recognized as a new manifestation of human dignity. Such an approach would contribute to the development of legal policies governing genome editing technologies, assisted reproductive technologies, genetic data protection, and other biotechnological applications.
Keywords: Right to Genetic Integrity; Genetic Identity; Human Dignity; Biolaw; Bioethics.

GİRİŞ

Genetik mühendisliği, CRISPR tabanlı gen düzenleme teknikleri, kişiselleştirilmiş tıp ve germ hattı araştırmalarındaki gelişmeler, insan genomuna yönelik müdahaleleri teorik bir olasılık olmaktan çıkararak somut biyotıp uygulamalarının parçası hâline getirmiştir. Bu gelişmelerin en önemli sonucu, insan bedenine yönelik klasik müdahale paradigmasının genetik düzeye taşınmasıdır. Artık hukuk yalnız bedenin fiziksel sınırlarına değil, insanın genetik yapısına ve bu yapının gelecek kuşaklara aktarılabilme özelliğine de cevap vermek zorundadır (Doudna & Charpentier, 2014; NASEM, 2017; NASEM & Royal Society, 2020; WHO, 2021a, 2021b).

Genetik müdahalelerin hukuki özgünlüğü, onların yalnız mevcut kişinin fiziksel bütünlüğünü değil, genetik kimlik, genetik mahremiyet ve kuşaklar arası biyolojik aktarım gibi daha geniş değerleri etkileyebilmesinde yatmaktadır. Özellikle germ hattı düzenlemesi söz konusu olduğunda, müdahalenin etkisi henüz var olmayan kişilere kadar uzanabilir. Bu durum, bireysel rıza, hasta özerkliği ve bedensel bütünlük üzerine kurulu klasik tıp hukuku yaklaşımının sınırlarını görünür kılmaktadır (Nuffield Council on Bioethics, 2018; NASEM & Royal Society, 2020; Baylis, 2019).

Mevcut insan hakları sistemi genetik müdahaleler bakımından tamamen korumasız değildir. Bedensel bütünlük, özel hayat, kişisel verilerin korunması, eşitlik, sağlık hakkı ve bireysel özerklik, genetik teknolojiler karşısında önemli hukuki güvenceler sağlamaktadır. Bununla birlikte sorun, bu korumaların parçalı olmasıdır. Genetik yapıya müdahalenin biyolojik kimlik ve kalıtsallık boyutu, genetik verinin ilişkisel niteliği ve genetik geliştirme uygulamalarının öjeni ile eşitlik sorunları yaratabilmesi, mevcut hakların tek tek açıklamakta zorlandığı yeni bir normatif alan ortaya çıkarmaktadır (UNESCO, 1997, 2003, 2005; Andorno, 2002; Agar, 2004; Sandel, 2007).

Bu çalışma, söz konusu alanı genetik bütünlük hakkı kavramı üzerinden tartışmaktadır. Ancak yeni bir temel hak iddiası, yalnız teknolojinin yeni olmasına dayandırılamaz. İnsan hakları hukukunda her yeni teknolojik risk karşısında yeni bir hak oluşturmak, hak enflasyonu ve kavramsal dağılma tehlikesi yaratabilir. Bu nedenle genetik bütünlük hakkının bağımsızlığı, mevcut hakların gerçekten karşılayamadığı özgün bir koruma ihtiyacının gösterilmesine bağlıdır.

Bu noktada çalışma dört aşamalı bir Genetik Bütünlük Hakkı Gereklilik Testi önermektedir. İlk olarak korunması gereken özgün bir menfaat bulunmalıdır. İkinci olarak mevcut hakların bu menfaati tam olarak karşılayamadığı gösterilmelidir. Üçüncü olarak yeni hak mevcut insan hakları sisteminin normatif bütünlüğüyle uyumlu olmalıdır. Dördüncü olarak hak, yalnız teorik isimlendirme değil, somut uygulama ölçütleri üretmelidir.

Bu test çerçevesinde genetik bütünlük hakkının özellikle üç alanda bağımsızlaşan bir koruma ihtiyacına cevap verdiği ileri sürülmektedir: kalıtsal genom düzenlemesi, genetik kimliğin araçsallaştırılmasına karşı koruma ve kuşaklar arası biyolojik sorumluluk.

Çalışmanın temel tezi bu nedenle genetik bütünlüğün bedensel bütünlükten tamamen kopuk yeni bir hak olduğu değildir. Daha ölçülü biçimde, genetik bütünlük hakkının insan onurundan kaynaklanan ve mevcut haklarla güçlü bağlarını koruyan özgül ve bağımsızlaşan bir temel hak görünümü olduğu savunulmaktadır.

GENETİK BÜTÜNLÜĞÜN HUKUKİ KORUMA KONUSU

Genetik Veri ile Genetik Yapının Ayrılması

Genetik bütünlüğün bağımsızlığı öncelikle genetik veri ile genetik yapının birbirinden ayrılmasıyla anlaşılabilir. Genetik veri, kişinin kalıtsal veya edinilmiş genetik özellikleri hakkında bilgi sağlayan veri setlerini ifade ederken; genetik yapı, bu bilginin biyolojik kaynağını oluşturan genomun kendisidir (UNESCO, 2003).

Bu ayrım hukuk açısından önemlidir. Genetik verinin izinsiz açıklanması mahremiyet ve kişisel verilerin korunması sorununa yol açarken, genom üzerinde yapılan bir değişiklik biyolojik yapının kendisini etkiler. Dolayısıyla veri koruma hukuku genetik bütünlüğün tamamını kapsayamaz. Bu nedenle genetik mahremiyet ile genetik bütünlük arasında yakın fakat farklı bir ilişki bulunmaktadır. Genetik mahremiyet bilginin dolaşımını, genetik bütünlük ise genetik varlığın kendisine yönelik müdahaleyi düzenler.

Genetik Kimlik ve Genetik Determinizm Sorunu

Genetik bütünlük hakkının en önemli teorik tehlikelerinden biri, insan kimliğini genetik yapıya indirgeme riskidir. İnsan genomunun hukuki açıdan korunması gerektiğini savunmak, insanın yalnızca genetik özelliklerinden ibaret olduğu anlamına gelmez.

UNESCO'nun İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi'nin bireyin genetik özelliklerine indirgenemeyeceğini vurgulaması bu nedenle temel önemdedir (UNESCO, 1997).

Genetik kimlik, hukuken kişinin bütün kimliğini genlerin belirlediği iddiası olarak değil, kişinin genetik yapısının keyfî, zorlayıcı veya insan onuruyla bağdaşmayan müdahalelere karşı korunmaya değer olması şeklinde anlaşılmalıdır. Genetik teknolojilerin insanın kendisini ve gelecek kuşaklarla ilişkisini nasıl kavradığı üzerindeki etkisi, biyolojik müdahalenin ötesinde özerklik ve insanın kendi yaşamının yazarı olabilmesi bakımından da tartışılmaktadır (Habermas, 2003; Baylis, 2019).

Bu yaklaşım iki aşırı görüşü reddeder. İlk aşırı görüş, genomu sıradan biyolojik materyale indirger. İkinci aşırı görüş ise, genomu insan kişiliğinin özü hâline getirir. Genetik bütünlük hakkı bu iki uç arasında kurulmalıdır.

Bedensel Bütünlük Yeterli midir?

Bağımsız genetik bütünlük hakkına yöneltilen en güçlü itiraz, genomun zaten bedenin bir parçası olduğu ve bedensel bütünlük hakkının yeterli koruma sağladığıdır.

Bu itiraz somatik müdahaleler bakımından belirli ölçüde güçlüdür. Tedavi amaçlı somatik gen düzenlemesinde bedensel bütünlük, bilgilendirilmiş rıza ve tıbbi endikasyon çoğu zaman yeterli bir normatif çerçeve sunabilir.

Ancak germ hattı müdahaleleri bakımından bedensel bütünlük paradigması zorlanmaktadır. Çünkü müdahalenin etkisi mevcut kişinin bedenini aşarak gelecekteki kişilerin biyolojik yapısına aktarılabilir. Kalıtsal genom düzenlemesinin öngörülemeyen sonuçları, geri döndürülemezliği ve gelecek kuşaklara aktarılabilme potansiyeli, bu müdahalelerin somatik gen düzenlemesinden farklı ve daha yoğun bir normatif denetime tabi tutulmasını gerektirmektedir (NASEM & Royal Society, 2020; Lanphier et al., 2015; Lander et al., 2019).

Bu nedenle genetik bütünlük hakkının bağımsızlaşması en çok kalıtsal müdahalelerde anlam kazanmaktadır. Kalıtsal genom düzenlemesinin yalnız mevcut bireyin bedensel bütünlüğünü değil, henüz var olmayan kişilerin biyolojik koşullarını da etkileyebilmesi, klasik bireysel hak paradigmasının sınırlarını görünür hâle getirmektedir (Baylis, 2019).

BAĞIMSIZ HAKKA YÖNELİK KARŞI GÖRÜŞLER

Genetik bütünlük hakkının bağımsızlaştırılması bazı teorik sorunlar doğurabilir. Bunlardan ilki hak enflasyonu eleştirisidir. İnsan hakları sistemi her yeni teknolojik gelişme karşısında yeni haklar üretirse, temel hakların normatif ağırlığı zayıflayabilir.

Bu eleştiri önemlidir. Ancak yeni bir hakkın meşruiyeti teknolojinin yeniliğine değil, mevcut hakların karşılayamadığı özgün bir koruma boşluğunun bulunmasına bağlıdır. Bu nedenle çalışmada önerilen Genetik Bütünlük Hakkı Gereklilik Testi, hak enflasyonu eleştirisine karşı metodolojik bir filtre işlevi görmektedir.

İkinci eleştiri, genetik bütünlüğün bedensel bütünlüğün alt kategorisi olarak değerlendirilebileceğidir. Bu görüş somatik müdahaleler bakımından güçlüdür. Ancak germ hattı düzenlemesinde müdahalenin kuşaklar arası etkisi bedensel bütünlük paradigmasını aşmaktadır. Kalıtsal genom düzenlemesinin yalnız müdahaleye konu olan mevcut kişinin değil, gelecek kuşakların biyolojik koşullarını da etkileyebilmesi, bu müdahalelerin özel bir normatif statüye sahip olduğu yönündeki görüşü güçlendirmektedir (Baylis, 2019; NASEM & Royal Society, 2020; Lander et al., 2019).

Üçüncü eleştiri genetik determinizm riskidir. Genetik bütünlük kavramı yanlış yorumlandığında, insan kişiliğinin genetik yapıyla özdeşleştirilmesine yol açabilir.

Bu nedenle genetik bütünlük hakkı genetik kimliği mutlaklaştırmamalıdır. Korunan değer genomun değişmezliği değil, kişinin genetik yapısı üzerinde keyfî ve insan onuruna aykırı müdahalelere karşı korunmasıdır. İnsan genomunun normatif önemini kabul etmek, insan kişiliğinin genetik özelliklere indirgenmesini gerektirmez. Aksine genetik müdahalelere ilişkin etik ve hukuki tartışmalar, biyolojik yapının insanın özerkliği, kendi yaşamıyla kurduğu ilişki ve gelecek kuşaklarla bağlantısı içinde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Habermas, 2003; Baylis, 2019).

Bir diğer eleştiri, genetik bütünlüğün insan onuruna dayandırılmasının kavramı aşırı genişletme riski taşımasıdır. İnsan onuru biyohukukta sık kullanılan fakat farklı anlamlara gelebilen bir ilkedir. Genetik müdahaleler ve insan geliştirme tartışmalarında da insan onurunun, özerkliğin ve insan doğasının normatif anlamı konusunda birbirinden önemli ölçüde ayrılan yaklaşımlar bulunmaktadır (Habermas, 2003; Agar, 2004; Sandel, 2007; Baylis, 2019). Bu eleştiri ciddidir. İnsan onuru her genetik müdahaleyi yasaklayan belirsiz bir üst ilke hâline getirilmemelidir.

Bu nedenle çalışmamızda insan onuru üç somut işlev üzerinden kullanılmaktadır. İnsan onuru; insanın araçsallaştırılmasına karşı korunması, bireysel genetik özerkliğin güvence altına alınması ve genetik farklılıkların eşit değerinin korunması yoluyla somutlaştırılabilir. Bu yaklaşım, genetik müdahalelerin tümünü kategorik biçimde reddeden bir anlayıştan ayrıldığı gibi, bireysel tercihe dayanan her genetik geliştirme müdahalesini kendiliğinden meşru kabul eden bir anlayışı da benimsememektedir.

Genetik geliştirme literatüründeki normatif ayrışma bu noktada özellikle öğreticidir. Agar'ın liberal öjeni yaklaşımı ile Savulescu'nun üreme tercihleri ve "procreative beneficence" yaklaşımı, bireysel tercih, ebeveyn özerkliği ve geliştirme lehine güçlü argümanlar ortaya koymaktadır (Agar, 2004; Savulescu, 2001). Buna karşılık Habermas ve Sandel, genetik tasarımın özerklik, insanın kendisiyle ilişkisi ve insan yaşamının normatif anlamı bakımından doğurabileceği sorunlara dikkat çekmektedir (Habermas, 2003; Sandel, 2007).

Bu karşıt literatür, genetik bütünlük hakkının iki uç arasında kurulması gerektiğini göstermektedir. Bir tarafta genomun mutlak biçimde değişmez kabul edilmesi, diğer tarafta teknik olarak mümkün ve bireysel olarak tercih edilmiş her genetik müdahalenin meşru sayılması bulunmaktadır. Genetik bütünlük hakkı, bu iki yaklaşımın ötesinde müdahalenin amacını, özerklik üzerindeki etkisini, zarar riskini, kuşaklar arası sonuçlarını ve eşitlik boyutunu birlikte değerlendiren bir normatif çerçeve sunmalıdır.

GERM HATTI GENOM DÜZENLEMESİ VE SINIR VAKA ANALİZİ

Germ hattı düzenlemesi genetik bütünlük hakkının gerekliliğini test etmek için en güçlü örnektir. Burada müdahalenin sonucu yalnız mevcut kişi üzerinde değil, sonraki kuşaklarda da devam edebilir. Bu nedenle insan germ hattı düzenlemesine ilişkin uluslararası bilimsel ve etik tartışmalarda ihtiyat, küresel yönetişim ve belirli koşullarda moratoryum önerileri önemli bir yer tutmuştur (Lanphier et al., 2015; Lander et al., 2019; NASEM & Royal Society, 2020).

Somatik gen düzenlemesinde hukuki meşruiyet büyük ölçüde kişi özerkliği, rıza, tedavi yararı ve güvenlik üzerinden kurulabilir. Germ hattında ise bu ölçütler yetersizdir. Gelecek kişinin rızasının bulunmaması, müdahalenin geri döndürülemezliği ve etkilerin kuşaklar boyunca devam etme ihtimali hukuki denetimin yoğunlaşmasını gerektirir. Bu nedenle germ hattı düzenlemesi genetik bütünlük hakkının bağımsızlığını en görünür hâle getiren sınır vakadır (Baylis, 2019; Lander et al., 2019).

Bu alanda üç temel risk bulunmaktadır. İlk risk öngörülemezliktir. Genetik değişikliklerin uzun vadeli etkileri tam olarak bilinmeyebilir. Özellikle kalıtsal düzenlemede bilimsel belirsizlik yalnız müdahaleye konu olan embriyoyu değil, sonraki kuşakları da etkileyebilecek sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle güvenlik değerlendirmesinin kapsamı somatik müdahalelerden daha geniş olmak zorundadır (NASEM & Royal Society, 2020; WHO, 2021a).

İkinci risk geri döndürülemezliktir. Somatik müdahalelerin etkisi çoğunlukla mevcut kişiyle sınırlı kalırken, germ hattı değişiklikleri nesiller boyunca aktarılabilir. Bu özellik, kalıtsal genom düzenlemesinin bilimsel olarak uygulanabilir hâle gelmesinin tek başına klinik uygulamayı meşrulaştırmaya yetmeyeceği yönündeki ihtiyat çağrılarının temel gerekçelerinden biridir (Lanphier et al., 2015; Lander et al., 2019).

Üçüncü risk rıza eksikliğidir. Gelecek kuşakların müdahaleye rıza göstermesi mümkün değildir. Ebeveyn rızası ise gelecek kişinin genetik yapısına ilişkin bütün kararları sınırsız biçimde meşrulaştıramaz. Kalıtsal genom düzenlemesinde ebeveynlerin üreme özgürlüğü ile gelecekteki kişinin açık geleceği, özerkliği ve genetik bütünlüğü arasında yeni bir hukuki denge kurulması gerekir (Habermas, 2003; Baylis, 2019).

2018'de He Jiankui tarafından genomu düzenlenmiş embriyolardan çocukların doğduğunun açıklanması, insan germ hattı düzenlemesinin yalnız teorik bir tartışma olmadığını göstermiştir. Vaka, insan embriyolarında kalıtsal genom düzenlemesinin bilimsel, etik ve yönetişimsel sınırlarına ilişkin uluslararası tartışmaları somutlaştırmıştır (Greely, 2019).

He Jiankui vakasının hukuki önemi yalnız kullanılan CRISPR teknolojisinden kaynaklanmamaktadır. Vaka aynı zamanda bilimsel uygulanabilirlik ile hukuki ve etik meşruiyet arasındaki farkı görünür hâle getirmiştir. Bir müdahalenin teknik olarak gerçekleştirilebilir olması, onun insan üzerinde uygulanmasının kendiliğinden meşru olduğu anlamına gelmez (Greely, 2019).

Bu vaka üç temel hukuki ders ortaya koymuştur. Öncelikle bilimsel uygulanabilirlik hukuki meşruiyet anlamına gelmez.İkinci olarak ebeveyn rızası gelecek çocuğun genomuna müdahaleyi tek başına meşrulaştıramaz.Üçüncü olarak küresel biyoteknoloji uygulamaları yalnız ulusal düzenlemelerle yeterince yönetilemeyebilir.

He Jiankui vakasının ardından insan germ hattı düzenlemesinin yönetişimine ilişkin uluslararası tartışmaların yoğunlaşması ve kalıtsal genom düzenlemesine yönelik küresel moratoryum çağrılarının güçlenmesi, bu düzenleyici sorunun ulusal sınırları aşan niteliğini ortaya koymuştur (Greely, 2019; Lander et al., 2019; WHO, 2021a, 2021b).Bu nedenle genetik bütünlük hakkı yalnız bireysel bir hak değil, aynı zamanda küresel yönetişim ilkeleriyle desteklenmesi gereken bir koruma alanıdır.

Genetik Bütünlük Testinin Germ Hattına Uygulanması

Önerilen dört aşamalı test germ hattı düzenlemesine uygulandığında şu sonuç ortaya çıkmaktadır. Birinci aşama olarak özgün menfaat; gelecek kişinin genetik yapısının keyfî ve geri döndürülemez müdahalelere karşı korunması özgün bir menfaattir. İkinci aşama olarak mevcut hakların yetersizliğinde, bedensel bütünlük mevcut kişinin bedenini korurken, germ hattı müdahalesinin kuşaklar arası etkisini tam olarak açıklayamaz. Mahremiyet ise genetik veriyi korur, genomun biyolojik yapısını değil.

Üçüncü aşama normatif uyumlanma da genetik bütünlük hakkı insan onuru, özerklik ve eşitlik ilkeleriyle uyumludur. Ancak bu uyum, insan genomunun mutlak değişmezliğini değil, genetik müdahalelerin insanı araçsallaştırmaması ve kişinin temel hak konumunu zedelememesi gereğini ifade eder. Dördüncü aşama olarak uygulanabilirlik ise hak; tedavi amaçlı somatik müdahaleler, germ hattı müdahaleleri ve geliştirme amaçlı müdahaleler arasında hukuki ayrım yapılmasını sağlar. Bu nedenle germ hattı düzenlemesi, genetik bütünlük hakkının bağımsızlaşmasını en güçlü biçimde destekleyen örnektir.

İNSAN ONURU VE GENETİK BÜTÜNLÜĞÜN NORMATİF BAĞI

Genetik bütünlük hakkının insan onuruna dayandırılması, insan genomunun kutsallaştırılması veya değişmez kabul edilmesi anlamına gelmemelidir. İnsan onurunun genetik müdahaleler bakımından işlevi, biyolojik yapının mutlak değişmezliğini güvence altına almak değil, insanın yalnızca tasarlanabilir, optimize edilebilir veya ekonomik ve teknolojik amaçlar doğrultusunda biçimlendirilebilir bir biyolojik nesneye indirgenmesini önlemektir.

Genetik bütünlüğün insan onuruyla ilişkisi bu nedenle müdahalelerin insanı yalnızca manipüle edilebilir biyolojik materyale indirgemesinin önlenmesinde ortaya çıkar. İnsan onuru burada mutlak değişmezlik ilkesi değildir. Genetik müdahale ve geliştirme tartışmalarında asıl mesele, insan genomunun değişmezliğini mutlaklaştırmak değil, müdahalenin kişinin özerkliği, kendisini kendi yaşamının yazarı olarak görebilmesi ve insanı tasarım nesnesine dönüştürme ihtimali üzerindeki etkilerini değerlendirmektir (Habermas, 2003; Sandel, 2007).

Habermas'ın genetik müdahaleye ilişkin temel kaygısı, genetik değişikliğin yalnız biyolojik sonuçlarıyla sınırlı değildir. Özellikle bir başkasının geri döndürülemez biçimde belirlediği genetik özelliklerin, gelecekteki kişinin kendisini kendi yaşam öyküsünün eşit ve özgür yazarı olarak algılaması üzerindeki etkisi normatif önem taşımaktadır (Habermas, 2003). Bu yaklaşım, genetik bütünlük ile özerklik arasındaki ilişkinin yalnız rıza kavramıyla açıklanamayacağını göstermektedir.

Sandel'in genetik geliştirmeye yönelik eleştirisi ise farklı fakat tamamlayıcı bir noktaya işaret etmektedir. Genetik geliştirme teknolojilerinin yaygınlaşması, insan yaşamının ve özelliklerinin giderek daha fazla tasarım, kontrol ve mükemmelleştirme mantığı içerisinde değerlendirilmesine yol açabilir (Sandel, 2007). Bu eleştiri genetik müdahalelerin tümünün reddedilmesini zorunlu kılmaz; fakat insan özelliklerinin sınırsız biçimde optimizasyon nesnesine dönüştürülmesinin insan onuru ve insan çeşitliliği bakımından sorgulanmasını gerektirir.

Bununla birlikte insan onuru, genetik müdahaleleri kategorik olarak yasaklayan bir ilkeye de dönüştürülmemelidir. Genetik geliştirmeyi bireysel tercih, üreme özgürlüğü ve ebeveyn özerkliği açısından değerlendiren yaklaşımlar, genetik müdahalelerin her durumda insan onuruyla bağdaşmaz sayılamayacağını göstermektedir. Agar'ın liberal öjeni yaklaşımı, devlet tarafından dayatılan klasik öjeni ile bireysel tercihlere dayanan genetik geliştirme arasında normatif bir ayrım yapılabileceğini savunmaktadır (Agar, 2004). Savulescu ise üreme kararları bağlamında ebeveynlerin mümkün olan en iyi yaşam beklentisine sahip çocuğu seçmeleri yönünde ahlaki nedenler bulunabileceğini ileri süren "procreative beneficence" yaklaşımını geliştirmiştir (Savulescu, 2001).

Bu karşıt yaklaşımlar, genetik bütünlük hakkının yasaklayıcı ve teknolojik değişime kapalı bir hak olarak kurulamayacağını göstermektedir. İnsan onuru, hangi müdahalelerin insanı araçsallaştırdığı, hangilerinin ise sağlık ve özerkliği desteklediği konusunda ayrım yapmayı gerektirir. Bu nedenle genetik bütünlük hakkı, genetik müdahaleyi kategorik biçimde yasaklayan bir hak olarak yorumlanmamalıdır. Genetik müdahalenin normatif değerlendirilmesi amaç, özerklik, zarar, eşitlik, geri döndürülebilirlik ve gelecek kişi üzerindeki etkiler bakımından farklılaştırılmalıdır (Agar, 2004; Savulescu, 2001; Baylis, 2019).

Tedavi amaçlı güvenli bir somatik müdahale insan onurunu zedelemeyebilir; tersine yaşam ve sağlık hakkını güçlendirebilir. Bu ayrım, genetik bütünlük hakkının teknolojik değişime karşı mutlak bir "genetik değişmezlik hakkı" biçiminde anlaşılmasını engeller.

Buna karşılık ayrımcı, öjenik veya yalnız tasarım amacı taşıyan müdahaleler insanı biyoteknolojik standardizasyonun nesnesi hâline getirebilir. Özellikle genetik geliştirme teknolojilerinin hangi insan özelliklerinin tercih edilir olduğuna ilişkin toplumsal normlar üretmesi, bireysel tercihin ötesinde eşitlik ve insan çeşitliliği sorunlarını gündeme getirmektedir (Habermas, 2003; Sandel, 2007; Baylis, 2019). Bu nedenle insan onuru hem koruyucu hem de özerklik sağlayıcı bir işlev görmelidir. İnsan onuru genetik teknolojiyi kategorik olarak reddetmemeli; fakat insanın teknolojik müdahalenin yalnızca nesnesi hâline getirilmesine karşı normatif bir sınır oluşturmalıdır.

GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKINDA KUŞAKLAR ARASI ADALET

Genetik bütünlük hakkının klasik bireysel haklardan ayrıldığı en önemli noktalardan biri, kuşaklar arası etkidir. Kalıtsal genom düzenlemesi gelecekte yaşayacak kişilerin biyolojik koşullarını bugünkü kararlarla şekillendirebilir. Müdahalenin sonuçlarının yalnız müdahaleye rıza gösteren mevcut kişilerle

sınırlı kalmaması, germ hattı düzenlemesinin etik ve hukuki özgünlüğünün temel nedenlerinden biridir (Baylis, 2019; Lander et al., 2019; NASEM & Royal Society, 2020). Bu durum kuşaklar arası adaletin genetik boyutunu ortaya çıkarmaktadır.

Gelecek kuşakların bugünkü anlamda tam hak süjesi olup olmadığı ayrı bir mesele olabilir. Ancak bugünkü müdahalelerin gelecekteki kişilerin yaşam koşullarını belirlemesi hukuken ilgisiz sayılamaz. Gelecek kişinin henüz mevcut olmaması, bugün alınan kararların onun biyolojik koşulları üzerindeki etkisinin normatif değerlendirme dışında bırakılmasını gerektirmez.

Habermas'ın genetik müdahalenin gelecek kişinin kendi yaşam öyküsüyle ve özerkliğiyle ilişkisine yönelik itirazları da bu sorunun yalnız biyolojik güvenlik meselesine indirgenemeyeceğini göstermektedir (Habermas, 2003). Sorun yalnız gelecek kişinin zarar görüp görmeyeceği değildir. Bir başka soru, bugünkü kuşağın gelecek kişinin biyolojik başlangıç koşullarını hangi ölçüde belirleme yetkisine sahip olduğudur.

Bu nedenle germ hattı müdahaleleri bakımından klasik bilgilendirilmiş rıza paradigması yapısal bir sınıra ulaşmaktadır. Henüz var olmayan kişinin rızasının alınması mümkün değildir. Ebeveynlerin üreme özerkliği ise gelecek kişinin genomu üzerinde sınırsız bir belirleme yetkisi olarak yorumlanamaz (Baylis, 2019).

Genetik bütünlük hakkı burada kuşaklar arası bir sınır ilkesi üretir: Bugünkü kuşağın biyoteknolojik karar verme yetkisi, gelecek kişinin temel biyolojik koşulları üzerinde sınırsız değildir. Bu ilke bütün kalıtsal müdahalelerin yasaklanması sonucunu doğurmaz. Ağır ve ciddi bir genetik hastalığın önlenmesine yönelik, güvenliği bilimsel olarak yeterli ölçüde gösterilmiş bir müdahale ile yalnız belirli özelliklerin geliştirilmesine veya tasarlanmasına yönelik bir müdahale aynı hukuki kategoride değerlendirilemez. Bu nedenle kuşaklar arası genetik adalet, en azından amaç, gereklilik, orantılılık, bilimsel güvenlik, alternatif yöntemlerin varlığı ve gelecek kişinin açık geleceği üzerindeki etki bakımından farklılaştırılmış bir hukuki değerlendirme gerektirir.

Genetik bütünlük hakkının kuşaklar arası boyutu böylece yalnız gelecekteki kişilerin "genlerini koruma" düşüncesinden ibaret değildir. Daha geniş anlamda, gelecek kişilerin bugünkü kuşağın biyoteknolojik tercihleri tarafından aşırı ölçüde belirlenmemiş bir açık geleceğe sahip olabilmelerini korumaya yöneliktir.

GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKINDA BİYOTEKNOLOJİK EŞİTLİK

Genetik bütünlük hakkının üçüncü önemli boyutu eşitliktir. Genetik geliştirme teknolojilerine erişimin eşitsiz olması, mevcut toplumsal eşitsizlikleri biyolojik avantajlarla birleştirebilir. Genetik geliştirme tartışması bu bakımdan yalnız bireysel özgürlük meselesi değildir; hangi geliştirmelerin kabul edilebilir olduğu, bunlara kimlerin erişebileceği ve bu uygulamaların toplumsal eşitlik üzerindeki etkileri de değerlendirilmelidir (Agar, 2004; Sandel, 2007).

Genetik bütünlük hakkının yalnız özgürlük boyutu değil, eşitlik boyutu da vardır. Genetik teknolojilerin belirli insan özelliklerini "üstün", "normal", "istenmeyen" veya "eksik" olarak kodlaması, öjeni riskini yeniden üretebilir. Buradaki tehlike yalnız devlet tarafından yürütülen klasik öjenik programların geri dönmesi değildir. Piyasa tercihleri, toplumsal beklentiler ve ebeveyn seçimleri de belirli özelliklerin sistematik biçimde tercih edilmesine yol açabilir.

Bununla birlikte çağdaş geliştirme tartışması tek yönlü değildir. Liberal öjeni ve üreme özgürlüğü yaklaşımları, devlet tarafından dayatılan klasik öjeniden farklı olarak ebeveyn tercihine ve bireysel özgürlüğe vurgu yapmaktadır (Agar, 2004; Savulescu, 2001). Bu ayrım önemlidir. Devlet zoruyla gerçekleştirilen öjenik uygulamalar ile bireysel üreme tercihleri hukuken özdeş kabul edilemez.

Bireysel tercih ile toplumsal yapı arasındaki ilişki de gözden kaçırılmamalıdır. Bir tercih biçimsel olarak bireysel olsa bile, belirli fiziksel, bilişsel veya davranışsal özelliklerin toplumsal olarak üstün kabul edildiği bir ortamda bu tercihler zamanla standardizasyon baskısı üretebilir. Sandel'in geliştirme eleştirisi, genetik teknolojilerin insan özelliklerini sürekli optimizasyon mantığına tabi tutmasının daha geniş toplumsal sonuçlarına dikkat çekmektedir (Sandel, 2007).

Baylis de insan genomu düzenlemesinin yalnız bireysel seçimler üzerinden değerlendirilemeyeceğini; toplumsal adalet, dayanışma ve insan çeşitliliğinin korunması gibi daha geniş normatif meselelerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Baylis, 2019).

Tam da bu nedenle hukuki sorun yalnız "genetik geliştirme yapılmalı mı?" sorusuna indirgenemez. Özgür tercih ile toplumsal baskı, bireysel yarar ile eşitlik, ebeveyn özerkliği ile gelecek kişinin menfaatleri ve teknolojik geliştirme ile insan çeşitliliğinin korunması arasındaki sınırlar ayrıca değerlendirilmelidir.

Genetik geliştirme teknolojilerine erişim yalnız ekonomik gücü yüksek gruplarla sınırlı kalırsa, sosyoekonomik eşitsizliklerin biyolojik avantajlarla pekişmesi ihtimali ortaya çıkar. Böyle bir durumda genetik teknoloji yalnız sağlık veya bireysel geliştirme aracı olmaktan çıkarak toplumsal tabakalaşmanın yeni bir mekanizmasına dönüşebilir. Öte yandan eşitlik ilkesi, bütün genetik farklılıkların değiştirilemez olduğu anlamına da gelmez. Ağır hastalıkların tedavisi veya önlenmesi amacıyla geliştirilen güvenli genetik teknolojilere adil erişimin sağlanması, eşitliğin ihlali değil, tam tersine maddi eşitliğin gerçekleştirilmesine katkıda bulunabilir.

Bu nedenle biyoteknolojik eşitlik, genetik teknolojilere erişimde adalet sağlamalı ve genetik teknolojiler insan çeşitliliğini ortadan kaldıracak veya belirli insan özelliklerini sistematik biçimde değersizleştirecek bir standardizasyon mekanizmasına dönüşmeyecek şekilde iki yönlü düşünülmelidir. Genetik bütünlük hakkı böylece yalnız bireyin genomuna müdahaleye karşı savunma hakkı değildir. Aynı zamanda genetik teknolojilerin toplumda yeni biyolojik hiyerarşiler üretmesini önlemeye yönelik bir eşitlik güvencesi olarak da işlev görebilir.

ULUSLARARASI HUKUKİ ÇERÇEVE

Genetik bütünlük hakkı henüz bütün uluslararası insan hakları belgelerinde açık ve bağımsız bir temel hak olarak düzenlenmiş değildir. Bununla birlikte uluslararası biyohukuk belgeleri bu hakkın normatif altyapısını oluşturan önemli ilkeler geliştirmiştir. UNESCO'nun 1997 tarihli İnsan Genomu ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi, insan genomunu insan ailesinin temel birliği ile bütün üyelerinin doğuştan gelen onuru ve çeşitliliğinin altında yatan bir unsur olarak ele almakta; aynı zamanda bireyin genetik özelliklerine indirgenemeyeceğini vurgulamaktadır (UNESCO, 1997). Bu yaklaşım genetik bütünlük bakımından iki yönlü bir normatif sonuç doğurmaktadır: İnsan genomu hukuki korumaya değer bir alan oluşturmakta, fakat insan kişiliği genomla özdeşleştirilmemektedir.

UNESCO'nun 2003 tarihli Uluslararası İnsan Genetik Verileri Bildirgesi genetik verilerin özel statüsünü daha belirgin hâle getirmiştir. Genetik verilerin yalnız ilgili kişi hakkında değil, biyolojik akrabalık ilişkileri ve belirli durumlarda gruplar hakkında da bilgi sağlayabilmesi, genetik verinin klasik bireysel veri paradigmasını aşan ilişkisel niteliğini ortaya koymaktadır (UNESCO, 2003).

2005 tarihli Biyoetik ve İnsan Hakları Evrensel Bildirgesi ise insan onuru, insan hakları, özerklik, rıza, mahremiyet, eşitlik ve ayrımcılık yasağı gibi ilkeleri biyotıp uygulamaları bakımından birlikte ele almaktadır (UNESCO, 2005). Bu ilkeler genetik bütünlük hakkının insan onurundan kopuk, izole bir hak olarak değil, mevcut insan hakları sistemi içerisinde gelişen bir koruma alanı olarak değerlendirilmesini desteklemektedir.

Bu uluslararası belgeler henüz açık biçimde bağımsız bir genetik bütünlük hakkı tanımlamasa da, böyle bir hakkın normatif unsurlarını önemli ölçüde hazırlamıştır. İnsan genomunun korunması, genetik ayrımcılığın önlenmesi, insan onurunun gözetilmesi, özerklik ve rızanın korunması ile genetik verilerin özel niteliğinin kabul edilmesi bu normatif altyapının temel bileşenleridir (UNESCO, 1997, 2003, 2005).

İnsan genomu düzenlemesindeki bilimsel gelişmeler bu ilkelerin yönetişim boyutunu da güçlendirmiştir. NASEM, kalıtsal genom düzenlemesinin bilimsel güvenlik, toplumsal değerlendirme ve etkin yönetişim mekanizmaları olmaksızın klinik uygulamaya geçirilmemesi gerektiğini ortaya koymuştur (NASEM, 2017; NASEM & Royal Society, 2020). WHO da insan genomu düzenlemesi bakımından yalnız teknik güvenliği değil, ulusal ve uluslararası düzeyde etkin yönetişim mekanizmalarının geliştirilmesini vurgulamaktadır (WHO, 2021a, 2021b).

Bu yönetişim ihtiyacı özellikle kalıtsal genom düzenlemesi bakımından önemlidir. İnsan germ hattına yönelik müdahalelerin gelecek kuşaklara aktarılabilir olması, ulusal düzenlemelerin ötesinde uluslararası bilimsel ve normatif iş birliğini gerekli kılmaktadır. Germ hattı düzenlemesine yönelik moratoryum çağrıları da bu küresel yönetişim ihtiyacının bir görünümüdür (Lanphier et al., 2015; Lander et al., 2019).

Bu nedenle genetik bütünlük hakkının gelecekteki gelişimi yalnız ulusal anayasalarda veya bireysel hak kataloglarında değil, uluslararası biyohukuk ve küresel biyoteknoloji yönetişimi çerçevesinde de ele alınmalıdır.

GENETİK BÜTÜNLÜK HAKKININ NORMATİF YAPISI

Genetik bütünlük hakkının normatif yapısı incelendiğinde, dört temel boyutu olduğu ileri sürülebilir. Birinci boyut, kişinin genetik yapısına rızası dışında yapılan müdahalelere karşı korunmasıdır. Bu boyut klasik negatif hak yapısına yakındır. Devletin ve üçüncü kişilerin kişinin genomuna keyfî müdahale etmesini engeller. Ancak genetik müdahalenin özellikleri nedeniyle bu koruma yalnız fiziksel müdahale yasağı olarak anlaşılamaz.

Müdahalenin amacı, güvenliği, geri döndürülebilirliği, kalıtsal niteliği ve kişinin temel hakları üzerindeki etkisi de değerlendirilmelidir. Özellikle kalıtsal genom düzenlemesinde müdahalenin etkisinin gelecek kuşaklara aktarılabilmesi, korumanın yalnız mevcut kişinin rızasına indirgenemeyeceğini göstermektedir (Baylis, 2019; NASEM & Royal Society, 2020).

İkinci boyut kişinin kendi genetik yapısı hakkında karar verme özgürlüğüdür. Bu boyut genetik bütünlük hakkının yalnız müdahaleden korunma hakkı olmadığını gösterir. Bireyin güvenli ve hukuken meşru genetik tedavilere erişimi de genetik özerkliğin bir parçası olabilir. Genetik bütünlüğün yalnız "dokunulmama" biçiminde yorumlanması, kişinin kendi bedeni ve sağlığı üzerindeki özerk karar verme kapasitesini gereksiz biçimde sınırlandırabilir.

Bununla birlikte genetik özerklik sınırsız değildir. Özellikle germ hattı müdahalelerinde bireysel veya ebeveynsel tercih, gelecek kişinin genetik yapısını sınırsız biçimde belirleme yetkisine dönüşemez. Üreme özgürlüğü ve geliştirme lehindeki yaklaşımlar önemli özerklik argümanları ortaya koysa da bu tercihler gelecek kişinin menfaatleri, zarar riski ve toplumsal etkilerle birlikte değerlendirilmelidir (Agar, 2004; Savulescu, 2001; Baylis, 2019).

Genetik özerklik böylece hem kişinin genetik müdahaleye karşı çıkma hakkını hem de belirli koşullarda genetik tedaviye erişme ve kendi bedeni hakkında karar verme özgürlüğünü içerir.

Üçüncü boyut germ hattı müdahalelerinin gelecek kuşaklar üzerindeki etkilerinin sınırlandırılmasıdır. Bu boyut genetik bütünlük hakkını klasik bireysel haklardan ayıran en özgün unsurlardan biridir. Çünkü genetik müdahalenin muhatabı yalnız bugün yaşayan kişi değildir. Kalıtsal genom düzenlemesinde bugün alınan kararların gelecek kişilerin biyolojik başlangıç koşullarını etkileyebilmesi, bugünkü kuşağın biyoteknolojik karar verme yetkisinin normatif sınırlarının belirlenmesini gerektirir (Habermas, 2003; Baylis, 2019; Lander et al., 2019).

Kuşaklar arası koruma, gelecek kuşaklara mutlak bir "genetik değişmezlik hakkı" tanımak anlamına gelmemelidir. Daha ölçülü olarak, bugünkü kuşağın geri döndürülemez ve kalıtsal biyoteknolojik kararlarının gereklilik, orantılılık, güvenlik ve gelecek kişinin açık geleceği bakımından daha yoğun bir denetime tabi tutulmasını gerektirir.

Dördüncü boyut genetik teknolojilerin yeni biyolojik sınıflar veya ayrıcalıklar yaratmasının önlenmesidir. Genetik bütünlük hakkı bu yönüyle yalnız bireysel değil, toplumsal bir boyuta da sahiptir. Genetik geliştirme teknolojilerine erişimin ekonomik güçle belirlenmesi hâlinde mevcut sosyoekonomik eşitsizliklerin biyolojik avantajlarla pekişmesi ihtimali ortaya çıkabilir (Agar, 2004; Sandel, 2007).

Aynı zamanda belirli genetik özelliklerin toplumsal olarak "üstün", "normal" veya "istenen" kabul edilmesi, insan çeşitliliğinin değersizleştirilmesi ve yeni öjenik baskı biçimlerinin ortaya çıkması riskini doğurabilir (Sandel, 2007; Baylis, 2019).

Ancak eşitlik boyutu genetik tedavilerin engellenmesini değil, aksine güvenli ve yararlı genetik teknolojilere adil erişimin sağlanmasını da gerektirir. Genetik bütünlük hakkının eşitlik işlevi, biyoteknolojik ilerlemeyi durdurmak değil, ilerlemenin sonuçlarının insanları biyolojik hiyerarşilere ayırmasını önlemektir.

Bu dört boyut birlikte değerlendirildiğinde genetik bütünlük hakkı yalnız genomun fiziksel olarak korunmasını ifade etmez. Hak aynı zamanda genetik özerklik, kuşaklar arası sorumluluk ve biyoteknolojik eşitlik ilkelerini bütünleştiren bir normatif çerçeveye dönüşmektedir.

SONUÇ

Genetik teknolojiler insan bedenine yönelik hukuki müdahale paradigmasını değiştirmektedir. CRISPR ve benzeri teknolojilerle insan genomunun düzenlenebilir hâle gelmesi, hukukun yalnız fiziksel bedeni değil, insanın biyolojik yapısını da korumasını gerekli kılmaktadır (Doudna & Charpentier, 2014; NASEM, 2017).

Ancak bu ihtiyaç, her yeni teknolojik gelişme karşısında yeni bir temel hak üretilmesi gerektiği anlamına gelmez. Genetik bütünlük hakkının bağımsızlaşması ancak mevcut hakların karşılayamadığı özgün bir koruma alanının gösterilmesi hâlinde meşru olabilir.

Bu amaçla, çalışmamız da özgün menfaat, mevcut hakların yetersizliği, normatif uyum ve uygulanabilirlik olmak üzere dört aşamalı Genetik Bütünlük Hakkı Gereklilik Testi önerilmiştir. Bu test özellikle germ hattı düzenlemesi bakımından bağımsız bir koruma ihtiyacının bulunduğunu göstermektedir. Kalıtsal genom düzenlemesinin geri döndürülemezliği, gelecek kuşaklara aktarılabilmesi ve henüz var olmayan kişilerin biyolojik koşullarını etkileyebilmesi, klasik bedensel bütünlük ve bireysel rıza paradigmalarının sınırlarını görünür hâle getirmektedir (Baylis, 2019; Lanphier et al., 2015; Lander et al., 2019; NASEM & Royal Society, 2020).

Genetik bütünlük hakkı genetik değişmezlik hakkı değildir. Genetik müdahalelerin tümünü insan onuruna aykırı kabul etmek hem tıbbi gelişmeleri hem de bireysel özerkliği gereksiz biçimde sınırlandırabilir. Tedavi amaçlı ve güvenli genetik müdahaleler yaşam, sağlık ve özerklik haklarını destekleyebilir. Buna karşılık geri döndürülemez, ayrımcı, öjenik veya gelecek kişinin temel biyolojik koşullarını orantısız biçimde belirleyen müdahaleler daha yoğun bir hukuki denetime tabi tutulmalıdır.

Genetik geliştirme literatüründeki normatif ayrışma da tek yönlü bir hukuki çözümün yetersizliğini göstermektedir. Agar ve Savulescu bireysel tercih, üreme özgürlüğü ve geliştirme lehine önemli argümanlar ortaya koyarken; Habermas ve Sandel genetik tasarımın özerklik, insanın kendi yaşamıyla ilişkisi, araçsallaştırma ve insan çeşitliliği bakımından doğurabileceği sorunlara dikkat çekmektedir (Agar, 2004; Savulescu, 2001; Habermas, 2003; Sandel, 2007). Genetik bütünlük hakkı, insan genomunun mutlak değişmezliği ile biyoteknolojik müdahalenin sınırsız serbestliği arasında, özellikle iki aşırı yaklaşım arasında konumlandırılmalıdır.

İnsan onuru, insanın yalnızca tasarlanabilir, optimize edilebilir veya standardize edilebilir biyolojik bir nesneye indirgenmesini önleyen normatif sınırdır. Bu çerçevede genetik bütünlük hakkı, müdahaleye karşı koruma, genetik özerklik, kuşaklar arası koruma ve biyoteknolojik eşitlik olmak üzere dört temel koruma boyutuna sahiptir. Bu dört boyut birlikte değerlendirildiğinde genetik bütünlük, mevcut temel haklardan tamamen kopuk yeni bir hak olarak değil, insan onuru temelinde mevcut haklarla güçlü bağlarını koruyan fakat biyoteknolojik gelişmeler karşısında giderek bağımsızlaşan bir temel hak görünümü olarak ortaya çıkmaktadır.

Genetik teknolojiler geliştikçe hukukun temel sorusu yalnız "İnsan genomuna müdahale edilebilir mi?" olmayacaktır. Asıl soru şudur: "İnsan genomuna hangi amaçla, kimin kararıyla, hangi sınırlar içinde ve gelecek kuşaklara karşı hangi sorumlulukla müdahale edilebilir?" Genetik bütünlük hakkının gelecekteki hukuki işlevi, bu soruya insan onuru, özerklik, eşitlik ve kuşaklar arası sorumluluğu birlikte koruyan bir cevap verebilmesinde yatmaktadır.

KAYNAKLAR

Agar, N. (2004). Liberal eugenics: In defence of human enhancement. Blackwell Publishing.

Andorno, R. (2002). Biomedicine and international human rights law: In search of a global consensus. Bulletin of the World Health Organization, 80(12), 959–963.

Baylis, F. (2019). Altered inheritance: CRISPR and the ethics of human genome editing. Harvard University Press.

Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2014). The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9. Science, 346(6213), 1258096. https://doi.org/10.1126/science.1258096

Greely, H. T. (2019). CRISPR'd babies: Human germline genome editing in the "He Jiankui affair". Journal of Law and the Biosciences, 6(1), 111–183. https://doi.org/10.1093/jlb/lsz010

Habermas, J. (2003). The future of human nature. Polity Press.

Lander, E. S., Baylis, F., Zhang, F., Charpentier, E., Berg, P., Bourgain, C., Friedrich, B., Joung, J. K., Li, J., Liu, D. R., Naldini, L., Nie, J.-B., Qiu, R., Schoene-Seifert, B., Shao, F., Terry, S., Wei,

W., & Winnacker, E.-L. (2019). Adopt a moratorium on heritable genome editing. Nature, 567(7747), 165–168. https://doi.org/10.1038/d41586-019-00726-5

Lanphier, E., Urnov, F., Haecker, S. E., Werner, M., & Smolenski, J. (2015). Don't edit the human germ line. Nature, 519(7544), 410–411. https://doi.org/10.1038/519410a

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2017). Human genome editing: Science, ethics, and governance. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/24623

National Academy of Medicine, National Academy of Sciences, & The Royal Society. (2020). Heritable human genome editing. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/25665

Nuffield Council on Bioethics. (2018). Genome editing and human reproduction: Social and ethical issues. Nuffield Council on Bioethics.

Sandel, M. J. (2007). The case against perfection: Ethics in the age of genetic engineering. Harvard University Press.

Savulescu, J. (2001). Procreative beneficence: Why we should select the best children. Bioethics, 15(5–6), 413–426. https://doi.org/10.1111/1467-8519.00251

UNESCO. (1997). Universal Declaration on the Human Genome and Human Rights.

UNESCO. (2003). International Declaration on Human Genetic Data.

UNESCO. (2005). Universal Declaration on Bioethics and Human Rights.

World Health Organization. (2021a). Human genome editing: A framework for governance. World Health Organization.

World Health Organization. (2021b). Human genome editing: Recommendations. World Health Organization.

THE CONCEPT OF THE DIGITAL BODY AND THE CONSTRUCTION OF IDENTITY THROUGH THE DIGITAL BODY

DİJİTAL BEDEN KAVRAMI VE DİJİTAL BEDENİN KİMLİK İNŞASI

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

Öğr. Gör. Dr. Ecem KOCAOĞLAN
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Kamu Hukuku Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO: 0009-0007-9955-4327.

ABSTRACT

As digital technologies have become an inseparable part of everyday life, individual identity is increasingly shaped not only through the physical body but also through digital footprints, algorithmically generated profiles, and virtual interactions. The traditional understanding of the body in human rights law has acquired a new dimension through digitalization, giving rise to the concept of the digital body, which represents an individual's existence in digital environments. The digital body consists not only of information consciously shared by individuals but also of a dynamic identity space composed of location data, biometric records, online behaviors, consumption patterns, social media interactions, and algorithmic inferences generated by artificial intelligence systems. This study examines the concept of the digital body from the perspectives of law, human rights, and identity theory. It explores how the digital body transforms the traditional understanding of legal personality and bodily integrity while discussing the implications of digital identity for individual autonomy, privacy, personal data protection, and human dignity. The ability of algorithmic systems to predict individual preferences, influence behavior, and generate new identity categories through digital profiling raises significant legal and ethical concerns regarding an individual's freedom to construct and define their own identity. The legal protection traditionally afforded to the physical body cannot simply be extended to the digital environment. The digital body constitutes a distinct technological phenomenon and should be recognized as a new legal value deserving independent protection. It is continuously reproduced, replicated, and transformed into economic value independently of the individual's will. Protecting the digital body therefore requires a legal framework that goes beyond the right to personal data protection by safeguarding the integrity of digital identity, protecting individuals against algorithmic manipulation, and ensuring their freedom to determine and control their own digital existence.This study argues that, in the digital age, identity must be understood as being constructed not only through the biological body but also through the digital body. The law of the future should protect not only individuals' physical existence but also their digital bodies and the identities shaped through them, in accordance with the principles of human dignity and freedom. In this regard, the digital body is likely to become one of the central concepts in future human rights discourse.

Keywords: Digital Body; Digital Self; Algorithmic Identity; Digital Autonomy; Digital Personality.

ÖZET

Dijital teknolojilerin gündelik yaşamın ayrılmaz bir parçası hâline gelmesiyle birlikte bireyin kimliği, fiziksel beden yanında dijital ortamlarda bıraktığı veri izleri, algoritmalar tarafından oluşturulan profiller ve sanal etkileşimler aracılığıyla da şekillenmeye başlamıştır. Klasik insan haklarında bedene yüklenen anlam, dijitalleşme süreciyle yeni bir boyut kazanmış, fiziksel bedenin yanında, bireyin dijital varlığını temsil eden dijital beden olgusu ortaya çıkmıştır. Dijital beden, yalnızca kişinin bilinçli olarak paylaştığı bilgilerden değil, konum verileri, biyometrik kayıtlar, çevrim içi davranışlar, tüketim alışkanlıkları, sosyal medya etkileşimleri ve yapay zekâ sistemleri tarafından üretilen çıkarımlardan oluşan dinamik bir kimlik alanını ifade etmektedir. Çalışmamız, dijital beden kavramını hukuk, insan hakları ve kimlik kuramları çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Dijital bedenin, klasik kişilik ve bedensel bütünlük anlayışını nasıl dönüştürdüğüne odaklanılarak, dijital kimliğin bireyin özerkliği, mahremiyeti, kişisel verilerinin korunması ve insan onuruna etkileri tartışılacaktır.

Algoritmik sistemlerin bireyin tercihlerini öngörmesi, davranışlarını yönlendirmesi ve dijital profiller aracılığıyla yeni kimlik kategorileri üretmesi, bireyin kendi kimliğini oluşturma özgürlüğü bakımından önemli hukuki ve etik sorunlar doğurmaktadır. Fiziksel bedene yönelik hukuki korumanın, dijital ortama doğrudan taşınması yeterli değildir. Dijital beden, teknolojik bir olgudur ve korunması gereken yeni bir hukuki değerdir. Dijital beden, bireyin iradesinden bağımsız olarak sürekli yeniden üretilen, çoğaltılan ve ekonomik değere dönüştürülebilen bir veri bütünüdür. Dijital bedenin korunması, kişisel verilerin korunması hakkının ötesine geçen; dijital kimliğin bütünlüğünü, algoritmik manipülasyondan korunmayı ve bireyin kendi dijital varlığını belirleyebilme özgürlüğünü kapsayan yeni bir hak anlayışını gerekli kılmaktadır. Çalışmamız, dijital çağda kimliğin, biyolojik bedenle birlikte dijital beden üzerinden de inşa edilmesi gerektiğini savunmaktadır. Geleceğin hukuku, bireyin fiziksel varlığı yanında dijital bedenini ve bunun aracılığıyla şekillenen kimliğini, insan onuru ve özgürlük ilkeleri doğrultusunda korumalı ve bu korumayı sağlayacak yeni hukuki yaklaşımlar geliştirmelidir. Bu bağlamda dijital beden, geleceğin insan hakları tartışmalarının merkezînde olmaya adaydır.
Anahtar Kelimeler: Dijital beden, dijital benlik, algoritmik kimlik, dijital özerklik, dijital kişilik.

GİRİŞ

Hukuk, insanı tarihsel olarak fiziksel dünyada var olan bedensel bir özne üzerinden kavramıştır. Kişilik, yaşam, sağlık, bedensel bütünlük, özel hayat, kişisel özerklik ve insan onuru gibi hukukun temel kavramlarının önemli bir bölümü insanın bedensel varoluşundan tamamen bağımsız değildir. İnsan bedeni yalnızca biyolojik bir gerçeklik değil, kişiliğin görünür olduğu, özerkliğin kullanıldığı ve insan onurunun somutlaştığı temel alanlardan biridir. Bu nedenle modern insan hakları hukukunun gelişiminde beden üzerindeki iktidarın sınırlandırılması, bedene yönelik zorlayıcı müdahalelerin engellenmesi ve kişinin kendi bedeniyle ilgili kararlar üzerinde belirli bir özerklik alanına sahip olması merkezî bir yer tutmuştur.

Dijitalleşme insanın fiziksel varlığını ortadan kaldırmamakta; ancak insanın toplumsal ve hukuki görünürlüğünü fiziksel bedenin ötesine genişletmektedir. Günümüz bireyi akıllı telefonlar, sosyal medya platformları, elektronik ödeme sistemleri, sağlık uygulamaları, giyilebilir teknolojiler, biyometrik tanıma sistemleri, konum servisleri ve yapay zekâ uygulamalarıyla etkileşime girdiği hemen her durumda veri üretmektedir. Bu veriler birbirinden bağımsız kayıtlar olarak kalmamakta; depolanmakta, ilişkilendirilmekte, karşılaştırılmakta, sınıflandırılmakta ve birey hakkında yeni sonuçlar üretmek amacıyla kullanılmaktadır. Böylelikle gerçek kişinin yanında onun çeşitli teknik sistemler içinde dolaşıma giren dijital temsilleri oluşmaktadır (Haggerty & Ericson, 2000, ss. 605–622; Solove, 2004; Cohen, 2012).

Haggerty ve Ericson'ın çağdaş gözetim sistemlerini açıklamak üzere geliştirdikleri surveillant assemblage yaklaşımı, bedenlerin bulundukları fiziksel bağlamlardan soyutlanarak ayrı veri akışlarına dönüştürülmesini ve bu akışların farklı ortamlarda yeniden birleştirilerek "data doubles" oluşturmasını açıklamaktadır (Haggerty & Ericson, 2000, ss. 611–614). Dijital beden düşüncesinin teorik başlangıç noktalarından biri burada bulunmaktadır. Bununla birlikte günümüz yapay zekâ sistemlerinin yaptığı işlem artık yalnızca insanın mevcut özelliklerini kaydetmek ve birleştirmek değildir. Algoritmalar, kaydedilmiş bilgilerden hareket ederek kişinin açıklamadığı özellikleri tahmin etmekte ve gelecekte nasıl davranabileceğine ilişkin olasılıklar üretmektedir (Hildebrandt & Koops, 2010, ss. 428–460; Mittelstadt et al., 2016; Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 494–620).

Bu nedenle dijital toplumda birey yalnızca gerçekleştirdiği davranışlar nedeniyle değerlendirilmemektedir. Henüz gerçekleştirmediği ancak gerçekleştirme ihtimali yüksek görülen davranışlar da onun ekonomik ve toplumsal fırsatlarını etkileyebilmektedir. Kredi puanı kişinin gelecekte borcunu ödeme ihtimalini, sağlık risk modeli gelecekte belirli bir hastalığa yakalanma olasılığını veya davranışsal profil kişinin gelecekte bir ürünü satın alma ihtimalini hesaplayabilir. Böylelikle veri temsili geçmişin kaydından geleceğin modeline dönüşmektedir (Citron & Pasquale, 2014, ss. 1–33; Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 506–520).

Kimlik inşısı açısından daha derin bir dönüşüm de burada ortaya çıkmaktadır. Geleneksel olarak kişinin kimliği, bireyin kendisi hakkındaki anlatısı ile başkalarının ve toplumsal kurumların ona ilişkin değerlendirmeleri arasında şekillenmektedir. Dijital toplum bu ilişkiye üçüncü bir aktör eklemektedir: algoritmik sistem.

Algoritmalar bireyin verilerinden hareket ederek onu çeşitli kategorilere yerleştirmekte ve bu kategoriler yeni veri geldikçe sürekli değişmektedir. Cheney-Lippold'un "algoritmik kimlik" yaklaşımı, bu yeni kimlik üretim biçiminin önemli teorik açıklamalarından birini sunmaktadır (Cheney-Lippold, 2011, ss. 164–181).

Dijital çağın temel hukuki sorusu yalnızca "kişinin verilerini kim topluyor?" değildir. Daha temel bir soru bulunmaktadır: Toplanan ve türetilen veriler aracılığıyla nasıl bir kişi inşa edilmektedir? Bu soru, dijital beden kavramı üzerinden ele alındığında, dijital beden; kişinin bilinçli olarak açıkladığı veriler, davranışsal izleri, biyometrik özellikleri, ilişkisel bilgileri ve bu veri katmanlarından algoritmik yöntemlerle türetilen profiller, tahminler ve çıkarımların oluşturduğu; farklı sistemlerde çoğaltılabilen, sürekli değişebilen ve gerçek kişinin yaşamında sonuçlar yaratabilen dinamik dijital temsil bütünlüğü ifade etmektedir.

Tanımlamanın iki unsuru özellikle önemlidir. İlk olarak dijital beden yalnızca "kişinin verdiği veriler"den oluşmamaktadır. Başka kişi, kurum ve algoritmik sistemler tarafından birey hakkında üretilen çıkarımlar da bu bütünlüğün parçalarıdır. İkinci olarak dijital beden gerçek kişiden bağımsız sanal bir varlık değildir. Dijital temsil üzerinden verilen kredi, sigorta, işe alma, sağlık, reklam veya kamu güvenliği kararları sonuçlarını gerçek kişinin yaşamında doğurmaktadır (Solove, 2004; Citron & Pasquale, 2014, ss. 1–33).

Dijital beden kavramına karşı yöneltilebilecek en önemli eleştiri burada ortaya çıkmaktadır: Mahremiyet, kişisel veri, kişilik hakkı, dijital kimlik ve algoritmik kimlik kavramları zaten mevcutken ayrıca dijital beden kavramına neden ihtiyaç vardır? Bu itiraz çalışmanın normatif iddiasının sınırlarını belirlemek bakımından önemlidir. Dijital beden kavramı mevcut hakların veya kavramların yerini almak amacıyla geliştirilmemektedir. Kavramın teorik işlevi, farklı hukuk alanlarında parçalı biçimde korunan olguların aynı insan üzerinde birleştiğini göstermektir. Kişisel verilerin korunması veri işleme sürecini; mahremiyet bilgi akışlarının meşruiyetini; kişilik hakkı kişisel değerleri; ayrımcılık yasağı sınıflandırmaların eşitsiz sonuçlarını; kişisel özerklik ise kişinin kendi yaşamını oluşturma kapasitesini korumaktadır. Dijital beden, bütün bu koruma biçimlerinin kesiştiği ortak insan temsilini görünür hâle getirmektedir (Lynskey, 2015; Nissenbaum, 2010; Cohen, 2012).

Çalışmamızın temel sorusu, dijital çağın ortaya çıkardığı yeni hukuki problem yalnızca kişisel verilerin daha yoğun biçimde işlenmesi değildir. Asıl sorun, kişinin veriler aracılığıyla yeniden temsil ve kısmen yeniden inşa edilmesidir.

FİZİKSEL BEDENDEN DİJİTAL BEDENE

Bedenin Hukuki ve Normatif Anlamı

Modern hukukta insan bedeni sıradan bir maddi nesne olarak değerlendirilmemektedir. Beden üzerinde gerçekleştirilen müdahale kişinin kişiliğinden tamamen ayrılabilen bir varlığa yönelik müdahale değil, doğrudan kişinin kendisine yönelik müdahaledir. Bedensel bütünlüğün korunmasının arkasında özerklik, insan onuru ve kişiliğin serbestçe geliştirilmesi gibi temel değerler bulunmaktadır.

AİHS'nin 8. maddesinin özel hayata ilişkin korumasının zaman içinde fiziksel ve psikolojik bütünlük, kimlik ve kişisel gelişim gibi alanları da kapsayacak şekilde genişlemesi, beden ile kişilik arasında kurulan bu normatif bağlantıyı ortaya koymaktadır.

Dijitalleşme bu yapıyı ortadan kaldırmamakta; aksine fiziksel bedenin kendisini de giderek veriye dönüştürmektedir. Yüz geometrisi, ses, parmak izi, iris, yürüyüş tarzı ve diğer biyometrik veya fizyolojik özellikler dijital veriye çevrilerek kişinin kimliğinin doğrulanması, tespit edilmesi veya sınıflandırılması amacıyla kullanılabilmektedir.

Böylece bedenin belirli özellikleri fiziksel bedenden ayrılabilmekte ve farklı teknik ortamlarda yeniden işlenebilmektedir. Dijital beden fiziksel bedenin karşıtı değil, onun fiziksel ve toplumsal varlığın verileştirilebilen uzantısıdır.

Verileştirme ve Hesaplanabilir İnsan

Dijital bedenin ortaya çıkmasını mümkün kılan temel süreçlerden biri verileştirmedir. Verileştirme, gündelik yaşamın daha önce geçici, gözlemlenemez veya hesaplama dışı kabul edilen unsurlarının ölçülebilir ve işlenebilir verilere dönüştürülmesini ifade etmektedir. Kişinin hareketleri, iletişim ilişkileri, tüketim davranışları, uyku örüntüleri, dikkat süresi, fizyolojik süreçleri veya çevrim içi

etkileşimleri veri üretiminin nesnesi hâline gelebilmektedir (van Dijck, 2014, ss. 197–208; Couldry & Mejias, 2019).
Verileştirmenin hukuki önemi yalnızca daha fazla bilgi toplanmasından kaynaklanmamaktadır. Veri hâline gelen davranış **hesaplanabilir** hâle gelmektedir. Hesaplanabilir olan karşılaştırılabilir, sınıflandırılabilir, puanlanabilir ve geleceğe ilişkin tahmin modellerinin girdisi hâline getirilebilir. Bunun sonucunda birey giderek yalnızca yaptığı davranışların öznesi değil, hesaplanan davranış ihtimallerinin de nesnesi olmaktadır.
Verileştirmenin tarafsız bir kayıt süreci olarak kabul edilmesi ise yanıltıcı olabilir. Hangi davranışların kaydedileceği, hangi değişkenlerin anlamlı kabul edileceği ve hangi korelasyonların karar sürecine dâhil edileceği teknik olduğu kadar normatif seçimlerdir (van Dijck, 2014, ss. 197–208; Mittelstadt et al., 2016). Bu nedenle dijital beden yalnızca bireyin bıraktığı dijital izlerden oluşmaz. Hangi izlerin kişinin kimliğini temsil etmeye değer bulunduğuna karar veren sistemlerin ürünüdür.

DATA DOUBLE'DAN DİJİTAL BEDENE

Haggerty ve Ericson'ın ortaya koyduğu data double kavramı, çağdaş gözetim sistemlerinin bedenleri veri akışlarına ayırarak farklı bağlamlarda yeniden birleştirmesini açıklamaktadır. Gerçek insanın yanında ortaya çıkan bu dijital temsiller, kişinin belirli kurumlar karşısında nasıl değerlendirileceğini etkileyebilmektedir (Haggerty & Ericson, 2000, ss. 605–622).
Ancak dijital beden data double kavramından daha geniş bir olguyu ifade etmektedir.
Data double ağırlıklı biçimde mevcut bilgilerin dijital temsiline ve gözetim sistemlerine odaklanırken günümüz algoritmik sistemleri kişinin kendisinin sağlamadığı yeni bilgiler de üretmektedir.
Dijital beden: yalnızca "hakkımda kaydedilenler" değil, aynı zamanda "hakkımda hesaplananlar"dır. Bu ayrım dijital beden kavramının en önemli hukuki özelliklerinden biridir. Çünkü birey hakkında alınan kararın dayanağı artık kişinin gerçekleştirdiği davranış değil, onun hakkında oluşturulan tahmini bir özellik olabilir.
Wachter ve Mittelstadt'ın çıkarımsal veriler bakımından tespit ettiği hesap verebilirlik sorunu, özellikle önemli kararların tahmine dayalı veya görüş niteliğindeki çıkarımlar üzerinden verilmesi hâlinde daha görünür hâle gelmektedir (Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 494–520).

DİJİTAL BEDENİN KAVRAMSAL KATMANLARI

Dijital beden birbirinden tamamen bağımsız olmayan en az beş veri katmanından oluşmaktadır.
Birinci katman iradi verilerdir. Kişinin sosyal medya paylaşımları, çevrim içi profilleri, fotoğrafları veya doğrudan sunduğu kişisel bilgiler bu kapsamda değerlendirilebilir.
İkinci katman davranışsal verilerdir. Tıklamalar, arama geçmişleri, izleme süreleri, konum hareketleri, satın alma örüntüleri veya uygulama kullanımları kişinin doğrudan açıklama yapmasına gerek olmaksızın davranışlarından türetilmektedir.
Üçüncü katman bedensel ve biyometrik verilerdir. Yüz, ses, parmak izi, iris, yürüyüş tarzı veya fizyolojik göstergeler fiziksel beden ile dijital beden arasında doğrudan bağlantı kurmaktadır.
Dördüncü katman ilişkisel verilerdir. Bir kişinin kimlerle iletişim kurduğu, hangi ağların parçası olduğu veya hangi gruplarla ortak davranış gösterdiği kendisi hakkında bilgi üretmek amacıyla kullanılabilir. Bu nedenle dijital beden sadece bireysel değil, aynı zamanda ilişkisel bir yapıdır. Beşinci ve özellikle önemli katman çıkarımsal verilerdir. Bunlar kişiden doğrudan elde edilmez; diğer verilerden hesaplanan riskler, olasılıklar, sınıflandırmalar ve tahminlerdir (Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 494–620).,
Dijital bedenin hukuki özgünlüğü özellikle bu son katmanda ortaya çıkmaktadır. Dijital çağda bireyin yaşamını en çok etkileyen veri, giderek onun verdiği veri olmaktan çıkıp ondan türetilen sonuç hâline gelebilmektedir.

DİJİTAL BEDENİN YAKIN KAVRAMLARDAN AYRILMASI

Dijital Kimlik

Dijital kimlik bireyin dijital ortamda tanınmasını veya kendisini temsil etmesini sağlayan bilgiler bütünü olarak kullanılmaktadır. Elektronik kimlik bilgileri, kullanıcı hesapları ve çevrim içi profiller bu kavramın tipik örnekleridir. Dijital beden daha geniştir.

Kişinin kendisi için oluşturduğu çevrim içi kimlik dijital bedenin bir parçası olmakla birlikte, kişinin bilgisi dışında oluşturulan davranışsal profiller ve çıkarımlar da dijital beden kapsamındadır. Bu nedenle: dijital kimlik "dijital dünyada kim olduğum"; dijital beden ise "dijital sistemlerde hangi veri yapıları üzerinden var edildiğim" sorusuna yönelir.

Algoritmik Kimlik

Cheney-Lippold'un algoritmik kimlik kavramı algoritmaların kullanıcı davranışlarından hareket ederek kişileri değişken kategorilere yerleştirmesini açıklamaktadır (Cheney-Lippold, 2011, ss. 164–181). Algoritmik kimlik ile dijital beden birbirine yakın olmakla birlikte aynı değildir. Algoritmik kimlik algoritmanın kişi hakkında ürettiği sınıflandırılmış temsildir.

Dijital beden ise bu sınıflandırmayı mümkün kılan daha geniş veri ve çıkarım altyapısıdır.

Dijital beden kimliğin algoritmik hammaddesi; algoritmik kimlik ise bu hammaddenin sınıflandırılmış sonuçlarından biridir.

Dijital Kişi

Solove'un The Digital Person çalışması, bireyler hakkında kurumlar tarafından oluşturulan dijital dosyaların insanların gerçek yaşamlarındaki fırsatları ve kararları etkileyebileceğini erken dönemde ortaya koymuştur (Solove, 2004). Ancak bu çalışmada kullanılan dijital beden kavramı gerçek kişiden bağımsız yeni bir dijital kişi yaratmamaktadır. Hak sahibi olan, gerçek kişidir. Dijital bedenin korunması, gerçek kişiden bağımsız bir elektronik kişilik tanınması anlamına gelmemektedir. Koruma konusu, gerçek kişinin dijital ortamlarda temsil edilme biçimidir.

Bilgisel Kimlik

Floridi'nin bilgisel etik yaklaşımı kişiye ilişkin bilgiyi kişinin dışındaki sıradan bir nesne olarak değerlendirmemekte ve kimlikle kişisel bilgi arasında daha güçlü bir ilişki kurmaktadır (Floridi, 2013). Dijital beden yaklaşımı bu düşünceye yakın olmakla birlikte iki noktada ayrılmaktadır. İlk olarak fiziksel bedenle bağlantısını korur. İkinci olarak yalnızca kişisel bilginin kimlik bakımından önemine değil, bu bilginin algoritmik karar ve yönlendirme gücüne dönüşmesine odaklanır. Dijital bedenin kavramsal formülü bu nedenle şu şekilde özetlenebilir: Dijital beden = veri temsili + algoritmik çıkarım + kimlik etkisi + gerçek yaşam sonucu.

ALGORİTMİK KİMLİK İNŞASI

Dijital toplumda kimliğin farklı ve birbirleriyle etkileşim hâlindeki düzeylerinden söz edilebilir. Birinci düzey öz-kimliktir: bireyin kendisini nasıl tanımladığıdır. İkinci düzey toplumsal kimliktir: diğer kişilerin ve kurumların bireyi nasıl değerlendirdiğidir. Üçüncü düzey ise algoritmik kimliktir: hesaplama sistemlerinin bireyin verilerinden hareketle onu hangi kategorilere yerleştirdiğidir (Cheney-Lippold, 2011, ss. 164–181).

Bu üç düzeyin birbiriyle örtüşmesi zorunlu değildir. Birey kendisini güvenilir bir borçlu olarak değerlendirebilir, ancak kredi algoritması onu yüksek riskli kabul edebilir. Birey kendisini belirli bir tüketici veya politik kategoriyle özdeşleştirmediği hâlde algoritmik profil onu söz konusu kategori içinde değerlendirebilir.

Sorun, algoritmik kimliğin yalnızca sembolik bir temsil olarak kalmamasıyla ortaya çıkmaktadır. Algoritmik profil krediye erişim, işe alınma, sigorta koşulları veya içerik görünürlüğü üzerinde etkili olduğunda gerçek kişinin yaşam fırsatlarını şekillendirmeye başlar (Barocas & Selbst, 2016, ss. 671–732; Citron & Pasquale, 2014, ss. 1–33).

Bu noktada sınıflandırmanın tarafsız bir keşif faaliyeti olduğu varsayımı da sorgulanmalıdır. Algoritmik sistem hangi özelliklerin risk, güvenilirlik veya uygunluk göstergesi olduğuna karar verirken belirli bir insan modeli oluşturur. Sınıflandırma sistemlerinin toplumsal dünyayı yalnızca tasvir etmediği, aynı zamanda belirli kategoriler aracılığıyla düzenlediği uzun süredir gösterilmektedir (Bowker & Star, 1999). Algoritma bu anlamda yalnızca kişiyi tanımaz. Kişiye ilişkin belirli bir okuma biçimi üretir.

ÇIKARIMSAL VERİLER VE BENDEN TÜRETİLEN BEN

Yapay zekâ çağında kişiye ilişkin bilgi giderek doğrudan açıklanan bilgilerden değil, bunların analizi sonucunda oluşturulan tahminlerden üretilmektedir. Bu durum dijital beden içerisinde iki farklı "ben" ortaya çıkarmaktadır: benim söylediğim ben ve benden türetilen ben. İkinci temsil bireyin doğrudan iradesinin ürünü değildir. Bununla birlikte sonuçları bireyin yaşamında ortaya çıkabilir. Wachter ve Mittelstadt, özellikle önemli sonuçlara yol açan yüksek riskli çıkarımlar bakımından daha güçlü bir hesap verebilirlik mekanizmasına ihtiyaç bulunduğunu savunmakta ve "makul çıkarımlar hakkı" yaklaşımını geliştirmektedir (Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 494–620).

Dijital beden bakımından iki ayrı problem söz konusudur. Birinci problem yanlış çıkarımdır.

Algoritma kişi hakkında gerçeğe aykırı bir sonuca ulaşabilir. İkinci ve daha zor problem doğru fakat gayrimeşru çıkarımdır. Algoritmanın kişinin açıklamak istemediği hassas bir özelliği doğru tahmin etmesi, bu çıkarımın otomatik biçimde hukuken kabul edilebilir olduğu anlamına gelmez. Bu nedenle dijital beden hukukunda yalnızca: "Çıkarım doğru mu?" sorusu sorulmamalıdır. Aynı zamanda: "Bu çıkarımın kişi hakkında yapılması ve kullanılması meşru mudur?" sorusu sorulmalıdır.

PROFİLLEME, PUANLAMA VE GELECEĞİN DİJİTAL BEDENİ

GDPR m. 4(4), profillemeyi gerçek kişiye ilişkin belirli kişisel yönlerin değerlendirilmesi amacıyla kişisel verilerin otomatik olarak işlenmesi olarak tanımlamakta; iş performansı, ekonomik durum, sağlık, kişisel tercihler, ilgi alanları, güvenilirlik, davranış ve konum gibi alanları örneklemektedir. Profilleme bu anlamda yalnızca kimlik tespiti değil, bir değerlendirmedir.

Değerlendirme ise çoğu durumda geleceğe yöneliktir. Kredi skoru gelecekte ödeme yapma ihtimalini; sigorta puanı gelecekte ortaya çıkabilecek riski; işe alım modeli gelecekteki performansı; kişiselleştirilmiş pazarlama ise gelecekteki tüketim davranışını tahmin etmektedir.

Dolayısıyla dijital beden geçmişin arşivi olmaktan çıkarak: olası geleceğin dijital bedenine dönüşmektedir.

ABAD'ın 7 Aralık 2023 tarihli SCHUFA Holding (Scoring) kararının önemi burada ortaya çıkmaktadır. Bir gerçek kişinin gelecekte ödeme yükümlülüklerini yerine getirme ihtimaline ilişkin otomatik biçimde oluşturulan olasılık değerinin üçüncü kişinin kararında belirleyici rol oynaması, GDPR m. 22 bağlamında otomatik karar verme korumasının kapsamına girebilmektedir. Bu durum dijital beden teorisinin temel savlarından birini somutlaştırmaktadır:

Kişinin ekonomik yaşamını yalnızca gerçek davranışları değil, kendisi hakkında hesaplanan olasılık da etkileyebilir. Kişi böylelikle gelecekte yapabileceği varsayılan şeylerin sonuçlarını bugünden yaşamaya başlayabilir.

SİSTEM BİREYLERİ GÖRME BİÇİMİ

Klasik kişisel veri koruma yaklaşımında bireyin en temel sorularından biri "hakkımda hangi veriler işleniyor?" sorusudur. Algoritmik toplumda bu soru gerekli olmakla birlikte yeterli değildir. Bir başka soru daha ortaya çıkmaktadır: Bu verilerden hareketle benim hakkımda hangi sonuçlara ulaşıyorsunuz? ABAD'ın 27 Şubat 2025 tarihli Dun & Bradstreet Austria kararı bu bakımdan önemli bir gelişmedir. GDPR m. 15(1)(h) bağlamında ilgili kişinin otomatik kararın arkasındaki mantık hakkında anlamlı bilgi edinme hakkı, açıklamanın kişinin kendisi hakkında ortaya çıkan sonucun nasıl üretildiğini anlayabilmesine ve bu sonuca etkili biçimde itiraz edebilmesine hizmet edecek şekilde yorumlanmıştır. Bu gelişme dijital beden yaklaşımının dijital görünürlük boyutunu güçlendirmektedir. Dijital görünürlük yalnızca: "Hakkımda hangi veriniz var?" sorusunun cevabını öğrenmek değildir. Daha ileri düzeyde: "Bu veriler sizi, beni nasıl bir kişi olarak görmeye götürdü?" sorusunun cevabını alabilmektir. Dijital bedenin şeffaflığı yalnızca veri şeffaflığı değil, bir Temsil şeffaflığıdır.

DİJİTAL BEDEN VE KİŞİSEL ÖZERKLİK

Kişisel özerklik bireyin kendi yaşamına ilişkin anlamlı tercihler oluşturabilmesini ve bunlara göre davranabilmesini ifade eder. Ancak algoritmik karar mimarileri özerkliğe yönelik müdahalenin biçimini değiştirmektedir. Kişinin tercihlerini yasaklamak veya onu açık biçimde zorlamak gerekmez. Hangi bilginin ilk gösterildiği, hangi seçeneğin varsayılan olduğu, hangi içeriğin önerildiği veya hangi mesajın hangi anda sunulduğu kişilerin karar ortamını etkileyebilir.

Yeung'un "hypernudge" yaklaşımı, büyük veri sistemlerinin karar mimarilerini dinamik, kişiselleştirilmiş ve sürekli güncellenebilir hâle getirmesini açıklamaktadır (Yeung, 2017, ss. 118–136). Bu nedenle dijital beden sadece: kişinin kim olduğunu tahmin etmenin değil, aynı zamanda kişinin nasıl etkilenebileceğini tahmin etmenin altyapısı hâline gelebilir.
Susser, Roessler ve Nissenbaum'un çevrim içi manipülasyon analizi de veri temelli dijital ortamların kişinin karar süreçlerine görünmez biçimde müdahale edebilme kapasitesinin özerklik açısından önemini ortaya koymaktadır (Susser et al., 2019, ss. 1–45). Dijital özerklik bu nedenle yalnızca veriler üzerinde kontrol anlamına gelmemelidir. Aynı zamanda kişinin dijital bedeninden elde edilen bilgilerin, onun bilişsel veya davranışsal zayıflıklarını sistematik biçimde sömürmek amacıyla kullanılmasına karşı korunmasını da kapsamalıdır.

BİYOMETRİK VERİLER: FİZİKSEL BEDENİN SAYISALLAŞTIRILMASI

Biyometrik teknolojiler dijital beden kavramının en somut görünümünü meydana getirmektedir. Çünkü burada fiziksel beden doğrudan veriye dönüştürülmektedir. Yüz, iris, parmak izi, ses, yürüyüş tarzı veya başka fiziksel ve davranışsal özellikler dijital şablonlara çevrilerek kişinin tanımlanması, doğrulanması veya kategorize edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Biyometrik veri bu nedenle yalnızca beden hakkında bilgi değildir. Belirli teknik işlevler bakımından bedenin dijital temsilidir.
AİHM'in S. and Marper/Birleşik Krallık kararı, parmak izi ve DNA profillerinin muhafaza edilmesini özel hayat kapsamında değerlendirerek biyometrik verilerin kişinin kimliği ve özel yaşamıyla güçlü bağlantısını ortaya koymuştur. Daha yakın tarihli Glukhin/Rusya kararında ise AİHM, barışçıl bir gösterici hakkında yüz tanıma teknolojisinin kullanılmasını AİHS m. 8 ve m. 10 kapsamında değerlendirmiştir. Burada önemli olan, kişinin fiziksel olarak görünür olması ile otomatik biçimde kimliklendirilmesi arasındaki farktır.
Kamusal alanda insanın görülmesi, geleneksel olarak onun her zaman otomatik ve sürekli biçimde kimliğinin tespit edilmesi anlamına gelmez. Yüz tanıma teknolojileri fiziksel görünürlüğü: makine tarafından tanınabilir ve aranabilir kimliğe dönüştürmektedir. AB Yapay Zekâ Tüzüğü'nün biyometrik tanımlama, biyometrik kategorizasyon ve duygu tanıma sistemlerine özel riskler atfetmesi de bu dönüşümün düzenleyici karşılığıdır. Risk yalnızca biyometrik verinin kaybolması veya çalınması değildir. Bedenin otomatik tanıma, sınıflandırma ve çıkarım altyapısına dönüştürülmesidir.

MAHREMİYETTEN DİJİTAL BÜTÜNLÜĞE

Mahremiyet dijital bedenin korunmasında merkezî bir hak olmakla birlikte, onu yalnızca gizliliğin korunmasıyla sınırlamak çağdaş veri işleme pratiklerini açıklamak için yetersizdir.
Nissenbaum'un bağlamsal bütünlük yaklaşımı, mahremiyet sorununu bilginin tamamen açıklanıp açıklanmamasından ziyade, bilgi akışının belirli sosyal bağlamın normlarına uygun olup olmadığı üzerinden ele almaktadır (Nissenbaum, 2010).
Dijital beden yaklaşımı bu düşünceyi bir adım ileri taşımaktadır. Farklı bağlamlarda hukuka uygun şekilde toplanmış verilerin birleşmesi sonucunda bireyin hiç açıklamadığı yeni bir kimlik profili oluşturulabilir. Sorun yalnızca: **"**Veri yanlış bağlama aktarıldı mı?" değildir. Aynı zamanda: "Bu verilerin birleşmesiyle kişi hakkında ne üretildi?" sorusudur. Zira dijital bütünlük mahremiyetten daha geniş bir normatif boyuta sahiptir.

KİŞİSEL VERİLERİN KORUNMASI HUKUKUNUN YETERLİLİĞİ

Dijital beden teorisine yöneltilebilecek en kuvvetli itirazlardan biri, GDPR kişisel veri, profilleme, biyometrik veri, otomatik karar verme, erişim, düzeltme, silme ve itiraz haklarını zaten düzenlediğine göre yeni bir "dijital beden" kavramı ne kazandırmaktadır? olarak yapılmaktadır.
GDPR gerçekten de dijital bedenin önemli parçalarına güçlü hukuki koruma sağlamaktadır. Hukuka uygunluk, dürüstlük, şeffaflık, amaçla sınırlılık, veri minimizasyonu, doğruluk ve hesap verebilirlik ilkeleri bireyin dijital temsilinin oluşturulma biçimini doğrudan etkileyebilir.
Erişim ve düzeltme hakları bireyin kendisi hakkında işlenen bilgilere ilişkin kontrol alanını güçlendirmektedir. GDPR m. 22 de belirli otomatik kararlar bakımından özel güvenceler sağlamaktadır. EDPB tarafından benimsenen otomatik karar verme ve profillemeye ilişkin WP29 Rehberi de profillemenin birey bakımından doğurabileceği önemli riskleri ayrıntılı biçimde ele almaktadır.

ABAD'ın SCHUFA ve Dun & Bradstreet Austria kararları veri koruma hukukunun otomatik puanlama ve açıklanabilirlik karşısında dinamik biçimde yorumlanabileceğini de göstermektedir. Kişisel veri hukuku temel olarak veri işleme faaliyetine yöneliktir. Dijital beden yaklaşımı ise bu işlemenin insan hakkında meydana getirdiği temsile yönelmektedir. Tek tek kullanılan verilerin tamamı doğru olabilir. Buna rağmen bunlardan oluşturulan profil kişiyi ciddi biçimde yanlış temsil edebilir. Tek tek verilerin her biri hukuka uygun biçimde toplanmış olabilir.Fakat bunların birleştirilmesi bireyin kendisinin hiçbir zaman açıklamadığı son derece kapsamlı bir kimlik modeli ortaya çıkarabilir. Bu nedenle veri koruma ile dijital beden birbirinin alternatifi değildir. Dijital beden yaklaşımı, veri koruma hukukunun koruduğu değerlerin kişilik, özerklik ve insan onuru ile bağlantısını görünür hâle getirmektedir.

DİJİTAL BEDEN VE İNSAN ONURU

Dijital bedenin hukuki korunmasına güçlü bir normatif temel sağlayabilecek kavramlardan biri insan onurudur. Algoritmik sistemlerin insanı belirli veriler üzerinden modellemesi tek başına insan onuruna aykırı değildir. Her karar sistemi belirli ölçüde soyutlama yapmak zorundadır.

Sorun: modelin insanın kendisi yerine geçirilmesidir. İnsan kredi skoru değildir. İnsan risk kategorisi değildir. İnsan tüketici segmenti değildir. İnsan davranış olasılığı değildir. Bunların her biri belirli amaçlarla insan hakkında oluşturulmuş kısmi modellerdir. Dijital çağda insan onurunun önemli işlevlerinden biri model ile insan arasındaki bu farkı korumaktır.

UNESCO'nun Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı, yapay zekâ sistemlerinin yaşam döngüsü boyunca insan hakları, insan onuru, özerklik ve mahremiyetle uyumlu olması gereğini vurgulamaktadır (UNESCO, 2021). Avrupa Konseyi'nin 2024 tarihli Yapay Zekâ ve İnsan Hakları, Demokrasi ve Hukukun Üstünlüğü Çerçeve Sözleşmesi de yapay zekâ sistemlerinin yaşam döngüsündeki faaliyetlerin insan hakları, demokrasi ve hukukun üstünlüğüyle uyumlu olmasını temel normatif hedef hâline getirmiştir. Dijital beden açısından insan onuruna yönelik üç temel risk belirlenebilir. İndirgeme de insan, ölçülebilir göstergelerinin toplamına indirgenir. Nesneleştirme de insan başkalarının ekonomik veya yönetsel amaçları için sürekli veri üreten ve üzerinde tahmin yapılan bir kaynağa dönüşür. Algoritmik tahakkümde ise, kişinin önemli yaşam fırsatları, kendisinin göremediği, anlamlandıramadığı ve etkili biçimde itiraz edemediği modeller tarafından belirlenmeye başlanır. Bu nedenle dijital bedenin bütünlüğünün korunması, veri güvenliğinden daha geniş olup insanın hesaplanabilir bir nesneye indirgenmesine karşı normatif bir sınır oluşturur.

DİJİTAL BEDENİN EKONOMİKLEŞMESİ

Dijital ekonominin önemli bir kısmı bireyin davranışlarının verileştirilmesine ve bu verilerin gelecekteki davranışları tahmin etmek amacıyla kullanılmasına dayanmaktadır. Zuboff bu yapıyı gözetim kapitalizmi kavramıyla açıklarken, Couldry ve Mejias insan yaşamının veri çıkarım süreçlerine dâhil edilmesini “veri sömürgeciliği” çerçevesinde ele almaktadır (Zuboff, 2019; Couldry & Mejias, 2019).

Dijital beden yaklaşımı ekonomikleştirilen şeyin yalnızca soyut veri olmadığını göstermektedir.

Ekonomik değere dönüştürülen: kişinin davranışı, dikkati, ilişkileri, tercihleri, duygusal tepkileri, zayıflıkları ve hatta gelecekteki davranış ihtimalleridir. Bununla birlikte dijital bedenin ekonomik değerinin bulunması, onu mülkiyet hukukuna tabi sıradan bir malvarlığı nesnesi olarak görmek için yeterli değildir. Aksine insan verilerinin mülkiyet paradigmasına tümüyle tabi tutulması, kişiliğin ekonomik parçalar hâlinde metalaştırılması riskini yaratabilir. Bu nedenle dijital bedenin temel hukuki paradigması: mülkiyet değil, kişilik olmalıdır.

ÇOĞALTILABİLİRLİK VE KİMLİK PARÇALANMASI

Fiziksel beden ile dijital beden arasındaki önemli farklardan biri tekilliktir. İnsan tek bir fiziksel bedende var olmaktadır. Dijital beden ise çoğaltılabilmektedir. Bir banka, sosyal medya platformu, sağlık kuruluşu, sigorta şirketi, kamu kurumu veya veri brokerı aynı birey hakkında birbirinden farklı profiller oluşturabilir. Böylece bireyin tek bir dijital bedeni yerine: çok sayıda dijital beden görünümü ortaya çıkmaktadır.

Bir sistem kişiyi düşük riskli; başka bir sistem yüksek riskli; bir diğer sistem belirli tüketim davranışına yatkın; başka bir sistem belirli politik veya sosyal kategoriye yakın olarak tanımlayabilir. Bu temsillerin önemli bir kısmı kişinin bilgisi dışında oluşturulabilir.

Böylelikle dijital çağda paradoksal bir durum meydana gelmektedir: İnsan hakkında tarihte hiç olmadığı kadar çok bilgi bulunmaktadır; fakat insan kendisinin sistemler tarafından nasıl temsil edildiğini giderek daha az bilmektedir. Bu durum dijital görünürlük düşüncesinin önemini artırmaktadır.

DİJİTAL BEDENİN BÜTÜNLÜĞÜ

Fiziksel beden ile dijital beden aynı ontolojik statüye sahip değildir. Bu nedenle bedensel bütünlük kavramının dijital dünyaya mekanik biçimde aktarılması doğru olmaz. Bütünlük düşüncesi, dijital alanda güçlü bir normatif işleve sahiptir. Tek bir veri kişinin kimliği hakkında sınırlı bilgi taşıyabilir. Çok sayıda verinin bir araya gelmesi ise niteliksel olarak farklı bir temsil yaratabilir. Konum verileri, arama geçmişi, satın alma davranışları, sosyal ilişkiler, biyometrik bilgiler, sağlık göstergeleri ve algoritmik tahminler birlikte kullanıldığında kişinin son derece kapsamlı bir dijital modeli oluşturulabilir.

Dijital bedenin bütünlüğü, tek tek veri parçalarının korunmasından daha geniş bir anlam taşımalıdır. Dijital bedenin bütünlüğü; gerçek kişinin veriler, biyometrik özellikler, davranışsal izler, ilişkisel bilgiler, algoritmik profiller ve çıkarımlar aracılığıyla oluşturulan dijital temsilinin insan onuru, kişisel özerklik ve kimliğini geliştirme özgürlüğüyle bağdaşmayacak biçimde çarpıtılmasına, parçalanmasına, manipüle edilmesine veya kişi üzerinde tahakküm aracına dönüştürülmesine karşı korunmasını ifade eder.

Dijital bütünlük, dört temel unsur içerir. Bilgisel bütünlük, kişiye ilişkin bilgilerin doğru, bağlama uygun, amaçla ilişkili ve güncel olması gerekir. Temsili bütünlük, bir algoritmik skor veya profil kişinin bütün kişiliğiymiş gibi kullanılmamalıdır. Özerklik bütünlüğü, dijital beden kişinin davranışsal zayıflıklarını sömürmek amacıyla kullanılan manipülasyon aracına dönüştürülmemelidir. Kimlik bütünlüğü, algoritmik kategoriler bireyin kimliğini değiştirme, geliştirme ve yeniden tanımlama kapasitesi üzerinde kalıcı tahakküm oluşturmamalıdır.

Bu unsurlar, dijital bütünlüğün yalnızca siber güvenlik veya veri güvenliği kavramı olmadığını göstermektedir.

DİJİTAL BEDENİN BÜTÜNLÜĞÜNÜN KORUNMASI

Dijital beden kavramının geliştirilmesi, otomatik olarak yeni bir temel hak oluşturulmasını gerektirmemektedir. Teknolojik her risk karşısında yeni temel hakların ilan edilmesi, temel hak sisteminin kavramsal sınırlarını belirsizleştirebilir.

Dijital bedenin çeşitli unsurları: insan onuru, özel hayat, kişisel verilerin korunması, kişilik hakkı, kişisel özerklik, ayrımcılık yasağı ve usuli güvenceler aracılığıyla korunmaktadır.

Sorun bu hakların bulunmaması değildir. Sorun, aynı dijital insan temsilini farklı parçalardan korumalarıdır. Bu nedenle çalışmada bağımsız bir dijital beden hakkı yerine mevcut hukuk düzeniyle uyumlu bir normatif ilke olarak, dijital bedenin bütünlüğünün korunması ilkesi, önerilmektedir:

Dijital bedenin bütünlüğünün korunması ilkesi; gerçek kişinin veriler, biyometrik özellikler, davranışsal izler, profiller, puanlamalar ve algoritmik çıkarımlar aracılığıyla oluşturulan dijital varlığının, insan onurunu zedeleyecek, kişisel özerkliği esaslı biçimde sınırlayacak, kimliğini ciddi biçimde çarpıtacak veya bireyi salt hesaplanabilir ve yönlendirilebilir bir nesneye dönüştürecek şekilde kullanılmasına karşı etkili hukuki koruma sağlar. Böylelikle Dijital bedenin bütünlüğünün korunması ilkesi, mevcut hakların dijital kişilik üzerindeki ortak normatif yönünü görünür hâle getiren bütünleştirici ilke olarak kabul edilebilir.

KORUNMA İLKESİNİN SOMUT HUKUKİ SONUÇLARI

Hukuki sonuçların ilki, dijital görünürlüktür. Birey yalnızca hangi kişisel verilerin işlendiğini değil, önemli sonuçlar doğuran işlemlerde bu verilerden kendisi hakkında hangi profillerin ve temel çıkarımların oluşturulduğunu da anlayabilmelidir. Dijital görünürlük, algoritmanın kaynak kodunu bütünüyle elde etme anlamına gelmemektedir. Amaç teknik şeffaflık değil: kişisel olarak anlamlı şeffaflıktır. Kişinin sistemin kendisini hangi gerekçelerle belirli bir kategoriye yerleştirdiğini makul ölçüde anlayabilmesi gerekir. Dun & Bradstreet Austria kararının açıklanabilirlik yaklaşımı bu düşünce için önemli hukuki destek sağlamaktadır.

Hukuki sonuçların ikincisi, algoritmik kimliğe itirazdır. Kişinin yaşamında önemli ekonomik veya hukuki sonuçlar meydana getiren algoritmik profillere etkili biçimde itiraz edebilmesi gerekir. İtiraz yalnızca ham verilerin doğru olup olmadığıyla sınırlı tutulmamalıdır. Gerektiğinde profilin: dayanaklarının, istatistiksel güvenilirliğinin, ilgili amaçla bağlantısının
ve normatif kabul edilebilirliğinin de tartışılabilmesi gerekir (Wachter & Mittelstadt, 2019, ss. 575–596).
Hukuki sonuçların üçüncüsü, dijital temsilin düzeltilmesidir. Kaynak verinin düzeltilmesi tek başına yeterli olmayabilir. Hatalı veriden türetilmiş profil veya skor sistemde yaşamaya devam ediyorsa kişinin dijital bedeni düzeltilmiş sayılmaz. Bu nedenle belirli durumlarda türetilmiş temsilin de yeniden değerlendirilmesi gerekir.
Hukuki sonuçların dördüncüsü, algoritmik manipülasyondan korunmadır. Kişinin dijital bedeninden elde edilen bilgiler onun bilişsel veya davranışsal zayıflıklarını sömürmek amacıyla kullanıldığında kişisel özerkliği doğrudan etkilenmektedir. Bu nedenle dijital bedenin bütünlüğü manipülatif kişiselleştirmeye karşı da koruyucu işlev üstlenmelidir.
Hukuki sonuçların beşincisi ise, model ile insan arasındaki ayrımın yapılmasıdır. Dijital beden yaklaşımının belki de en temel güvencesi budur: Algoritmik model, kişinin kendisi değildir. Skor kişi değildir. Profil kişi değildir. Tahmin kişi değildir. Risk sınıfı kişi değildir. Bunlar belirli amaçlar bakımından oluşturulmuş sınırlı temsillerdir. Hukuk özellikle kişi hakkında önemli sonuçlar yaratan karar süreçlerinde model ile gerçek insan arasındaki bu farkı korumalıdır.

TÜRK HUKUKU İÇİN DEĞERLENDİRME

Türk hukukunda dijital bedenin farklı unsurlarını korumaya elverişli önemli normatif dayanaklar bulunmaktadır. Anayasa'nın 17. maddesi kişinin maddi ve manevi varlığının korunmasını ve geliştirilmesini güvence altına alırken, 20. madde özel hayatın ve kişisel verilerin korunmasına ilişkin anayasal güvence sağlamaktadır. 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu, kişisel verilerin işlenmesine ilişkin temel ilkeleri ve ilgili kişinin haklarını düzenlemektedir.
Türk Medenî Kanunu'nun kişilik hakkına ilişkin hükümleri de dijital kimlik ve algoritmik temsil sorunlarının değerlendirilmesi bakımından geniş bir normatif kapasiteye sahiptir. Bu nedenle Türk hukuku bakımından da ilk aşamada yeni bir "dijital kişilik" statüsü yaratmak yerine mevcut kişilik, özel hayat, insan onuru ve kişisel veri koruma normlarının algoritmik profilleme ve çıkarımlar karşısında geliştirilmesi daha uygun görünmektedir.
Buna karşılık otomatik karar verme, yüksek riskli çıkarımlar, algoritmik açıklanabilirlik ve profillere etkili biçimde itiraz bakımından Avrupa Birliği hukukunda ortaya çıkan gelişmeler Türk hukukunun gelecekteki yorum ve reform tartışmaları bakımından dikkate alınmalıdır.

GELECEĞİN HUKUKUNDA DİJİTAL BEDEN

Dijital beden sorununun önümüzdeki yıllarda daha da belirgin hâle geleceği öngörülebilir.
Giyilebilir teknolojiler, kişisel yapay zekâ ajanları, dijital sağlık sistemleri, biyometrik tanıma,
sanal ve artırılmış gerçeklik, duygu analizi, insan dijital ikizleri ve sürekli çalışan sensör sistemleri, fiziksel beden ile dijital temsil arasındaki ilişkiyi yoğunlaştıracaktır.
Bu nedenle geleceğin hukukunda yalnızca: "Kişinin verileri hukuka uygun işlendi mi?" sorusunu sormak yeterli olmayacaktır. Bundan başka şu soruların da sorulması gerekecektir:
Bu verilerden nasıl bir insan modeli oluşturuldu? Model hangi amaç için oluşturuldu? Kişi bu modeli öğrenebiliyor mu? Modele itiraz edebiliyor mu? Model gerçek kişinin fırsatlarını ne ölçüde belirliyor? Model giderek gerçek kişinin yerine mi geçiyor? Dijital beden kavramının hukuk teorisine asıl katkısı, bütün bu soruları aynı insan merkezli çerçevede ele almayı mümkün kılmasıdır.

SONUÇ

Dijitalleşme insanın yalnızca iletişim araçlarını, tüketim biçimlerini veya gündelik alışkanlıklarını değiştirmemektedir. Daha derin düzeyde, insanın toplumsal, ekonomik ve hukuki olarak nasıl görünür hâle geldiğini dönüştürmektedir. Modern hukuk insanı büyük ölçüde fiziksel bedeni ve hukuki kişiliği üzerinden tanımıştır. Günümüz bireyi ise bunların yanında veriler, davranışsal izler, biyometrik özellikler, ilişkisel ağlar, algoritmik profiller ve çıkarımlar aracılığıyla da temsil edilmektedir.

Çalışmamız, bu temsil biçimini dijital beden kavramı üzerinden açıklamayı önermektedir. Dijital beden fiziksel bedenin dijital kopyası değildir. Dijital beden yalnızca çevrim içi kimlik değildir. Dijital beden kişisel verilerin basit toplamı değildir. Dijital beden, kişinin dijital sistemlerde nasıl temsil edildiğinin dinamik bütünüdür. Bu bütünlük, iradi verilerden davranışsal verilere, biyometrik özelliklerden ilişkisel verilere ve özellikle algoritmik çıkarımlara kadar uzanmaktadır.

Dijital bedenin ayırt edici özelliklerinden birincisi çoğaltılabilir olmasıdır. Aynı insan hakkında birbirinden farklı sistemler farklı dijital temsiller oluşturabilmektedir. İkincisi dinamik olmasıdır. Kişi hakkında yeni veriler ortaya çıktıkça algoritmik temsil sürekli değişebilmektedir. Üçüncüsü ve belki de en önemlisi, dijital bedenin kişinin iradesinden bağımsız olarak üretilebilmesidir.

Yapay zekâ sistemleri kişinin kendisinin açıklamadığı özellikleri tahmin edebilmektedir. Bu nedenle dijital çağın kimlik yapısı üçlü bir nitelik kazanmaktadır: Kişinin kendisini gördüğü öz-kimlik; toplumun kişiyi gördüğü toplumsal kimlik; sistemin kişiyi gördüğü algoritmik kimlik. Bu üç kimlik alanı arasındaki mesafe büyüdükçe yeni bir hukuki sorun ortaya çıkmaktadır. Algoritmik kimlik kredi, sigorta, sağlık, istihdam, kamu güvenliği veya dijital hizmetlere erişim bakımından sonuç üretmeye başladığında kişinin yaşamı kendisinin oluşturmadığı ve kimi zaman varlığını dahi bilmediği dijital temsiller tarafından etkilenmektedir.

SCHUFA kararı, bir olasılık skorunun kişinin ekonomik yaşamında nasıl belirleyici hâle gelebileceğini göstermektedir. Dun & Bradstreet Austria kararı ise bir sonraki ve dijital beden açısından daha temel soruyu görünür hâle getirmektedir.

Kişi, sistemin kendisini nasıl değerlendirdiğini anlayabilmeli midir? Gelişen Avrupa veri koruma hukukunun buna giderek daha güçlü biçimde olumlu cevap verdiği söylenebilir. AİHM'in biyometrik veriler ve yüz tanıma konusundaki yaklaşımı da fiziksel bedenin dijital olarak tanınabilir, aranabilir ve izlenebilir hâle getirilmesinin salt teknik bir işlem sayılamayacağını göstermektedir. Bununla birlikte dijital beden teorisinin amacı mevcut hakların yetersiz veya işlevsiz olduğunu ileri sürmek değildir. Aksine kişisel verilerin korunması, özel hayat, kişilik hakkı, insan onuru, ayrımcılık yasağı ve kişisel özerklik güçlü hukuki koruma araçlarıdır.

Sorun, bunların çoğu zaman parçalı biçimde çalışmasıdır. Kişisel veri hukuku veriyi; mahremiyet bilgi akışını, kişilik hakkı kişisel değeri, ayrımcılık yasağı sınıflandırmanın sonucunu; özerklik ise kişinin irade oluşumunu korumaktadır. Ancak bütün bu müdahalelerin yöneldiği ortak varlık: insanın dijital olarak temsil edilen kişiliğidir. Dijital beden kavramının teorik işlevi bu ortak alanı görünür hâle getirmektir. Bu nedenle çalışmamızda, dijital bedenin bütünlüğünün korunması ilkesi geliştirilmiştir.

Dijital bedenin bütünlüğünün korunması ilkesi; kişinin veriler, biyometrik özellikler, davranışsal izler, algoritmik profiller ve çıkarımlar aracılığıyla oluşturulan dijital varlığının insan onuru, kişisel özerklik ve kimlik bütünlüğüne aykırı biçimde kullanılmasına karşı bütünsel hukuki koruma sağlamayı amaçlamaktadır. Dijital beden yaklaşımının merkezinde veri değil insan bulunmaktadır. Çünkü: veri araçtır; profil araçtır, skor araçtır; tahmin araçtır, algoritmik kimlik temsildir. Korunan ve korunması gereken insandır. Geleceğin hukukunda korunması gereken en önemli ayrımlardan biri insan ile insan hakkında oluşturulan model arasındaki ayrımdır.

Algoritma insanı ölçebilir. Sınıflandırabilir. Tahmin edebilir. Ancak insan, bu hesaplamaların toplamından daha fazlasıdır. Bu nedenle dijital çağın temel sorusu artık yalnızca: “Algoritma insan hakkında hangi kararı verdi?” değildir. Hukukun daha önce sorması gereken soru şudur: “Algoritma karar verebilmek için nasıl bir insan inşa etti?” Dijital beden, bu sorunun hukuk teorisindeki kavramsal karşılığıdır. Ve geleceğin hukukunun görevlerinden biri, dijital olarak inşa edilen insan modelinin gerçek insanın yerine geçmesini önlemektir.

KAYNAKÇA

Article 29 Data Protection Working Party. (2018). Guidelines on automated individual decision-making and profiling for the purposes of Regulation 2016/679 (WP251rev.01).

Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data's disparate impact. California Law Review, 104(3), 671–732. https://doi.org/10.15779/Z38BG31

Bowker, G. C., & Star, S. L. (1999). Sorting things out: Classification and its consequences. MIT Press.

Cheney-Lippold, J. (2011). A new algorithmic identity: Soft biopolitics and the modulation of control. Theory, Culture & Society, 28(6), 164–181. https://doi.org/10.1177/0263276411424420

Citron, D. K., & Pasquale, F. (2014). The scored society: Due process for automated predictions. Washington Law Review, 89(1), 1–33.

Cohen, J. E. (2012). Configuring the networked self: Law, code, and the play of everyday practice. Yale University Press.

Council of Europe. (2018). Protocol amending the Convention for the Protection of Individuals with regard to Automatic Processing of Personal Data (CETS No. 223).

Council of Europe. (2019). Guidelines on artificial intelligence and data protection.

Council of Europe. (2024). Council of Europe Framework Convention on Artificial Intelligence and Human Rights, Democracy and the Rule of Law (CETS No. 225).

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism. Stanford University Press.

Court of Justice of the European Union. (2023). OQ v Land Hessen, SCHUFA Holding AG (Scoring), Case C-634/21, ECLI:EU:C:2023:957, Judgment of 7 December 2023.

Court of Justice of the European Union. (2025). CK v Magistrat der Stadt Wien, Dun & Bradstreet Austria GmbH, Case C-203/22, ECLI:EU:C:2025:117, Judgment of 27 February 2025.

European Court of Human Rights. (2008). S. and Marper v. the United Kingdom [GC], Applications Nos. 30562/04 and 30566/04, Judgment of 4 December 2008.

European Court of Human Rights. (2023). Glukhin v. Russia, Application No. 11519/20, Judgment of 4 July 2023.

European Data Protection Board. (2018). Guidelines on automated individual decision-making and profiling for the purposes of Regulation 2016/679 (endorsed WP29 Guidelines WP251rev.01).

European Parliament and Council. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation). Official Journal of the European Union, L 119, 1–88.

European Parliament and Council. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union, L, 2024/1689.

Floridi, L. (2013). The ethics of information. Oxford University Press.

Floridi, L. (2014). The fourth revolution: How the infosphere is reshaping human reality. Oxford University Press.

Floridi, L. (2014). Open data, data protection, and group privacy. Philosophy & Technology, 27(1), 1–3.

Haggerty, K. D., & Ericson, R. V. (2000). The surveillant assemblage. The British Journal of Sociology, 51(4), 605–622. https://doi.org/10.1080/00071310020015280

Hildebrandt, M. (2008). Defining profiling: A new type of knowledge? In M. Hildebrandt & S. Gutwirth (Eds.), Profiling the European citizen: Cross-disciplinary perspectives (pp. 17–45). Springer.

Hildebrandt, M. (2015). Smart technologies and the end(s) of law: Novel entanglements of law and technology. Edward Elgar Publishing.

Hildebrandt, M., & Koops, B.-J. (2010). The challenges of ambient law and legal protection in the profiling era. The Modern Law Review, 73(3), 428–460. https://doi.org/10.1111/j.1468-2230.2010.00806.x

Lynskey, O. (2015). The foundations of EU data protection law. Oxford University Press.

Mantelero, A. (2018). AI and Big Data: A blueprint for a human rights, social and ethical impact assessment. Computer Law & Security Review, 34(4), 754–772.

Mittelstadt, B. D., Allo, P., Taddeo, M., Wachter, S., & Floridi, L. (2016). The ethics of algorithms: Mapping the debate. Big Data & Society, 3(2). https://doi.org/10.1177/2053951716679679

Nissenbaum, H. (2010). Privacy in context: Technology, policy, and the integrity of social life. Stanford University Press.

OECD. (2019). Recommendation of the Council on Artificial Intelligence (OECD/LEGAL/0449).

Pasquale, F. (2015). The black box society: The secret algorithms that control money and information. Harvard University Press.

Solove, D. J. (2004). The digital person: Technology and privacy in the information age. New York University Press.

Susser, D., Roessler, B., & Nissenbaum, H. (2019). Online manipulation: Hidden influences in a digital world. Georgetown Law Technology Review, 4(1), 1–45.

UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. UNESCO.

van Dijck, J. (2014). Datafication, dataism and dataveillance: Big Data between scientific paradigm and ideology. Surveillance & Society, 12(2), 197–208.

Wachter, S., & Mittelstadt, B. (2019). A right to reasonable inferences: Re-thinking data protection law in the age of Big Data and AI. Columbia Business Law Review, 2019(2), 494–620. https://doi.org/10.7916/cblr.v2019i2.3424

Yeung, K. (2017). 'Hypernudge': Big Data as a mode of regulation by design. Information, Communication & Society, 20(1), 118–136. https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1186713

Zuboff, S. (2019). The age of surveillance capitalism: The fight for a human future at the new frontier of power. PublicAffairs.

Türk Hukuku

2709 sayılı Türkiye Cumhuriyeti Anayasası.

4721 sayılı Türk Medenî Kanunu.

6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu.

KVKK BAĞLAMINDA GENEL HATLARI İLE UNNUTULMA HAKKI

THE RIGHT TO BE FORGOTTEN IN THE CONTEXT OF THE PERSONAL DATA PROTECTION LAW: AN OVERVIEW

Nagehan CANTÜRK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Kamu Hukuku Tezli Yüksek Lisans Programı
ORCID: 0009-0005-1323-0643

Özet

Günümüzde dijitalleşmenin hız kazanmasıyla birlikte bireylerin kişisel verileri internet ortamında kalıcı bir hâle gelmiş, bu durum bireylerin geçmişlerine dair bilgiler üzerinde denetimlerini yitirmelerine yol açmıştır. Bu bağlamda ortaya çıkan unutulma hakkı, bireylerin dijital mecralarda yer alan ve artık güncelliğini ya da toplumsal yararını yitirmiş olan kişisel verilerinin silinmesini, erişimin engellenmesini veya anonimleştirilmesini talep etme hakkını ifade etmektedir. Unutulma hakkı, özellikle kişilik hakları, özel hayatın gizliliği, onur ve saygınlık gibi temel değerlerin korunması açısından önem arz etmektedir.

Avrupa Birliği'nde unutulma hakkının hukuki temeli, 2014 yılında Avrupa Adalet Divanı'nın verdiği "Google Spain" kararıyla atılmış ve ardından 2016 yılında yürürlüğe giren Genel Veri Koruma Tüzüğü (GDPR) ile açık biçimde düzenlenmiştir. Türkiye'de ise bu hak, 6698 sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) kapsamında değerlendirilmekte ve giderek artan sayıda Anayasa Mahkemesi kararıyla iç hukukumuzda da somutlaştırılmaktadır. KVKK'nın ilgili maddeleri uyarınca, kişisel verilerin işlenmesi belirli hukuki şartlara bağlanmış; veri sahibine verilerinin silinmesini veya anonimleştirilmesini talep etme hakkı tanınmıştır.

Unutulma hakkının uygulanması, diğer temel hak ve özgürlüklerle –özellikle ifade özgürlüğü, basın özgürlüğü ve kamuoyunun bilgiye erişim hakkı– arasında hassas bir denge kurulmasını gerektirir. Kamu yararı taşıyan, haber niteliği bulunan ya da bireyin kamuya mal olmuş kimliğiyle ilişkili içeriklerin korunması gerektiği durumlarda bu denge özenle gözetilmelidir. Ancak zamanla güncelliğini kaybeden ve bireyin zarar görmesine neden olan içeriklerde, unutulma hakkının önceliği söz konusu olmalıdır.

Sonuç olarak, unutulma hakkı bireyin dijital varlığı üzerindeki kontrolünü yeniden kazanmasına ve özel yaşamının korunmasına hizmet eden çağdaş bir hukuki enstrümandır. Bu hakkın etkili biçimde uygulanabilmesi için sadece yasal altyapının yeterli olması yetmemekte; aynı zamanda uygulayıcı kurumların bilinçlendirilmesi, yargı kararlarının tutarlılığı ve toplumda dijital haklar konusunda farkındalığın artırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada unutulma hakkının hukuki dayanakları, Avrupa Birliği ve Türkiye'deki yasal düzenlemeler, Anayasa Mahkemesi ve Yargıtay kararları ışığında hakka ilişkin içtihatlar ve ifade özgürlüğü ile olan ilişkisi incelenecektir.

Anahtar Kelimeler : Unutulma Hakkı, Kişisel Verilerin Korunması, Veri Güvenliği, İfade Özgürlüğü, Dijital Mahremiyet

Abstract

With the rapid advancement of digitalization, personal data has become permanently accessible online, leading individuals to lose control over information related to their past. In this context, the right to be forgotten refers to the right of individuals to request the deletion, de-indexing, or anonymization of personal data that has lost its relevance or no longer serves the public interest. This right has gained increasing importance in protecting fundamental values such as personal rights, privacy, honour, and reputation.

The legal foundation of the right to be forgotten in the European Union was laid by the Court of Justice of the European Union (CJEU) in its 2014 Google Spain decision, and was later codified in the General Data Protection Regulation (GDPR), which came into force in 2016. In Turkey, the right is evaluated within the framework of the Law on the Protection of Personal Data (Law No. 6698 - KVKK) and has been increasingly recognized through landmark decisions of the Constitutional Court. Under KVKK, the processing of personal data is subject to specific legal conditions, and data subjects are entitled to request the erasure or anonymization of their data.

The implementation of the right to be forgotten requires a delicate balance with other fundamental rights and freedoms—particularly freedom of expression, freedom of the press, and the public's right to access information. In cases involving public interest, newsworthiness, or public figures, the scope of this right must be carefully assessed. However, when such content becomes outdated or no longer relevant, the right to be forgotten may prevail.

Ultimately, the right to be forgotten is a modern legal instrument that empowers individuals to regain control over their digital presence and safeguard their private lives. For its effective application, not only must there be a sound legal framework, but also increased awareness among institutions, consistent judicial practices, and enhanced public consciousness regarding digital rights.

This paper examines the legal basis of the right to be forgotten, its regulation under EU and Turkish law, key decisions of the Constitutional Court, and its interaction with freedom of expression.

Keywords: Right to Be Forgotten, Protection of Personal Data, Data Security, Freedom of Expression, Digital Privacy

PARAMETRİK SİGORTADA EDİM BORCUNUN TETİKLEYİCİYE BAĞLANMASI: GELENEKSEL ZARAR SİGORTASIYLA KARŞILAŞTIRMALI HUKUKİ BİR İNCELEME

LINKING THE INSURER'S PERFORMANCE OBLIGATION TO A PARAMETRIC TRIGGER: A COMPARATIVE LEGAL ANALYSIS WITH TRADITIONAL INDEMNITY INSURANCE

Research Assistant Kaan KARAASLAN
Antalya Bilim University, Faculty of Law, Department of Commercial Law, Antalya, Turkey,
ORCID: ID/0009-0009-4615-544X

Abstract

Parametric insurance structurally differs from traditional indemnity insurance in that the insurer's performance obligation is linked not to the individual assessment of the actual loss suffered, but to the occurrence of a predetermined, objective, and verifiable trigger. Under the traditional model, following the occurrence of the insured risk, the existence and extent of the loss and the amount payable are determined through loss adjustment and claims assessment procedures. In parametric insurance, by contrast, the legal and technical inquiry focuses on whether the predetermined parameter and threshold specified in the contract have been met, based on the designated data source. Accordingly, the mechanism through which insurance protection becomes operative shifts from a loss-based structure to a trigger-based model.

This study aims to examine this transformation in comparison with traditional indemnity insurance and to identify the legal consequences of linking the insurer's performance obligation to a parametric trigger. For this purpose, loss adjustment and expert assessment, the method by which the insurer's performance is determined, the timing of payment, the function of data sources, and basis risk constitute the principal criteria of comparison. Technical assessment does not disappear under the parametric model; rather, its subject matter shifts from calculating the individual loss to verifying the reliability of the relevant data and determining whether the contractual trigger has occurred.

By reducing the need for individual loss assessment, this structure enables faster and more predictable payments and may provide rapid liquidity, particularly in the context of catastrophic risks. At the same time, however, the absence of a guaranteed correspondence between the actual economic loss and the parametric payment gives rise to basis risk. One of its most striking manifestations occurs where the insured suffers an economic loss but receives no payment because the contractual trigger has not been activated. This was illustrated by Hurricane Beryl in 2024: although the hurricane caused substantial economic losses in Jamaica, the USD 150 million catastrophe bond was not triggered because the predetermined parametric criteria were not satisfied. By contrast, Hurricane Melissa in 2025 satisfied the contractual track and central-pressure parameters and triggered the full USD 150 million payout under the same bond. These two events demonstrate that, in parametric insurance, the existence of economic loss and the contractual condition giving rise to the insurer's performance obligation may be legally distinct.

The central argument of this study is that the fundamental distinction between parametric and traditional indemnity insurance lies not merely in the speed of payment, but in the change in the factual basis upon which the insurer's performance obligation is determined and in the method by which that basis is verified**.** Whereas traditional insurance concentrates legal and technical scrutiny on the actual loss after the occurrence of the insured event, the parametric model shifts the focus towards the ex ante design of the trigger, the calibration of threshold values, the reliability of data sources, and the predetermined payment structure. While this design enhances speed and predictability, it simultaneously generates basis risk.

The study therefore concludes that parametric insurance should not be regarded as a wholesale substitute for traditional indemnity insurance. Rather, it constitutes a distinctive insurance model that may complement traditional coverage in relation to risks capable of being represented through objective and reliable indicators, while linking the insurer's performance obligation to a fundamentally different legal mechanism.

Keywords: Parametric insurance, traditional indemnity insurance, parametric trigger, insurer's performance obligation, basis risk, loss adjustment.

Özet

Parametrik sigorta, sigortacının ediminin fiilî zararın bireysel olarak tespitine değil, önceden belirlenen objektif ve doğrulanabilir bir tetikleyicinin gerçekleşmesine bağlanması bakımından geleneksel zarar sigortasından yapısal olarak ayrılmaktadır. Geleneksel modelde rizikonun gerçekleşmesini takiben zararın varlığı, kapsamı ve ödenecek tutar hasar tespiti ve ekspertiz süreçleriyle belirlenirken; parametrik sigortada hukuki ve teknik inceleme, sözleşmede önceden belirlenen parametrenin, eşik değerin ve bunları doğrulayacak veri kaynağının gerçekleşmesine yönelmektedir. Böylece sigorta korumasının işlerlik kazanmasında zarar esaslı yapıdan tetikleyici esaslı bir modele geçilmektedir.

Çalışmanın amacı, bu dönüşümü geleneksel zarar sigortasıyla karşılaştırmalı olarak incelemek ve edim borcunun tetikleyiciye bağlanmasının hukuki sonuçlarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda hasar tespiti ve ekspertiz, edimin belirlenme yöntemi, ödeme süresi, veri kaynağının işlevi ve baz riski temel karşılaştırma ölçütleri olarak ele alınmaktadır. Parametrik modelde teknik inceleme ortadan kalkmamakta; incelemenin konusu bireysel zararın hesaplanmasından, kullanılan verinin güvenilirliği ile sözleşmesel tetikleyicinin gerçekleşip gerçekleşmediğinin doğrulanmasına kaymaktadır.

Bu yapı, hasar hesabına duyulan ihtiyacı azaltarak daha hızlı ve öngörülebilir ödeme sağlamakta; özellikle katastrofik risklerde kısa sürede likidite temin edilmesine imkân vermektedir. Bununla birlikte fiilî ekonomik kayıp ile parametrik ödeme arasında tam bir örtüşmenin garanti edilememesi baz riski (basis risk) sorununu ortaya çıkarmaktadır. Sigortalının ekonomik kayba uğramasına rağmen tetikleyicinin gerçekleşmemesi nedeniyle ödeme alamaması, bu riskin en çarpıcı görünüm biçimlerinden biridir. Nitekim 2024 yılında Hurricane Beryl Jamaika'da önemli ekonomik kayıplara yol açmasına rağmen, önceden belirlenen parametrik kriterlerin gerçekleşmemesi nedeniyle 150 milyon ABD doları tutarındaki catastrophe bond ödeme yapmamıştır. Buna karşılık Hurricane Melissa'nın 2025 yılında sözleşmede belirlenen güzergâh ve merkezî basınç parametrelerini karşılaması, aynı tahvil kapsamında 150 milyon ABD doları tutarında tam ödemeyi tetiklemiştir. Bu iki olay, parametrik sigortada ekonomik zararın varlığı ile sigortacının edim borcunu doğuran sözleşmesel koşulun birbirinden ayrılabileceğini somut biçimde göstermektedir.

Çalışmada savunulan temel görüş, parametrik sigorta ile geleneksel zarar sigortası arasındaki esas ayrımın yalnızca ödeme hızında değil, sigortacının edimini belirleyen olgunun ve bu olgunun doğrulanma yönteminin değişmesinde ortaya çıktığıdır. Geleneksel sigortada inceleme riziko sonrasında fiilî zarara yönelirken, parametrik modelde ağırlık merkezi tetikleyicinin seçimine, eşik değerinin belirlenmesine, veri kaynağının güvenilirliğine ve ödeme modelinin önceden tasarlanmasına kaymaktadır. Bu tercih, hız ve öngörülebilirlik sağlarken baz riskini de beraberinde getirmektedir.

Sonuç olarak parametrik sigorta, geleneksel zarar sigortasının yerini bütünüyle alan bir modelden ziyade, objektif ve güvenilir göstergelerle temsil edilebilen risklerde onu tamamlayan ve sigortacının edimini farklı bir hukuki mekanizmaya bağlayan özgün bir sigorta modeli olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Parametrik sigorta, geleneksel zarar sigortası, parametrik tetikleyici, edim borcu, baz riski, hasar tespiti.

FROM RATIONAL DECISION-MAKING TO COGNITIVE BIAS: THE BEHAVIORAL LIMITS OF LEGAL DECISION-MAKING

RASYONEL KARARDAN BİLİŞSEL YANLILIĞA: HUKUKİ KARAR VERMENİN DAVRANIŞSAL SINIRLARI

Doç. Dr. Asuman BOLKAN
GAÜ Eğitim Fakültesi, Girne -KKTC
ORCID No:0000-0002-6092-0277.

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

ABSTRACT

Modern legal thought, particularly in private law and the classical law and economics approach, has traditionally conceived of the legal subject as a rational actor endowed with volition, capable of forming consistent preferences, evaluating available information, and anticipating, to a certain extent, the consequences of their actions. Research in cognitive psychology and behavioral economics, however, has demonstrated that actual decision-making behavior does not always conform to this idealized model. Behavioral findings concerning bounded rationality, heuristics, cognitive biases, loss aversion, status quo bias, and framing effects suggest that individual preferences are not merely the product of a person's fixed and pre-existing will; rather, the decision-making environment and the manner in which information is presented also play a significant role in shaping preferences. This study aims to examine the transformation brought about by findings from the behavioral sciences in the conception of the legal subject within legal thought. Rather than entirely rejecting the classical rational actor model, the behavioral law and economics literature proposes that the assumptions concerning human behavior underlying legal analysis should be reconsidered in light of empirical findings. This transformation does not merely entail a descriptive shift in our understanding of how individuals make decisions; it also requires a reassessment of fundamental legal concepts and principles, including freedom of contract, consumer protection, disclosure obligations, autonomy, paternalism, and the limits of regulatory intervention. The central argument of this study is that behavioral findings do not replace the rational legal subject with an irrational one. Rather, the conception of the legal subject as a context-independent and flawless producer of preferences is giving way to a more realistic model of the subject: one whose cognitive capacities are bounded and whose preferences may be influenced by choice architecture, yet whose legal autonomy must nevertheless remain protected. This transformation also gives rise to an important normative tension. While recognition of individuals' cognitive limitations may justify certain forms of legal intervention, the excessive generalization of behavioral findings may also result in undue restrictions on individual autonomy. Accordingly, the impact of the behavioral approach to law on the legal subject should be understood not merely as an expansion of protective regulation, but as a reconstruction of the relationship between the descriptive model of human behavior and the normative ideal of autonomy.

Keywords: Behavioral law and economics, legal subject, bounded rationality, cognitive biases, autonomy, paternalism, choice architecture.

ÖZET

Modern hukuk düşüncesi, özellikle özel hukuk ve klasik hukuk ve ekonomi yaklaşımında, hukuki özneyi irade sahibi, tercihlerini tutarlı biçimde oluşturabilen, mevcut bilgileri değerlendirebilen ve davranışlarının sonuçlarını belirli ölçüde öngörebilen rasyonel bir aktör olarak kabul etmiştir. Bununla birlikte bilişsel psikoloji ve davranışsal ekonomi alanındaki araştırmalar, gerçek karar verme davranışının bu ideal modelle her durumda örtüşmediğini göstermektedir. Sınırlı rasyonellik, sezgiseller, bilişsel yanlılıklar, kayıptan kaçınma, statüko eğilimi ve çerçeveleme etkisi gibi davranışsal bulgular, bireysel tercihlerin yalnızca kişinin sabit ve önceden belirlenmiş iradesinin ürünü olmadığını; karar ortamının ve bilginin sunuluş biçiminin de tercihlerin oluşumunda rol oynadığını ortaya

koymaktadır. Bu çalışmanın amacı, davranışsal bilimlerden elde edilen bulguların hukuk düşüncesindeki hukuki özne tasavvurunda meydana getirdiği dönüşümü incelemektir. Davranışsal hukuk ve ekonomi literatürü, klasik rasyonel aktör modelini tamamen reddetmek yerine hukuk analizinin dayandığı insan davranışı varsayımlarının ampirik bulgular ışığında yeniden değerlendirilmesini önermektedir. Bu dönüşüm, bireyin yalnızca nasıl karar verdiğiyle ilgili betimleyici bir değişiklik meydana getirmemekte; sözleşme özgürlüğü, tüketicinin korunması, bilgilendirme yükümlülükleri, özerklik, paternalizm ve düzenleyici müdahalenin sınırları gibi temel hukuki kavramların da yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Çalışmanın temel savı, davranışsal bulguların hukuk düşüncesinde rasyonel öznenin yerine irrasyonel özneyi geçirmediği; daha ziyade hukuki özneyi bağlamdan bağımsız ve kusursuz bir tercih üreticisi olarak gören anlayışın, yerini bilişsel kapasitesi sınırlı, tercihleri karar mimarisinden etkilenebilen fakat hukuki özerkliği korunması gereken daha gerçekçi bir özne modeline bıraktığıdır. Bu dönüşüm aynı zamanda önemli bir normatif gerilim yaratmaktadır. Bireylerin bilişsel sınırlılıklarının tanınması hukuki müdahaleyi meşrulaştırabilirken, davranışsal bulguların aşırı genelleştirilmesi, özerkliğin gereğinden fazla sınırlandırılmasına da yol açabilir. Bu nedenle davranışsal hukuk yaklaşımının hukuki özne üzerindeki etkisi, yalnızca koruyucu düzenlemelerin genişlemesi olarak değil, betimleyici insan modeli ile normatif özerklik ideali arasındaki ilişkinin yeniden kurulması olarak değerlendirilmelidir.
Anahtar Kelimeler: Davranışsal hukuk ve ekonomi, hukuki özne, sınırlı rasyonellik, bilişsel yanlılıklar, özerklik, paternalizm, karar mimarisi.

GİRİŞ

Hukuk yalnızca insan davranışına kurallar getiren normatif bir sistem değildir; aynı zamanda düzenlediği insanın nasıl bir karar verici olduğuna ilişkin açık veya örtülü varsayımlar taşımaktadır. Kişilere hakların tanınması, hukuki işlemlerin bağlayıcı kabul edilmesi, sözleşmelerin tarafları yükümlülük altına sokması ve kişilerin davranışlarının sonuçlarından sorumlu tutulması, bireyin belirli ölçüde kendi davranışını yönlendirebilen ve tercih oluşturabilen bir özne olduğu kabulüne dayanmaktadır. Bu nedenle hukukta insan modeli, yalnızca hukuk ve ekonomi literatürüne özgü teknik bir varsayım değil; özerklik, sorumluluk ve hukuki kişilik anlayışının arka planındaki temel teorik meselelerden biridir (Jolls et al., 1998, pp. 1471–1550; Korobkin & Ulen, 2000, pp. 1051–1144).

Modern özel hukuk düşüncesinde birey, kendi menfaatlerini değerlendirebilen ve hukuki ilişkilerini kendi iradesi doğrultusunda düzenleyebilen kişi olarak kabul edilmektedir. Sözleşme özgürlüğü ve irade özerkliği, bu özne anlayışının en belirgin hukuki ifadelerindendir. Bununla birlikte hukukun kişiye karar verme yetkisi tanıması ile kişinin ampirik olarak her durumda kusursuz biçimde rasyonel karar verdiğinin varsayılması birbirinden farklıdır. Hukuki özerklik normatif bir statüyü; ekonomik rasyonalite ise davranışı açıklamaya yönelik bir modeli ifade etmektedir. Davranışsal hukuk tartışmasının temel meselelerinden biri bu iki düzlemin birbirinden ayrılmasıdır (Korobkin & Ulen, 2000, pp. 1055–1066).

Klasik hukuk ve ekonomi yaklaşımında rasyonel aktör modeli, insan davranışını açıklamak için güçlü bir analitik araç sağlamıştır. Bireyin belirli tercihlere sahip olduğu, alternatiflerin maliyet ve yararlarını değerlendirebildiği ve teşviklerde meydana gelen değişikliklere sistematik biçimde tepki verdiği varsayımı, hukuki kuralların davranış üzerindeki etkilerinin modellenmesini mümkün kılmıştır. Bununla birlikte modelin analitik kullanışlılığı, insan davranışının bütün karmaşıklığını ampirik olarak temsil ettiği anlamına gelmemektedir (Jolls et al., 1998, pp. 1476–1481).

Herbert Simon'ın sınırlı rasyonellik yaklaşımı, tam rasyonalite varsayımına yönelik en önemli erken itirazlardan birini oluşturmuştur. Simon, gerçek karar vericilerin bütün seçenekleri ve bunların sonuçlarını kusursuz biçimde değerlendirecek sınırsız bilgiye, zamana ve bilişsel işlem kapasitesine sahip olmadıklarını göstermiştir. Bu nedenle insanlar her zaman teorik optimumu aramak yerine çoğu zaman yeterince tatmin edici çözümlerle yetinmektedirler (Simon, 1955, pp. 99–118).

Tversky ve Kahneman'ın çalışmaları, insan kararlarının yalnızca sınırlı değil, belirli koşullar altında sistematik biçimde öngörülebilir bilişsel etkiler altında bulunduğunu ortaya koymuştur. Temsiliyet, erişilebilirlik ve anchoring gibi sezgiseller karmaşık kararları kolaylaştırmakla birlikte belirli koşullarda sistematik sapmalar yaratabilmektedir (Tversky & Kahneman, 1974, pp. 1124–1131). Beklenti teorisi ise bireylerin sonuçları belirli referans noktalarına göre kazanç veya kayıp biçiminde değerlendirdiğini

ve kayıpların psikolojik etkisinin eşdeğer kazançlardan daha güçlü olabileceğini göstermiştir (Kahneman & Tversky, 1979, pp. 263–291).

Bu bulgular hukuk açısından temel bir soruyu gündeme getirmektedir: Eğer kişinin tercihi yalnızca önceden oluşmuş sabit bir iradenin dışa vurumu değil; aynı zamanda seçeneklerin sunuluş biçiminden, varsayılanlardan, statükodan ve karar çevresinden etkileniyorsa, hukuk hangi tercihi özerk karar olarak kabul edecektir?

Davranışsal hukuk ve ekonomi bu soruya, klasik rasyonel aktör varsayımını ampirik bulgular doğrultusunda yeniden değerlendirerek cevap vermeye çalışmaktadır. Jolls, Sunstein ve Thaler, sınırlı rasyonellik yanında sınırlı irade gücü ve sınırlı özgecilik gibi özelliklerin de hukuki analizde hesaba katılması gerektiğini savunmuştur (Jolls et al., 1998, pp. 1476–1482). Bu yaklaşım, hukuk kurallarının gerçek insanlar üzerindeki etkilerini açıklama bakımından önemli bir ilerleme sağlamıştır.

Bununla birlikte davranışsal yaklaşım iki temel risk taşımaktadır. Birincisi, klasik modelin kusursuz rasyonalite varsayımının yerine insanların sistematik biçimde irrasyonel olduğu yönünde başka bir aşırı genellemenin konulmasıdır. Mitchell'ın dikkat çektiği üzere, hukuk ve ekonominin "mükemmel rasyonalite" varsayımını terk etmek, bütün kişilerin "eşit yetersizliği" varsayımını benimsemeyi gerektirmez. Davranışsal yanlılıkların yoğunluğu bireyler, karar alanları ve kurumsal bağlamlar arasında değişebilir (Mitchell, 2002, pp. 67–167).

İkinci risk, bireyin bilişsel sınırlılıklarının hukuki müdahalenin otomatik gerekçesine dönüştürülmesidir. İnsanların belirli koşullarda sistematik hatalar yaptığını göstermek, devletin bu hataları düzeltmeye yetkili olduğunu tek başına kanıtlamaz. Ampirik bir bulgudan normatif müdahale sonucuna geçiş için bağımsız bir hukuki meşruiyet değerlendirmesine ihtiyaç vardır (Camerer et al., 2003, pp. 1211–1254; Sunstein, 2015, pp. 413–450).

Dijitalleşme bu tartışmayı daha karmaşık hâle getirmiştir. Dijital platformlar yalnızca seçenek sunmamakta; kullanıcıların dikkatini, tıklama davranışlarını ve tercih örüntülerini ölçerek karar ortamını sürekli optimize edebilmektedir. Dark patterns olarak tanımlanan arayüz tasarımları, kullanıcıların istemedikleri işlemlere yönlendirilmesini veya istedikleri işlemlerden vazgeçmelerini sağlayabilecek davranışsal mekanizmalar kullanabilmektedir (Luguri & Strahilevitz, 2021, pp. 43–109). Dijital piyasaların tüketici davranışına ilişkin giderek artan bilgi kapasitesi de firmaların tüketicilerin bilişsel sınırlılıklarını tanıma ve bunlardan yararlanma imkânını artırmaktadır (Calo, 2014, pp. 995–1051).

Bu çalışma, davranışsal hukuk tartışmasını hukuki özne ve özerklik ekseninde yeniden kurmayı amaçlamaktadır. Çalışmanın temel savı, davranışsal bilimlerin rasyonel öznenin yerine irrasyonel özneyi koymadığı; bunun yerine davranışsal olarak sınırlı fakat normatif olarak özerk bir hukuki özne modelini gerekli kıldığıdır.

RASYONEL HUKUKİ ÖZNEDEN DAVRANIŞSAL ÖZNEYE

Modern hukuk düzeninde kişinin özne olarak kabul edilmesi, yalnızca hak ehliyetine sahip olması anlamına gelmez. Hukuki özne aynı zamanda kendi hukuki alanını belirli ölçüde biçimlendirebilen, kararları hukuk tarafından dikkate alınan ve davranışlarının sonuçları kendisine isnat edilebilen kişidir. Özellikle özel hukukta irade özerkliği ve sözleşme özgürlüğü, kişinin kendi menfaatini değerlendirme ve hukuki ilişkilerini kendi tercihleri doğrultusunda kurma yetkisini tanımaktadır.

Bu özne anlayışının normatif gücü, insanın bütün kararlarının doğru olduğu varsayımından değil, kişinin kendi yaşamının normatif merkezi kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bir sözleşme tarafının ekonomik bakımdan kötü bir anlaşma yapması, sonradan pişman olması veya başka bir kişinin rasyonel bulmadığı bir tercihte bulunması, kural olarak sözleşmenin hukuki bağlayıcılığını ortadan kaldırmaz. Özerklik bu anlamda başarı veya optimizasyon garantisi değil, karar alanının kişiye ait olmasıdır.

Klasik hukuk ve ekonomi yaklaşımındaki rasyonel aktör modeli ise öncelikle açıklayıcı bir işleve sahiptir. Bu model, kişilerin belirli tercihlere sahip olduklarını, alternatifleri karşılaştırdıklarını ve teşvik değişikliklerine öngörülebilir biçimde tepki verdiklerini varsayarak hukuki kuralların davranış üzerindeki etkisini analiz etmeyi mümkün kılmaktadır (Jolls et al., 1998, pp. 1476–1481; Korobkin & Ulen, 2000, pp. 1055–1066).

Davranışsal hukuk tam da bu ayrım üzerinde yükselmektedir. Simon'ın sınırlı rasyonellik yaklaşımı, bireyin karar verme kapasitesinin bilgi, zaman ve bilişsel işlem gücü tarafından sınırlandığını göstermiştir (Simon, 1955, pp. 99–118).

Tversky ve Kahneman ise sezgisellerin karar verme sürecinde sistematik etkiler yaratabileceğini ortaya koymuştur (Tversky & Kahneman, 1974, pp. 1124–1131). Böylece rasyonel aktörün yerine tamamen irrasyonel bir kişi değil, rasyonelliği sınırlı ve bağlamsal olan gerçek insan görünür hâle gelmiştir.
Davranışsal dönüşümün hukuk açısından temel önemi burada bulunmaktadır. Eğer insanın bilişsel sınırlılığı normal insanlık durumunun bir parçasıysa, hukuki özerklik bu sınırlılıkları dışlayan ideal bir insan modeli üzerine kurulamaz. Davranışsal bilimlerin hukuk teorisine önemli katkılarından biri bu nedenle özerkliği bilişsel kusursuzluktan ayırmasıdır.

SINIRLI RASYONELLİKTEN BİLİŞSEL YANLILIKLARA

Davranışsal hukuk ve ekonomi yaklaşımının teorik temeli, klasik rasyonel seçim modelinin insan davranışını her durumda yeterince açıklamadığı yönündeki ampirik bulgulara dayanmaktadır. Simon'ın sınırlı rasyonellik yaklaşımına göre gerçek karar vericiler bütün alternatifleri eksiksiz biçimde bilmemekte, seçeneklerin bütün sonuçlarını hesaplayamamakta ve sınırlı zaman ile bilişsel kapasite altında karar vermektedirler (Simon, 1955, pp. 99–118).
Sınırlı rasyonellik insan davranışını irrasyonellik kategorisine indirgememektedir. Birey, karmaşık karar problemlerini yönetebilmek için problemi basitleştirmekte, belirli bilgi parçalarına ağırlık vermekte ve karar maliyetini azaltan zihinsel yöntemlerden yararlanmaktadır. Bu nedenle davranışsal hukuk bakımından temel ayrımlardan biri, sınırlı rasyonellik ile irrasyonellik arasındaki ayrımdır.
Tversky ve Kahneman'ın çalışmaları, sınırlı rasyonellik düşüncesini sezgiseller ve bilişsel yanlılıklar üzerinden geliştirmiştir. Temsiliyet, erişilebilirlik ve anchoring gibi zihinsel kestirme yollar karar vermeyi kolaylaştırmakla birlikte belirli koşullarda sistematik sapmalara neden olabilmektedir (Tversky & Kahneman, 1974, pp. 1124–1131).
Hukuki karar verme süreçleri bu etkilerin ortaya çıkmasına elverişlidir. Sözleşme tarafları gelecekteki riskleri hesaplamakta, tüketiciler maliyetleri karşılaştırmakta, mağdurlar zararlarını değerlendirmekte ve hâkimler deliller ile tazminat miktarları hakkında karar vermektedir. Bu kararların çoğu belirsizlik ve sınırlı bilgi altında gerçekleşmektedir (Guthrie et al., 2001, pp. 777–830; Korobkin & Ulen, 2000, pp. 1051–1144).
Bununla birlikte bilişsel yanlılığın tespiti, kişinin kararının hukuken değersiz olduğu anlamına gelmez. İnsanların sezgiseller kullanmaları karar verme yeteneklerinden yoksun olduklarını değil, karmaşık ortamlarda sınırlı bilişsel kaynaklarla hareket ettiklerini göstermektedir.

Kayıptan Kaçınma ve Referans Noktaları

Kahneman ve Tversky'nin beklenti teorisine göre bireyler sonuçları çoğu zaman toplam servet açısından değil, belirli bir referans noktasına göre kazanç veya kayıp biçiminde değerlendirmekte; kayıplar eşdeğer kazançlardan daha güçlü psikolojik etki yaratabilmektedir (Kahneman & Tversky, 1979, pp. 263–291).
Kahneman, Knetsch ve Thaler'ın endowment effect deneyleri, sahip olunan bir nesneden vazgeçmek için talep edilen miktarın aynı nesneyi edinmek için ödenmeye razı olunan miktardan daha yüksek olabileceğini göstermiştir (Kahneman et al., 1990, pp. 1325–1348). Bu bulgu hukuk bakımından başlangıçtaki hak tahsisinin davranışsal olarak nötr olmayabileceğini göstermektedir. Korobkin de endowment effect'in başlangıçtaki hukuki hakların sonraki değerlemeleri ve işlem davranışlarını etkileyebilmesi nedeniyle hukuki analiz açısından önem taşıdığını belirtmektedir (Korobkin, 2003, pp. 1227–1293).
Bununla birlikte bu bulgulardan belirli bir hak tahsisinin normatif olarak zorunlu olduğu sonucu çıkarılamaz. Ampirik davranış etkisi ile normatif hukuk tercihi birbirinden ayrılmalıdır.

Statüko Yanlılığı ve Varsayılanlar

Statüko yanlılığı, bireylerin mevcut seçeneği sürdürmeye eğilim gösterebilmesini ifade etmektedir. Samuelson ve Zeckhauser'ın araştırmaları, karar vericilerin başlangıçtaki veya mevcut seçeneğe sistematik biçimde daha fazla ağırlık verebildiğini göstermiştir (Samuelson & Zeckhauser, 1988, pp. 7–59).
Bu bulgu özellikle tamamlayıcı hukuk kuralları bakımından önemlidir. Tarafların varsayılan kuraldan ayrılma imkânlarının bulunması, varsayılan seçeneğin davranışsal etkisini ortadan kaldırmamaktadır.

Korobkin'in sözleşme varsayılanları üzerine çalışmaları, bu etkinin salt işlem maliyetleriyle açıklanamayacağını göstermektedir (Korobkin, 1998, pp. 608–687).
Dolayısıyla varsayılan hukuk kuralları yalnızca hukuki boşluk doldurma araçları değil, aynı zamanda karar mimarisinin unsurlarıdır. Bununla birlikte bu durum kanun koyucuya varsayılanları sınırsız biçimde davranış yönlendirme amacıyla kullanma yetkisi vermez.

Çerçeveleme Etkisi
Tversky ve Kahneman'ın çerçeveleme çalışmaları, objektif olarak aynı sonuçların farklı biçimlerde ifade edilmesinin farklı tercihlere yol açabileceğini göstermiştir (Tversky & Kahneman, 1981, pp. 453–458).
Bu bulgu özellikle hukuki bilgilendirme yükümlülükleri bakımından önem taşımaktadır. Bir bilginin doğru olması, onun karar üzerinde nötr etki yaratacağı anlamına gelmez. Risklerin kazanç veya kayıp çerçevesinde sunulması, toplam maliyetin farklı biçimlerde ifade edilmesi veya belirli sonuçların görsel olarak öne çıkarılması tercihler üzerinde farklı etkiler yaratabilir.
Dolayısıyla hukuki bilgilendirme rejiminde yalnızca bilginin doğruluğu ve eksiksizliği değil, bilginin sunuluş biçimi de önem taşımaktadır.

Sınırlı İrade Gücü ve Zamansal Tercihler
Davranışsal hukuk yalnızca bilgi işleme sınırlılıklarına değil, bireylerin kendi gelecekteki davranışlarını değerlendirme biçimlerine de dikkat çekmektedir. Jolls, Sunstein ve Thaler'ın "bounded willpower" kavramı, kişinin uzun vadeli çıkarlarına aykırı olduğunu bilmesine rağmen kısa vadeli tercihlere aşırı ağırlık verebilmesini ifade etmektedir (Jolls et al., 1998, pp. 1479–1482).
Bu durum özellikle kredi, tasarruf, abonelik ve uzun vadeli sözleşme kararlarında önem taşımaktadır. Ancak hukuki sorun, bireyin kısa vadeli tercihinin yerine düzenleyicinin uzun vadeli tercih belirlemesi değildir. Daha önemli soru, karar ortamının kişinin zamansal tutarsızlığını sistematik biçimde sömürüp sömürmediğidir.

Davranışsal Bulguların Genellenebilirlik Sınırı
Davranışsal bulguların hukuk alanına aktarılmasında genellenebilirlik konusunda ihtiyatlı olunmalıdır. Belirli deneysel ortamlarda gözlenen bilişsel etkilerin bütün kişiler, bütün hukuk alanları ve bütün zamanlarda aynı yoğunlukta ortaya çıktığı varsayılamaz.
Mitchell'ın eleştirisi bu noktada önemlidir. Davranışsal hukuk, klasik hukuk ve ekonominin idealize edilmiş rasyonel aktörünü eleştirirken bunun yerine bütün insanların benzer derecede bilişsel olarak yetersiz olduğu yeni bir soyutlama koymamalıdır (Mitchell, 2002, pp. 67–167).
Bu nedenle davranışsal müdahale, soyut bir bilişsel yanlılık varsayımına değil, ilgili karar ortamına özgü yeterli ampirik temele dayanmalıdır.

SÖZLEŞME ÖZGÜRLÜĞÜNDEN DAVRANIŞSAL KARAR ORTAMINA
Davranışsal bulgular özel hukuk bakımından en somut etkisini sözleşme ve tüketici kararlarında göstermektedir. Bunun nedeni, bu alanların irade, tercih ve bilgilendirme kavramlarına doğrudan dayanmasıdır. Davranışsal yaklaşım sözleşme özgürlüğünü ortadan kaldırmayı değil, sözleşme özgürlüğünün hangi gerçek karar koşullarında kullanılabildiğini incelemeyi gerektirmektedir. Bu nedenle temel soru "sözleşme özgürlüğü korunmalı mı?" değil, "sözleşme özgürlüğünün anlamlı biçimde kullanılmasını sağlayan karar koşulları nelerdir?" sorusudur.

Varsayılan Kurallar ve Sözleşme Özerkliği
Tamamlayıcı hukuk kuralları, tarafların sözleşmeyle farklı bir düzenleme yapmadıkları hâllerde uygulanmaktadır. Ancak statüko yanlılığı ve atalet, varsayılan seçeneğin fiilî tercih üzerinde etkili olabileceğini göstermektedir. Korobkin'in çalışmaları, tarafların varsayılan kurallardan ayrılma davranışının yalnızca ekonomik işlem maliyetleriyle açıklanamayacağını ortaya koymaktadır (Korobkin, 1998, pp. 608–687).
Bu nedenle varsayılanların tasarımı sözleşme özgürlüğünün görünmez bir boyutudur. Hukuk, hangi kuralı varsayılan olarak belirlediği ölçüde tarafların karar ortamının bir parçası hâline gelmektedir.

Bilgilendirme Paradigmasının Davranışsal Sınırları

Tüketici hukukunda bilgilendirme yükümlülükleri, özerkliği korumaya yönelik en klasik araçlardan biridir. Bununla birlikte bilginin tüketiciye sunulması, onun gerçekten okunacağı, anlaşılacağı veya kullanılacağı anlamına gelmemektedir.

Ben-Shahar ve Schneider, zorunlu bilgilendirmeye duyulan aşırı güveni bu nedenle eleştirmiştir. Uzun metinler, karmaşık bilgiler, aşırı bilgi yükü ve sınırlı dikkat, şeklen eksiksiz bilgilendirmenin fiilen etkisiz kalmasına neden olabilir (Ben-Shahar & Schneider, 2014).

Bu nedenle tüketici hukukunda "daha fazla bilgi" yerine **işlevsel bilgi** yaklaşımı önem kazanmaktadır. Bilginin anlaşılabilirliği, karşılaştırılabilirliği, zamanlaması ve karar açısından kritik unsurlarının görünürlüğü de değerlendirilmelidir.

Davranışsal Sömürü

Davranışsal hukuk bakımından daha güçlü müdahale gerekçesi, bireyin bilişsel sınırlılıklarının başka aktörler tarafından sistematik biçimde kullanılmasıdır. Burada sorun kişinin hata yapması değil, diğer tarafın kişinin hata ihtimalini artıracak veya bundan yararlanacak bir karar ortamı tasarlamasıdır.

Wagner ve Eidenmüller, algoritmik kişiselleştirmenin tüketici işlemlerinde davranışsal yanlılıkların sistematik biçimde kullanılmasına imkân verebileceğini göstermektedir (Wagner & Eidenmüller, 2019, pp. 581–609). Bu nedenle davranışsal sömürüye yönelik hukuki müdahale, kişinin yerine karar verme olarak değil, irade oluşumuna dışarıdan yöneltilen sistematik müdahalenin sınırlandırılması olarak gerekçelendirilebilir.

Dark Patterns ve Dijital Rıza

Dark patterns, davranışsal sömürünün dijital ortamdaki belirgin biçimlerinden biridir. Görsel vurgu, seçeneklerin asimetrik sunumu, gizli maliyetler ve zorlaştırılmış iptal prosedürleri gibi arayüz teknikleri kullanıcıları belirli davranışlara yöneltebilir (Luguri & Strahilevitz, 2021, pp. 43–109). Luguri ve Strahilevitz'in deneysel araştırmaları, dark patterns'in tüketici kararlarını anlamlı biçimde etkileyebildiğini göstermektedir. Bu durum, arayüz tasarımının yalnızca teknik bir mesele değil, hukuki irade oluşumunun unsurlarından biri olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Dijital rıza bu nedenle yalnızca kullanıcının "kabul ediyorum" seçeneğine tıklaması üzerinden değerlendirilemez. Rızanın hangi karar mimarisi içerisinde üretildiği de hukuki değerlendirmeye dâhil edilmelidir.

Dijital Karar Mimarisi ve Kişiselleştirilmiş Manipülasyon

Dijital ortamların klasik karar ortamlarından ayrıldığı temel noktalardan biri kişiselleştirme kapasitesidir. Platformlar kullanıcı davranışlarını gözlemleyebilmekte, hangi mesajların veya seçeneklerin belirli kullanıcılar üzerinde daha etkili olduğunu öğrenebilmekte ve karar ortamını buna göre uyarlayabilmektedir. Calo, dijital piyasalarda firmaların tüketicilerin davranışsal özellikleri hakkında giderek artan bilgiye sahip olmalarının manipülasyon kapasitesini de artırabileceğine dikkat çekmektedir. Dijital teknolojiler bu anlamda yalnızca tüketici tercihlerini tahmin etmek için değil, tercihlerin oluşumunu etkilemek için de kullanılabilir (Calo, 2014, pp. 995–1051).

Wagner ve Eidenmüller'in algoritmik kişiselleştirme analizi de bu riski tamamlamaktadır. Algoritmalar tüketicilerin yalnızca genel davranışsal yanlılıklarından değil, kişiye özgü davranış örüntülerinden de yararlanabilir (Wagner & Eidenmüller, 2019, pp. 581–609).

Bu durumda karar mimarisi statik olmaktan çıkarak dinamik ve uyarlanabilir hâle gelmektedir. Dolayısıyla dijital karar mimarilerinin hukuki değerlendirmesinde müdahalenin kişiselleştirme düzeyi, sürekliliği, fark edilebilirliği, çıkış imkânı ve davranışsal yoğunluğu birlikte dikkate alınmalıdır.

NUDGE, SLUDGE VE KARAR MİMARİSİNİN ÇİFT YÖNLÜ YAPISI

Karar mimarisi, bireyin karşılaştığı seçeneklerin sıralanması, varsayılanların belirlenmesi, bilginin sunuluş biçimi ve karar prosedürünün yapılandırılması gibi unsurları kapsamaktadır. Thaler ve Sunstein, insanların her zaman belirli bir karar ortamı içinde seçim yaptığını ve tamamen nötr bir karar mimarisinden söz etmenin çoğu zaman mümkün olmadığını savunmaktadır (Thaler & Sunstein, 2008).

Nudge ve Özgürlükçü Paternalizm

Nudge yaklaşımı, seçenekleri yasaklamadan veya ciddi ekonomik yaptırımlar uygulamadan davranışı öngörülebilir biçimde etkileyen karar mimarisi tekniklerini ifade etmektedir. Özgürlükçü paternalizm, bireyin seçim özgürlüğünü korurken kendi refahını artıracağı düşünülen kararları kolaylaştırmayı amaçlamaktadır (Thaler & Sunstein, 2003, pp. 175–179).

Bununla birlikte seçeneklerin biçimsel olarak açık kalması, kişinin karar sürecinin özerk olduğu anlamına gelmez. Kişinin farkında olmadığı bilişsel mekanizmaların kullanılması hukuken zorlayıcı olmayan fakat fiilen güçlü etkiler yaratabilir (Sunstein, 2015, pp. 413–450).

Asimetrik Paternalizm

Camerer ve arkadaşlarının asimetrik paternalizm yaklaşımına göre davranışsal hata yapan kişilere önemli yarar sağlayan, buna karşılık daha bilinçli karar veren kişilere mümkün olduğunca düşük maliyet yükleyen düzenlemeler tercih edilmelidir (Camerer et al., 2003, pp. 1211–1254). Bu yaklaşım, bütün bireylerin aynı davranışsal profile sahip olmadığı gerçeğini dikkate alması bakımından önemlidir. Aynı zamanda davranışsal düzenlemeye bir tür ölçülülük mantığı kazandırmaktadır.

Sludge ve Kararın Gerçekleştirilmesinin Zorlaştırılması

Sludge, kişinin yapmak istediği bir işlemi gereksiz veya aşırı prosedürel yükler yoluyla zorlaştıran karar ortamlarını ifade etmektedir. Uzun formlar, karmaşık başvuru süreçleri, gereksiz bekleme süreleri ve çok aşamalı iptal prosedürleri bu kapsamda değerlendirilebilir (Sunstein, 2021; Sunstein, 2022, pp. 654–673). Sludge kavramının davranışsal özerklik bakımından önemi, sorunun kişinin yanlış karar vermesinden kaynaklanmamasıdır. Kişi ne yapmak istediğini bilmektedir; ancak kararının gerçekleştirilmesi yapay biçimde zorlaştırılmaktadır. Dolayısıyla özerklik yalnızca tercih oluşturma değil, oluşturulan tercihi hayata geçirebilme kapasitesini de içermelidir.

Sunstein'ın sludge audit yaklaşımı, kamu ve özel kurumlar tarafından yaratılan gereksiz sürtünmelerin tespit edilmesini ve azaltılmasını önermektedir (Sunstein, 2022, pp. 654–673). Bu yaklaşım, davranışsal bilginin paternalist olmayan kullanımına iyi bir örnektir: hukuk kişiye hangi kararı vermesi gerektiğini söylemek yerine, onun kendi kararını gerçekleştirmesinin önündeki yapay engelleri azaltmaktadır.

Nudge ile Manipülasyon Arasındaki Sınır

Karar ortamının sadeleştirilmesi veya önemli bilgilerin görünür hâle getirilmesi kişinin kendi tercihlerini daha etkili biçimde gerçekleştirmesine yardımcı olabilir. Buna karşılık bilişsel sınırlılıkların kişinin farkında olmadığı biçimde kullanılarak belirli bir sonuca yönlendirilmesi manipülasyon sorununu gündeme getirir. Bu nedenle davranışsal müdahalenin değerlendirilmesinde şeffaflık, çıkış imkânı, geri döndürülebilirlik ve kişinin farkındalığı önem taşımaktadır. Özellikle kişiselleştirilmiş dijital ortamlarda nudge ile manipülasyon arasındaki sınır daha yoğun hukuki denetim gerektirmektedir (Calo, 2014, pp. 995–1051).

DAVRANIŞSAL HUKUKA YÖNELİK ELEŞTİRİLER

Davranışsal hukuk klasik rasyonalite modeline önemli eleştiriler yöneltmiş olmakla birlikte kendi varsayımları bakımından da eleştiriye açıktır. Bu eleştiriler özellikle davranışsal bulguların aşırı genelleştirilmesi, düzenleyicinin epistemik üstünlüğünün varsayılması ve yapısal sorunların bireysel karar hatalarına indirgenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Eşit Yetersizlik Sorunu

Mitchell'ın temel itirazı, hukuk ve ekonominin kusursuz rasyonalite varsayımının yerine bütün bireylerin eşit derecede bilişsel olarak yetersiz olduğu başka bir genellemenin konulmaması gerektiğidir (Mitchell, 2002, pp. 67–167). Bireylerin deneyimleri, uzmanlıkları ve karar alanları farklıdır. Aynı kişi bile farklı karar ortamlarında farklı bilişsel performans gösterebilir. Davranışsal hukukun ampirik gerçekçilik iddiası, ancak insan davranışındaki heterojenliği de kabul ettiği ölçüde tutarlı olabilir.

Gerçek Tercih Problemi

Davranışsal paternalizmin temel sorunlarından biri, düzenleyicinin hangi tercihi kişinin "gerçek tercihi" olarak kabul edeceğidir. Tercihler çerçeveleme, varsayılanlar ve karar ortamından etkileniyorsa, bağlamdan bağımsız saf bir tercihin belirlenmesi kolay değildir.

Kişinin mevcut tercihi, uzun vadeli hedefi, daha fazla bilgi altında vereceği karar veya daha uzun düşünme sonucunda ulaşacağı sonuç birbirinden farklı olabilir. Davranışsal bilim bu tercihlerden hangisinin normatif olarak üstün olduğunu tek başına belirleyemez.

Bu nedenle davranışsal hukuk açısından daha savunulabilir yaklaşım, kişinin belirli bir sonuca ulaştırılması yerine karar sürecinin özerkliğinin korunmasıdır.

Bireysel Yanlılıktan Yapısal Soruna

Chater ve Loewenstein, davranışsal kamu politikasının bireysel karar değişikliğine aşırı yoğunlaşmasını i-frame yaklaşımı olarak eleştirmekte ve buna karşılık sorunların kurumsal ve yapısal nedenlerine odaklanan s-frame yaklaşımının önemini vurgulamaktadır (Chater & Loewenstein, 2023). Bu ayrım hukuk açısından önemlidir. Tüketicinin sürekli elverişsiz kararlar vermesinin nedeni yalnızca bilişsel yanlılıklar olmayabilir. Piyasa yapısı, güç eşitsizliği, sözleşme karmaşıklığı ve şirketlerin davranışsal manipülasyon stratejileri de belirleyici olabilir.

Bazı durumlarda sorun bireyin karar verme kapasitesinde değil, kararın verildiği yapının kendisinde bulunmaktadır. Davranışsal hukuk bu nedenle gerektiğinde bireysel davranış değişikliğinden yapısal hukuk reformuna geçebilmelidir.

DÜZENLEYİCİNİN BİLİŞSEL SINIRLARI VE KURUMSAL SİMETRİ

Davranışsal hukuk yaklaşımının tutarlı olabilmesi için bilişsel sınırlılıkların yalnızca düzenlenen bireyler bakımından değil, hukuku tasarlayan ve uygulayan aktörler bakımından da dikkate alınması gerekir. Kanun koyucular, bürokratlar, hâkimler ve uzmanlar da sınırlı bilişsel kapasiteyle karar vermektedirler. Guthrie, Rachlinski ve Wistrich'in hâkimler üzerine yaptıkları ampirik araştırmalar, mesleki uzmanlığın bilişsel yanlılıkları tamamen ortadan kaldırmadığını göstermektedir. Anchoring, framing ve hindsight bias gibi etkiler yargısal karar verme süreçlerinde de ortaya çıkabilmektedir (Guthrie et al., 2001, pp. 777–830).

Bu bulgu davranışsal paternalizmin temel paradoksunu görünür hâle getirmektedir. Eğer bireyin bilişsel sınırlılıkları onun kararına duyulan güveni azaltıyorsa, düzenleyicinin bilişsel sınırlılıkları da müdahaleye duyulan güveni azaltmalıdır. Davranışsal hukuk, yanlı bireyin karşısına kusursuz düzenleyici koyamaz.

Bu sorundan hareketle çalışmamızda "kurumsal simetri ilkesi" olarak adlandırılan bir ölçüt önerilmektedir. İlkeye göre, bilişsel sınırlılıklar hukuki analizin yalnızca nesnesi olan bireyler bakımından değil, hukuku üreten ve uygulayan aktörler bakımından da aynı ciddiyetle değerlendirilmelidir.

Kurumsal simetri ilkesi, davranışsal müdahaleye epistemik ihtiyat kazandırmaktadır. Düzenleyici kişinin "gerçek menfaatini" kusursuz biçimde bilen bir aktör değildir. Kendi bilgi eksiklikleri, kurumsal teşvikleri ve hata riskleri bulunmaktadır.

Bu nedenle davranışsal müdahalelerin mümkün olduğunca şeffaf, denetlenebilir, geri döndürülebilir ve düşük yoğunluklu olması gerekir. Böylece bilişsel sınırlılık yalnızca müdahalenin gerekçesi değil, aynı zamanda müdahalenin sınırı hâline gelir.

DAVRANIŞSAL MEŞRUİYET EŞİĞİ

Davranışsal bilimlerden hukuki müdahaleye geçişte temel metodolojik sorun, ampirik bir bulgudan doğrudan normatif yetkilendirme sonucu çıkarılmasıdır. "İnsanlar belirli bir bilişsel yanlılığa sahiptir" önermesi ile "hukuk bu davranışa müdahale etmelidir" önermesi aynı düzlemde değildir.

Bu nedenle bu çalışmada "davranışsal meşruiyet eşiği" olarak adlandırılan ikinci bir normatif ölçüt önerilmektedir. Bu ölçüt, davranışsal bulgudan hukuki müdahaleye geçişi beş koşula bağlamaktadır.

İlk olarak, müdahaleye dayanak oluşturan davranışsal etkinin ilgili hukuk alanında ampirik olarak yeterince güçlü ve bağlama özgü biçimde gösterilmiş olması gerekir.

Genel literatürde belirli bir yanlılığın varlığının gösterilmiş olması, aynı etkinin her hukuki karar ortamında bulunduğunu kanıtlamaz. İkinci olarak, müdahale açıkça tanımlanmış hukuki bir değeri korumalıdır. Özerklik, dürüst işlem, eşitlik, tüketicinin korunması veya karar kapasitesinin korunması gibi bir normatif değer ortaya konmalıdır. Üçüncü olarak, müdahale ölçülü olmalıdır. Aynı koruma daha düşük yoğunluklu bir araçla sağlanabiliyorsa daha ağır paternalist müdahaleler tercih edilmemelidir. Dördüncü olarak, müdahalenin şeffaflığı değerlendirilmelidir. Kişinin farkında olmadığı psikolojik mekanizmaları gizlice kullanan müdahaleler, açık karar desteğine kıyasla daha yüksek özerklik riski taşımaktadır. Beşinci olarak, müdahale kurumsal simetri testinden geçmelidir. Müdahaleyi tasarlayan kurumun bilgi kapasitesi, bilişsel sınırlılıkları, teşvik yapısı ve olası hata maliyetleri de hesaba katılmalıdır.

Bu koşullar, davranışsal bilginin hukuki koruma amacıyla kullanılmasına imkân verirken ampirik bulguların sınırsız paternalist yetkilendirmeye dönüşmesini önleyen normatif bir filtre oluşturmaktadır.

DAVRANIŞSAL OLARAK SINIRLI FAKAT NORMATİF OLARAK ÖZERK ÖZNE

Davranışsal hukuk düşüncesinin ulaştığı noktada klasik rasyonel aktör ile tamamen irrasyonel özne arasındaki ikiliğin aşılması gerekmektedir. Gerçek insan ne kusursuz bir hesaplayıcı ne de kendi kararlarına güvenilemeyecek ölçüde yetersiz bir varlıktır. Bu nedenle bu çalışmada hukuki öznenin "davranışsal olarak sınırlı fakat normatif olarak özerk özne" olarak kavramsallaştırılması önerilmektedir.

Modelin ilk unsuru ampirik gerçekçiliktir. İnsan bilgi, zaman, dikkat ve bilişsel kapasite bakımından sınırlıdır. Sezgiseller kullanır, belirli bağlamlarda sistematik yanlılıklara açık olabilir ve karar mimarisinden etkilenebilir. İkinci unsur normatif özerkliktir. Bilişsel sınırlılıklar kişinin kendi yaşamı ve hukuki ilişkileri üzerindeki karar yetkisini ortadan kaldırmaz. Özerklik, bilişsel kusursuzluk değil, kararın normatif olarak kişiye ait olmasıdır.

Üçüncü unsur süreç korumasıdır. Hukuk yalnızca nihai tercihe değil, kararın oluştuğu koşullara da odaklanmalıdır. Aldatma, manipülasyon, dark patterns, sludge veya davranışsal sömürü karar sürecini bozuyorsa müdahale daha güçlü biçimde gerekçelendirilebilir. Dördüncü unsur bağlamsallıktır. Davranışsal sorunlar her kişi ve her karar alanında aynı yoğunlukta değildir. Hukuki düzenleme bireysel ve bağlamsal heterojenliği dikkate almalıdır. Beşinci unsur yapısal bakıştır. Bütün sorunlar bireyin zihninde aranamaz. Piyasa yapısı, sözleşme tasarımı ve dijital platform mimarileri de karar ortamını belirlemektedir (Chater & Loewenstein, 2023). Altıncı unsur kurumsal simetridir. Düzenlenen bireylerin bilişsel sınırlılıkları kadar düzenleyicilerin ve yargısal aktörlerin sınırlılıkları da hesaba katılmalıdır.

Bu model, klasik rasyonel aktör ile aşırı paternalist insan anlayışı arasında üçüncü bir yol sunmaktadır. Hukukun görevi insanın bütün bilişsel hatalarını ortadan kaldırmak değil, kişinin bütün bilişsel sınırlılıklarına rağmen kendi kararlarının öznesi olarak kalabileceği koşulları korumaktır.

SONUÇ

Davranışsal ekonomi ve bilişsel psikoloji alanındaki araştırmalar, modern hukuk düşüncesinin insan davranışına ilişkin klasik varsayımlarını önemli ölçüde dönüştürmüştür. Sınırlı rasyonellik, sezgiseller, kayıptan kaçınma, statüko yanlılığı ve çerçeveleme etkisi, hukuki kararların her zaman soyut ve bağlamdan bağımsız bir rasyonalite modeliyle açıklanamayacağını göstermektedir. Ancak bu dönüşüm, rasyonel öznenin yerine irrasyonel öznenin konulması biçiminde anlaşılmamalıdır. İnsanların bilişsel yanlılıklara açık olmaları, bütün bireylerin bütün karar ortamlarında aynı derecede yetersizlik gösterdiği anlamına gelmez. Davranışsal hukuk, klasik rasyonalite modelinin aşırı soyutlamasından kaçarken yeni bir tek-tip insan modeli üretmemelidir.

Bu çalışmanın temel önerisi bu nedenle hukuki öznenin davranışsal olarak sınırlı fakat normatif olarak özerk kişi olarak yeniden kavramsallaştırılmasıdır. Bilişsel sınırlılık, insanın ampirik durumuna; özerklik ise onun hukuki ve normatif statüsüne ilişkindir. Birincisinin varlığı ikincisini kendiliğinden ortadan kaldırmaz.

Bu yaklaşım, davranışsal hukuk bakımından odağın bireyin kararlarının içeriğinden kararın oluştuğu koşullara kaydırılmasını gerektirmektedir.

Varsayılan kurallar, bilgi sunumu, dark patterns, algoritmik kişiselleştirme ve sludge gibi karar mimarisi unsurları, bireyin tercih oluşturma veya mevcut tercihini gerçekleştirme kapasitesini etkileyebilmektedir. Hukuki korumanın meşru alanı da özellikle bu süreçlerin manipülatif veya sömürücü hâle geldiği noktalarda güçlenmektedir.

Bununla birlikte davranışsal bilgi hukuki müdahalenin otomatik gerekçesi değildir. Çalışmada önerilen davranışsal meşruiyet eşiği, müdahalenin ampirik temeli, koruduğu hukuki değer, ölçülülüğü, şeffaflığı ve kurumsal hata riskleri bakımından ayrıca gerekçelendirilmesini gerektirmektedir.

Benzer biçimde kurumsal simetri ilkesi, bilişsel sınırlılıkların yalnızca düzenlenen bireylere değil, hukuku yapan ve uygulayan aktörlere de ait olduğunu vurgulamaktadır. Böylece davranışsal hukuk, "yanlı birey–rasyonel düzenleyici" ikiliğinden kaçınarak daha ihtiyatlı bir kurumsal yaklaşım geliştirebilir.

Davranışsal yaklaşım ayrıca her sorunu bireysel bilişsel eksikliklere indirgememelidir. Bazı durumlarda sorun kişinin karar verme kapasitesinde değil, kararın verildiği piyasa, sözleşme veya dijital platform yapısında bulunmaktadır. Bu nedenle davranışsal hukuk, gerektiğinde bireysel müdahaleden yapısal hukuk analizine geçebilmelidir.

Sonuç olarak davranışsal hukuk düşüncesinin asıl başarısı rasyonel aktör modelini ortadan kaldırmakta değil, hukukun öznesini gerçek insan koşulları altında yeniden düşünmekte yatmaktadır. Hukukun öznesi kusursuz insan değil; sınırlı, bağlama duyarlı, hata yapabilen fakat yine de kendi yaşamının normatif öznesi olan insandır.

Bu nedenle davranışsal hukukun merkezindeki soru artık "insan rasyonel midir?" değildir. Daha önemli soru şudur:

Bilişsel olarak sınırlı, bağlama duyarlı ve hata yapabilen insanın hukuki özerkliği hangi karar ortamlarında ve hangi normatif araçlarla korunabilir? Davranışsal hukuk, bu soruya cevap verebildiği ölçüde paternalizmi genişleten bir düzenleme tekniği olmaktan çıkarak gerçek insanın özerkliğini koruyan daha dengeli bir hukuk anlayışına dönüşebilir.

KAYNAKLAR

Ben-Shahar, O., & Schneider, C. E. (2014). *More than you wanted to know: The failure of mandated disclosure*. Princeton University Press.

Calo, R. (2014). Digital market manipulation. *George Washington Law Review, 82*(4), 995–1051.

Camerer, C. F., Issacharoff, S., Loewenstein, G., O'Donoghue, T., & Rabin, M. (2003). Regulation for conservatives: Behavioral economics and the case for "asymmetric paternalism." *University of Pennsylvania Law Review, 151*(3), 1211–1254. https://doi.org/10.2307/3312889

Chater, N., & Loewenstein, G. (2023). The i-frame and the s-frame: How focusing on individual-level solutions has led behavioral public policy astray. *Behavioral and Brain Sciences, 46*, e147. https://doi.org/10.1017/S0140525X22002023

Guthrie, C., Rachlinski, J. J., & Wistrich, A. J. (2001). Inside the judicial mind. *Cornell Law Review, 86*(4), 777–830.

Jolls, C., Sunstein, C. R., & Thaler, R. H. (1998). A behavioral approach to law and economics. *Stanford Law Review, 50*(5), 1471–1550. https://doi.org/10.2307/1229304

Kahneman, D., Knetsch, J. L., & Thaler, R. H. (1990). Experimental tests of the endowment effect and the Coase theorem. *Journal of Political Economy, 98*(6), 1325–1348. https://doi.org/10.1086/261737

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica, 47*(2), 263–291. https://doi.org/10.2307/1914185

Korobkin, R. (1998). The status quo bias and contract default rules. *Cornell Law Review, 83*(3), 608–687.

Korobkin, R. (2003). The endowment effect and legal analysis. *Northwestern University Law Review, 97*(3), 1227–1293.

Korobkin, R., & Ulen, T. S. (2000). Law and behavioral science: Removing the rationality assumption from law and economics. *California Law Review, 88*(4), 1051–1144. https://doi.org/10.2307/3481255

Luguri, J., & Strahilevitz, L. J. (2021). Shining a light on dark patterns. *Journal of Legal Analysis, 13*(1), 43–109. https://doi.org/10.1093/jla/laaa006

Mitchell, G. (2002). Why law and economics' perfect rationality should not be traded for behavioral law and economics' equal incompetence. *Georgetown Law Journal, 91*, 67–167.

Samuelson, W., & Zeckhauser, R. (1988). Status quo bias in decision making. *Journal of Risk and Uncertainty, 1*(1), 7–59. https://doi.org/10.1007/BF00055564

Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics, 69*(1), 99–118. https://doi.org/10.2307/1884852

Sunstein, C. R. (2015). The ethics of nudging. *Yale Journal on Regulation, 32*(2), 413–450.

Sunstein, C. R. (2021). *Sludge: What stops us from getting things done and what to do about it*. MIT Press.

Sunstein, C. R. (2022). Sludge audits. *Behavioural Public Policy, 6*(4), 654–673. https://doi.org/10.1017/bpp.2019.32

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2003). Libertarian paternalism. *American Economic Review, 93*(2), 175–179. https://doi.org/10.1257/000282803321947001

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. Yale University Press.

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science, 185*(4157), 1124–1131. https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124

Tversky, A., & Kahneman, D. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science, 211*(4481), 453–458. https://doi.org/10.1126/science.7455683

Wagner, G., & Eidenmüller, H. (2019). Down by algorithms? Siphoning rents, exploiting biases, and shaping preferences: Regulating the dark side of personalized transactions. *University of Chicago Law Review, 86*(2), 581–609.

THE IMPACT OF BEHAVIORAL FINDINGS ON THE LEGAL SUBJECT: THE TRANSFORMATION OF LEGAL THOUGHT

DAVRANIŞSAL BULGULARIN HUKUKİ ÖZNE ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: HUKUK DÜŞÜNCESİNİN DÖNÜŞÜMÜ

Doç. Dr. Asuman BOLKAN
GAÜ Eğitim Fakültesi, Girne -KKTC
ORCID No:0000-0002-6092-0277.

Prof. Dr. Z. Gönül BALKIR
Kıbrıs Aydın Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, Özel Hukuk Bölümü, GİRNE KKTC,
ORCID NO:0000-0003-0710-8375.

ABSTRACT

From a normative perspective, legal decision-making is generally understood as a process of reasoning that requires legal rules to be applied to concrete cases in a rational, consistent, and justifiable manner. Research in cognitive psychology and behavioral economics, however, has demonstrated that individuals do not always act in a fully rational manner, particularly under conditions of uncertainty, incomplete information, and time pressure. Instead, they rely on various mental shortcuts, or heuristics, which, under certain circumstances, may give rise to systematic cognitive biases. The emergence of behavioral law and economics, through the application of these findings to the legal domain, has made it possible to examine not only the decision-making processes of those subject to legal rules, but also those of legal professionals responsible for interpreting and applying the law. This study examines the transition from the assumption of the rational decision-maker to the concept of bounded rationality in the context of legal decision-making, with particular attention to the potential effects of cognitive mechanisms such as anchoring, framing, hindsight bias, confirmation bias, and the availability heuristic on judicial reasoning. Empirical studies involving judges and other legal professionals indicate that, although legal expertise and professional experience may mitigate certain cognitive effects, they do not render decision-makers entirely immune to them. These findings, however, should not be interpreted as demonstrating that judicial decision-making is inherently or entirely irrational. The central argument of this study is that legal rationality should be understood in conjunction with the limitations of human cognition and that legal systems should develop institutional mechanisms capable of reducing the impact of such limitations on legal decisions. Within this framework, reason-giving, consideration of opposing arguments, structured decision-making procedures, and debiasing choice architectures are discussed as potential mechanisms for improving the quality of legal decision-making. Finally, the study considers the research opportunities that the behavioral approach to law may offer within the context of Turkish law.

Keywords: Legal decision-making, behavioral law and economics, bounded rationality, cognitive biases, heuristics, judicial decision-making.

ÖZET

Hukuki karar verme, normatif açıdan hukuk kurallarının somut olaya rasyonel, tutarlı ve gerekçelendirilebilir biçimde uygulanmasını gerektiren bir muhakeme faaliyeti olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte bilişsel psikoloji ve davranışsal ekonomi alanındaki araştırmalar, insanların özellikle belirsizlik, bilgi eksikliği ve zaman baskısı altında karar verirken her zaman tam rasyonel biçimde hareket etmediklerini; çeşitli zihinsel kestirme yollardan yararlandıklarını ve bu süreçlerin belirli koşullar altında sistematik bilişsel sapmalara yol açabildiğini göstermektedir. Bu bulguların hukuk alanına aktarılmasıyla gelişen davranışsal hukuk ve ekonomi yaklaşımı, yalnızca hukuk kurallarının muhataplarının değil, hukuku uygulayan profesyonellerin karar süreçlerinin de incelenmesini mümkün kılmıştır. Bu çalışmada, rasyonel karar verici varsayımından sınırlı rasyonellik yaklaşımına geçiş hukuki karar verme bakımından ele alınmakta; özellikle çapalama, çerçeveleme, sonradan bilme, doğrulama yanlılığı ve erişilebilirlik sezgiseli gibi bilişsel mekanizmaların yargısal muhakeme üzerindeki potansiyel etkileri incelenmektedir.

Hâkimler ve diğer hukuk profesyonelleri üzerinde gerçekleştirilen ampirik araştırmalar, hukuki uzmanlık ve mesleki deneyimin belirli bilişsel etkileri azaltabilmesine rağmen karar vericileri bu etkilerden tamamen bağışık hâle getirmediğini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu bulgular, yargısal karar vermenin bütünüyle irrasyonel olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Çalışmanın temel savı, hukuki rasyonelliğin insan bilişinin sınırları ile birlikte değerlendirilmesi ve hukuk sisteminin bu sınırlılıkların kararlar üzerindeki etkisini azaltabilecek kurumsal mekanizmalar geliştirmesi gerektiğidir. Bu çerçevede gerekçelendirme, karşıt görüşün değerlendirilmesi, yapılandırılmış karar süreçleri ve yanlılık azaltıcı karar mimarileri tartışılmaktadır. Son olarak davranışsal hukuk yaklaşımının Türk hukuku bakımından ortaya çıkardığı araştırma imkânları değerlendirilmeye çalışılmıştır
Anahtar Kelimeler: Hukuki karar verme, davranışsal hukuk ve ekonomi, sınırlı rasyonellik, bilişsel yanlılıklar, sezgiseller, yargısal karar verme.

GİRİŞ

Hukukun muhatabı kimdir sorusu, hukuk teorisinin en temel fakat çoğu zaman örtük sorularından biridir. Hukuk kuralları belirli davranışları emreder, yasaklar veya serbest bırakırken aynı zamanda bu kuralların muhatabı olan bireyin nasıl karar vereceğine ilişkin belirli varsayımlar taşımaktadır. Sözleşme yapan, tüketim tercihinde bulunan, hukuki risk üstlenen veya kendisine sunulan bilgi doğrultusunda karar veren öznenin davranışı hakkında benimsenen model, hukuk kurallarının içeriğini ve düzenleme biçimini doğrudan etkileyebilmektedir.

Klasik yaklaşımda birey çoğunlukla amaçlarını belirleyebilen, tercihlerini sıralayabilen ve alternatif davranışların sonuçlarını değerlendirebilen bir karar verici olarak düşünülmektedir. Özellikle geleneksel hukuk ve ekonomi yaklaşımında hukuk kurallarının davranış üzerindeki etkisinin açıklanmasında rasyonel seçim modelinin merkezi bir konuma sahip olduğu görülmektedir. Bu modele göre bireyler hukuki teşviklere ve yaptırımlara tepki verirken mevcut seçenekleri ve bunların muhtemel sonuçlarını değerlendirir ve kendi tercihleri doğrultusunda en uygun alternatifi seçmeye yönelirler (Korobkin & Ulen, 2000).

Bununla birlikte insan davranışına ilişkin ampirik araştırmalar, gerçek karar verme süreçlerinin bu idealize edilmiş modele her zaman uymadığını göstermiştir. Herbert Simon'ın sınırlı rasyonellik yaklaşımı, bireylerin sınırsız bilgiye, zamana ve bilişsel kapasiteye sahip olmadıklarını vurgulayarak klasik rasyonellik anlayışına önemli bir eleştiri yöneltmiştir (Simon, 1955). Tversky ve Kahneman'ın belirsizlik altında karar verme araştırmaları ise insanların karmaşık problemleri çözmek için sezgisel kestirme yollardan yararlandığını ve bu mekanizmaların bazı durumlarda sistematik karar sapmalarına yol açabildiğini göstermiştir (Tversky & Kahneman, 1974).

Bu bulgular hukuk bakımından yalnızca psikolojiye ilişkin ilginç gözlemler değildir. Eğer bireylerin tercihleri çerçeveleme, başlangıç seçenekleri, kayıp algısı veya erişilebilir bilgi gibi unsurlardan etkilenebiliyorsa, hukukun üzerine inşa edildiği "özgür ve rasyonel seçim" varsayımının kapsamının yeniden değerlendirilmesi gerekir. Özellikle bireyin doğru bilgilendirildiğinde kendisi için en uygun kararı vereceği varsayımına dayanan düzenleyici modeller bakımından davranışsal bulgular önemli sonuçlar doğurmaktadır (Jolls et al., 1998).

Davranışsal hukuk ve ekonomi bu noktada hukuk düşüncesindeki insan modelini ampirik bulgularla karşılaştıran bir araştırma programı olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak bu yaklaşımın anlamı rasyonel özneyi tamamen ortadan kaldırarak yerine "irrasyonel birey" koymak değildir. Daha isabetli ifade ile davranışsal yaklaşım, hukuki özneyi tercihleri bağlama duyarlı, bilişsel kapasitesi sınırlı ve sistematik karar eğilimlerine sahip olmakla birlikte normatif açıdan özerkliği hâlen korunması gereken bir aktör olarak yeniden düşünmeye zorlamaktadır (Jolls et al., 1998; Korobkin & Ulen, 2000).

Davranışsal bilimlerden elde edilen bulgular, hukuk düşüncesinin varsaydığı hukuki özne modelini nasıl dönüştürmekte ve bu dönüşüm bireysel özerklik ile hukuki müdahale arasındaki ilişki bakımından hangi sonuçları doğurmaktadır?

Çalışmanın temel savı, davranışsal hukuk yaklaşımının en önemli etkisinin belirli bilişsel yanlılıkların hukuk alanına aktarılmasından daha derin olduğudur. Asıl dönüşüm, hukuki öznenin soyut, bağlamdan bağımsız ve istikrarlı tercihlere sahip karar verici olarak kavranmasından; kararları çevresel ve bilişsel koşullar içerisinde oluşan sınırlı rasyonel bir özne modeline geçiştir.

Bununla birlikte bu betimleyici dönüşümün bireysel özerkliğin sınırlanmasına otomatik bir gerekçe oluşturmadığı da çalışmanın temel kabullerinden biridir.

HUKUK DÜŞÜNCESİNDE RASYONEL ÖZNE VARSAYIMI

Hukuki özne ve rasyonellik

Hukuk düzeni bireye haklar tanırken ve yükümlülükler yüklerken onun belirli bir karar verme kapasitesine sahip olduğunu varsaymaktadır. Özel hukukta sözleşme özgürlüğü, irade özerkliği ve kişinin kendi menfaatlerini belirleme yetkisi; bu varsayımın en belirgin görünümlerindendir. Bireyin kendi tercihlerini belirleyebildiği kabul edildiğinde, hukuk düzeninin temel işlevi çoğu durumda bu tercihlerin ifade edilmesine ve gerçekleştirilmesine imkân sağlamaktır.

Bu anlayışta bireyin yaptığı tercihin içerik bakımından dışarıdan doğru veya yanlış olması ikincil önemdedir. Özerklik düşüncesi, kişinin başkasının tercih ettiği yaşamı değil, kendi tercih ettiği yaşamı sürdürebilmesini korumaktadır. Bu nedenle hukuki öznenin rasyonelliği ile hukuki öznenin özerkliği arasında güçlü fakat bütünüyle özdeş olmayan bir ilişki bulunmaktadır.

Davranışsal hukuk açısından sorun da tam bu noktada ortaya çıkmaktadır. Eğer bireylerin bazı tercihleri sistematik bilişsel mekanizmalardan etkileniyorsa, bu tercihlerin ne ölçüde "özgür iradenin" ifadesi sayılacağı veya hukuk düzeninin hangi durumlarda müdahale edebileceği tartışmalı hâle gelmektedir.

Klasik hukuk ve ekonomi yaklaşımı davranışın modellenebilirliği açısından daha güçlü bir rasyonellik varsayımı kullanmaktadır. Rasyonel birey, tercihlerini tutarlı biçimde sıralamakta ve karşılaştığı hukuki teşviklerin maliyet ve faydalarını değerlendirerek davranışını şekillendirmektedir. Korobkin ve Ulen'e (2000) göre davranış bilimlerindeki gelişmeler, hukuk ve ekonominin bu güçlü rasyonellik varsayımının ampirik temellerinin yeniden değerlendirilmesini gerektirmiştir.

Normatif rasyonellik ile gerçek davranış arasındaki fark

Burada önemli olan, rasyonelliğin normatif ve betimleyici anlamlarını birbirinden ayırmaktır. Belirli bir kararın tutarlı olması için hangi şartları taşıması gerektiğini açıklayan normatif karar teorisi ile insanların gerçek hayatta nasıl karar verdiğini araştıran betimleyici teori aynı değildir.

Davranışsal iktisadın temel katkılarından biri, insanların normatif karar modellerinden bazı koşullar altında sistematik biçimde sapabildiğini göstermesidir. Ancak bu durum normatif rasyonellik ölçütlerinin gereksiz olduğu anlamına gelmez. Tersine bu ayrım, hukukun hangi insan modeline dayanması gerektiği sorusunu daha görünür hâle getirmektedir.

Davranışsal hukuk ve ekonomi bu nedenle klasik teorinin tüm sonuçlarını reddeden bir yaklaşım olarak değil, hukuk analizinin ampirik davranış bilgisiyle desteklenmesine yönelik bir girişim olarak değerlendirilebilir (Jolls et al., 1998).

SINIRLI RASYONELLİK VE HUKUKİ ÖZNENİN YENİDEN TANIMLANMASI

Simon'ın sınırlı rasyonellik yaklaşımı

Rasyonel aktör modeline yönelik en önemli erken eleştirilerden biri Herbert Simon tarafından geliştirilmiştir. Simon'a (1955) göre bireyler bütün alternatiflere, bunların sonuçlarına ve olasılıklarına ilişkin eksiksiz bilgiye sahip değildir. Karar verme kapasitesi zaman, bilgi ve bilişsel işlem gücü tarafından sınırlandırılmaktadır.

Bu yaklaşımın önemi, rasyonelliği tamamen ortadan kaldırmamasıdır. Simon'ın sınırlı rasyonel aktörü amaçları bulunmayan veya tesadüfi davranan bir kişi değildir. Aksine belirli amaçlar doğrultusunda karar vermeye çalışan ancak bunu gerçek dünyanın bilişsel ve çevresel sınırları içerisinde gerçekleştiren bir aktördür.

Bu nokta hukuki özne bakımından da önemlidir. Bireyin karar verme kapasitesinin sınırlı olduğunu kabul etmek, onu hukuki özerklikten yoksun bir varlık olarak görmek anlamına gelmemelidir. Daha çok, hukukun bireyin gerçek karar verme koşullarını dikkate alması gerektiğini göstermektedir.

Sezgiseller ve karar verme

Tversky ve Kahneman'ın (1974) araştırmaları sınırlı rasyonelliği daha ayrıntılı bir psikolojik zemine taşımıştır. İnsanların belirsizlik altında karar verirken temsililik, erişilebilirlik ve çapalama gibi

sezgisellerden yararlandıkları gösterilmiştir. Bu zihinsel kestirme yollar karar verme maliyetini azaltmakta ve birçok durumda işlevsel sonuçlar üretmektedir.
Bu nedenle sezgisellerin varlığı doğrudan irrasyonellik anlamına gelmez. Problem, bu kestirme yolların belirli koşullarda sistematik ve öngörülebilir sapmalara neden olabilmesidir.
Örneğin erişilebilirlik sezgiseli nedeniyle yakın zamanda karşılaşılan veya duygusal açıdan dikkat çekici bir olayın gerçekleşme olasılığı olduğundan daha yüksek değerlendirilebilir. Çapalama etkisi, bir kişinin başlangıçta karşılaştığı sayısal değerin sonraki değerlendirmesini etkileyebilir. Bu bulguların hukuk açısından önemi, hukuki öznenin tercihlerinin yalnızca kendisine sunulan seçeneklerin objektif özelliklerinden değil, karar probleminin nasıl yapılandırıldığından da etkilenebileceğini göstermesidir.

Beklenti Teorisi ve Tercihlerin Bağlamsallığı

Kahneman ve Tversky'nin (1979) beklenti teorisi, davranışsal iktisadın hukuk bakımından en önemli teorik katkılarından biridir. Teori, insanların risk içeren kararlarında sonuçları mutlak servet düzeyleri üzerinden değil, belirli bir referans noktasına göre kazanç veya kayıp biçiminde değerlendirebildiklerini göstermektedir.
Bu yaklaşımın iki sonucu hukuki özne açısından özellikle önemlidir. Birincisi, kayıpların psikolojik etkisinin eşdeğer büyüklükteki kazançlardan daha güçlü olabilmesidir. İkincisi, aynı ekonomik sonucun farklı referans noktaları altında farklı biçimde değerlendirilmesidir.
Böylece tercihlerin yalnızca bireyin sabit menfaatlerinin dışavurumu olmadığı, kararın nasıl çerçevelendiğinin de tercih oluşumunda rol oynayabildiği görülmektedir. Davranışsal hukuk açısından bu bulgu, tercih kavramının hukuki statüsünü yeniden düşündürmektedir.
Klasik yaklaşımda hukuk çoğu zaman bireyin tercihlerini veri kabul etmektedir. Davranışsal yaklaşım ise bazı tercihlerin karar ortamında oluştuğunu veya en azından karar ortamından sistematik biçimde etkilendiğini göstermektedir. Bu durumda "hukuk bireysel tercihlere müdahale etmemelidir" önermesi tek başına yeterli değildir; çünkü hukuk düzeninin oluşturduğu varsayılan kurallar, bilgilendirme biçimleri ve başlangıç seçenekleri de tercihlerin şekillenmesine katkıda bulunabilir.

Davranışsal Hukuk ve Ekonominin Hukuki Özne Modeli

Davranışsal psikoloji ile ekonomi bulgularının hukuk alanına sistematik biçimde aktarılması, Jolls, Sunstein ve Thaler'in (1998) çalışmasıyla güçlü bir teorik çerçeve kazanmıştır. Yazarlar, hukuk analizindeki insan davranışı modelini üç temel sınırlılık üzerinden değerlendirmektedir: sınırlı rasyonellik, sınırlı irade ve sınırlı özgecilik.
Sınırlı rasyonellik, bireyin bilgi işleme ve değerlendirme kapasitesinin sınırlarını ifade eder. Sınırlı irade, bireyin uzun vadeli çıkarlarına uygun olduğunu bildiği davranışları her zaman gerçekleştiremeyebileceğini göstermektedir. Sınırlı özgecilik ise insanların davranışlarının salt maddi kişisel çıkar maksimizasyonuyla açıklanamayabileceğini ifade etmektedir (Jolls et al., 1998).
Bu yaklaşımın hukuk düşüncesi bakımından temel önemi, hukuki öznenin davranışını açıklayan modelin genişlemesidir. Birey ne tam anlamıyla kusursuz hesap yapan *homo economicus* ne de sistematik biçimde irrasyonel bir varlıktır. Birey, farklı karar ortamlarında rasyonel hesaplama, alışkanlık, sezgi, sosyal normlar ve bilişsel kestirme yolların bileşimi altında hareket eden bir aktördür.
Korobkin ve Ulen (2000), davranış bilimlerinin hukuk bakımından değerini de bu noktada görmektedir. Hukuk normlarının insan davranışına ilişkin varsayımları ampirik gerçeklikten önemli ölçüde uzaklaştığında hem pozitif açıklama hem de hukuk politikası açısından sorunlar ortaya çıkabilir. Dolayısıyla davranışsal bulgular hukuk analizindeki rasyonellik varsayımının tamamen kaldırılmasını değil, ampirik olarak daha gerçekçi hâle getirilmesini gerektirmektedir.

HUKUKİ ÖZNE AÇISINDAN DAVRANIŞSAL BULGULARIN SONUÇLARI

Bilgilendirme paradigmasının sınırları

Modern düzenleyici hukukta bireyin korunması için en sık kullanılan araçlardan biri bilgilendirme yükümlülüğüdür. Bunun temelinde bireyin gerekli bilgiye sahip olması hâlinde kendi menfaatine en uygun kararı verebileceği varsayımı bulunmaktadır.
Ancak davranışsal bulgular, bilgiye erişim ile bilginin etkili biçimde işlenmesinin aynı şey olmadığını göstermektedir.

Bilginin miktarı, karmaşıklığı, sunuluş biçimi ve karar anındaki bilişsel yük bireyin değerlendirme kapasitesini etkileyebilir. Bu nedenle yalnızca daha fazla bilgi verilmesi, her durumda daha iyi karar alınmasını sağlamayabilir.
Davranışsal hukuk açısından burada iki farklı sorun bulunmaktadır. İlk olarak birey, mevcut bilgiyi bilişsel sınırları nedeniyle yeterince işleyemeyebilir. İkinci olarak bilgilendirme biçiminin kendisi kararın nasıl algılandığını etkileyebilir.
Bu durum özellikle tüketici hukukunda önem taşımaktadır. Atamer (2017), tüketici sözleşmelerindeki fiyat koşullarının denetimini davranışsal hukuk ve ekonomi açısından değerlendirirken davranışsal bulguların tüketici seçimlerinin niteliğinin anlaşılması bakımından önemli olduğunu göstermektedir. Böylece tüketici hukukunda yalnızca "bilgilendirilmiş tüketici" varsayımının yeterli olup olmadığı daha geniş bir tartışmanın parçası hâline gelmektedir.

Varsayılan seçenekler ve statüko

Davranışsal araştırmalar, bireylerin varsayılan seçeneklere ve mevcut duruma belirli ölçüde bağlı kalabildiğini göstermektedir. Bu durum seçim mimarisinin tarafsızlığı sorununu doğurmaktadır. Eğer bir sistemde bir seçeneğin varsayılan olarak belirlenmesi, kişilerin bu seçeneği tercih etme olasılığını sistematik biçimde artırıyorsa, hukuk düzeninin "hiçbir tercihe müdahale etmeden yalnızca seçenek sunması" her zaman mümkün olmayabilir.
Thaler ve Sunstein'ın (2003) özgürlükçü paternalizm yaklaşımı bu noktadan hareket etmektedir. Yazarlara göre insanların seçim özgürlüğü korunurken karar ortamı onları kendi refahlarını artırması beklenen seçeneklere doğru yönlendirebilir. Bu yaklaşımda amaç seçenekleri yasaklamak değil, seçim mimarisini belirli davranışsal bulguları dikkate alarak tasarlamaktır.
Ancak bu öneri aynı zamanda önemli bir hukuk teorisi sorununu gündeme getirmektedir: Bir bireyin "kendi yararına" olan seçeneğe kimin ve hangi ölçüte göre karar vereceği.

Kayıptan kaçınma ve statükonun hukuki anlamı

Kayıptan kaçınma, insanların bir kaybı eşdeğer büyüklükteki bir kazançtan daha yoğun değerlendirebilmesine işaret eder (Kahneman & Tversky, 1979). Bu mekanizma mevcut duruma bağlılığın psikolojik nedenlerinden biri olarak değerlendirilebilir.
Hukuki açıdan bunun önemi, aynı hakkın "mevcut hakkın korunması" veya "yeni bir hakkın elde edilmesi" şeklinde algılanmasının davranış üzerinde farklı etkiler yaratabilmesidir. Mülkiyet, sözleşme, tüketici tercihleri ve sosyal politika alanlarında referans noktasının nasıl belirlendiği bireyin davranışını etkileyebilir.
Bu bulgu aynı zamanda hukuk normlarının tamamen nötr olmadığı yönündeki davranışsal savı güçlendirmektedir. Hukukun başlangıç durumunu belirlemesi bile bireysel kararlar üzerinde davranışsal sonuçlar yaratabilir.

BİREYİN ÖZERKLİK SORUNU

Davranışsal hukuk yaklaşımının hukuk düşüncesi bakımından en zor sorunu özerklikle ilişkisidir. Bireylerin sistematik bilişsel yanlılıklardan etkilenebilmesi, onların kendi menfaatlerini belirleme kapasitesine duyulan güveni azaltabilir. Ancak buradan doğrudan daha geniş hukuki müdahale sonucuna ulaşmak sorunludur.
Özerklik yalnızca kişinin "doğru" karar vermesi değildir. Bireyin hata yapma, başkalarının optimal bulmadığı yaşam planlarını benimseme ve riskli tercihlerde bulunma özgürlüğü de özerklik düşüncesinin parçasıdır. Dolayısıyla davranışsal bulguların bireysel tercihin yerine devlet veya düzenleyici tercihinin geçirilmesine genel bir gerekçe oluşturması mümkün değildir. Hacker (2015), davranışsal hukuk ve ekonomiye yönelik "bilgi problemi" eleştirisini bu açıdan değerlendirmektedir. Davranışsal araştırmalar bazı karar sapmalarının varlığını gösterebilir; ancak hukuk koyucunun hangi durumda hangi müdahalenin daha iyi sonuç vereceğini belirlemesi ayrıca bilgi gerektirir. Davranışsal bilimlerdeki bulguların belirsizliği, dış geçerlilik sorunları ve bağlama bağımlılık, normatif düzenleme bakımından ihtiyat gerektirmektedir.
Persad (2014) da bilişsel yanlılıkların hukuk bakımından ne zaman önem taşıması gerektiği sorusuna dikkat çekmektedir. Bir yanlılığın psikolojik olarak tespit edilmesi, hukuki müdahalenin otomatik olarak

haklı olduğu anlamına gelmez. Hukuki sonuç için yanlılığın normatif açıdan neden önemli olduğu ayrıca gösterilmelidir. Bu nedenle davranışsal hukuk yaklaşımının özerklik bakımından ortaya çıkardığı sonuç, "insanlar irrasyoneldir, dolayısıyla devlet onlar adına karar vermelidir" biçiminde formüle edilemez. Daha dengeli yaklaşım, bireyin karar verme kapasitesini destekleyen fakat nihai tercih alanını gereksiz yere ortadan kaldırmayan hukuki mekanizmaların araştırılmasıdır.

PATERNALİZMDEN KARAR MİMARİSİNE

Paternalizm tartışması, davranışsal hukuk ve ekonominin normatif boyutunun merkezinde yer almaktadır. Geleneksel paternalist yaklaşımda hukuk, bireyin kendi iyiliğini korumak amacıyla bazı seçimleri yasaklayabilir veya sınırlandırabilir. Davranışsal yaklaşım ise daha hafif müdahale biçimlerinin mümkün olup olmadığını gündeme getirmiştir. Thaler ve Sunstein (2003), "özgürlükçü paternalizm" kavramıyla seçim özgürlüğü ile davranışsal yönlendirmeyi uzlaştırmaya çalışmaktadır. Buna göre bireylerin seçenekleri korunurken varsayılan kurallar, bilgi sunumu veya seçim mimarisi belirli tercihleri kolaylaştırabilir.

Bu yaklaşımın cazibesi, zorlayıcı hukuk kurallarına kıyasla daha düşük düzeyde müdahaleci görünmesidir. Bununla birlikte yönlendirmenin "özgürlükçü" niteliği onun normatif açıdan otomatik olarak sorunsuz olduğu anlamına gelmez. Hangi seçeneğin varsayılan hâle getirileceği, kimin refah ölçütünün kullanılacağı ve bireylerin heterojen tercihlerinin nasıl hesaba katılacağı ciddi sorunlar oluşturmaktadır.

Jolls ve Sunstein'ın (2006) "debiasing through law" yaklaşımı bu tartışmayı başka bir yöne taşımaktadır. Yazarlar bazı durumlarda hukukun bireyin yanlılığından yararlanarak davranışı yönlendirmek yerine bireyin daha iyi karar verebilmesini sağlayacak şekilde karar ortamını düzenleyebileceğini savunmaktadır. Bu bakımdan amaç bireyin yerine karar vermek değil, onun karar kapasitesini desteklemek olabilir. Bu ayrım hukuki özne bakımından önemlidir. Birinci model bireyi korunması gereken zayıf karar verici olarak görme riski taşırken ikinci model bireyin karar kapasitesini güçlendirmeye odaklanmaktadır. Dolayısıyla davranışsal bulguların hukuka aktarılmasında temel normatif ölçütlerden biri, müdahalenin bireyin özerk karar alanını daraltıp daraltmadığı veya tam tersine bu alanın daha anlamlı biçimde kullanılmasını sağlayıp sağlamadığı olabilir.

HUKUKUN TARAFSIZLIĞI VE TERCİHLERİN İNŞASI

Davranışsal bulgular hukuk düşüncesine daha temel bir soru da yöneltmektedir: Hukuk düzeni bireysel tercihler karşısında gerçekten tamamen tarafsız olabilir mi? Eğer varsayılan seçenek, bilginin sunuluş biçimi, referans noktası veya seçeneklerin sıralanışı tercihleri etkiliyorsa, hukuk düzeninin bir karar ortamı oluşturması dahi davranış üzerinde sonuç yaratmaktadır. Bu durumda mesele hukuk düzeninin bireyin tercihlerini etkileyip etkilemeyeceği değil, bu etkinin hangi yönde, hangi ölçüde ve hangi normatif gerekçeyle ortaya çıkacağıdır.

Bu yaklaşım, hukuki özne anlayışında önemli bir değişime işaret etmektedir. Klasik modelde tercih büyük ölçüde hukuktan önce var olan bir veri gibi düşünülebilirken davranışsal yaklaşım bazı tercihlerin hukuki ve kurumsal bağlam içerisinde biçimlenebildiğini göstermektedir.

Ancak bu görüş de dikkatli kullanılmalıdır. Bütün tercihlerin bütünüyle dış çevre tarafından "inşa edildiği" sonucuna ulaşmak, bireysel özerkliği gereksiz biçimde zayıflatabilir. Davranışsal bulguların gösterdiği daha sınırlı sonuç, bazı tercihlerin bağlama duyarlı olduğudur. Bu nedenle hukukun özneyi tamamen bağımsız veya tamamen edilgen bir varlık olarak görmesi yerine iki boyutu birlikte değerlendirmesi daha isabetlidir.

DAVRANIŞSAL HUKUK YAKLAŞIMININ ELEŞTİRİ VE SINIRLARI

Davranışsal hukuk ve ekonomi önemli ampirik katkılar sunmasına rağmen yaklaşımın kendisi de çeşitli eleştirilere açıktır. İlk sorun, laboratuvar deneylerinden elde edilen bulguların gerçek hukuki karar ortamlarına genellenebilirliğidir. Bir bilişsel yanlılığın deneysel koşullarda ortaya çıkması, aynı etkinin bütün bireylerde ve bütün hukuki bağlamlarda aynı güçte bulunacağını göstermez. Davranışsal etkilerin büyüklüğü kararın türüne, kişinin uzmanlığına, teşviklere ve çevresel koşullara göre değişebilir. İkinci sorun, davranışsal bulguların seçici biçimde kullanılabilmesidir. Bir kişinin kararının belirli bir yanlılıktan etkilendiği ileri sürülürken aynı değerlendirmeyi yapan hukuk koyucunun, idarenin veya

düzenleyicinin bilişsel sınırlılıklarının gözden kaçırılması tutarsızlık yaratabilir. Eğer hukuk öznesi sınırlı rasyonel ise düzenleyici de sınırlı rasyoneldir. Üçüncü sorun normatif geçiş problemidir. "İnsanlar X yanlılığını göstermektedir" şeklindeki betimleyici önerme, kendi başına "hukuk X davranışını engellemelidir" sonucunu doğurmaz. Hangi müdahalenin meşru olduğu ayrıca özerklik, refah, eşitlik, hukuki güvenlik ve orantılılık gibi normatif ölçütler üzerinden gerekçelendirilmelidir (Hacker, 2015; Persad, 2014). Dördüncü olarak, bilişsel yanlılık kavramının normatif açıdan tartışmalı tercihleri kolayca "hata" olarak nitelendirmek için kullanılmasından kaçınılmalıdır. Klasik ekonomik modelden sapma her durumda hukuken düzeltilmesi gereken bir yanlışlık değildir.

Bu eleştiriler davranışsal yaklaşımın değersiz olduğunu değil, ampirik bulgular ile normatif hukuk politikası arasındaki geçişin dikkatli kurulması gerektiğini göstermektedir. Davranışsal hukuk ve ekonomi bu açıdan hukukun insan davranışına ilişkin varsayımlarını sınayan tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirildiğinde daha güçlüdür.

HUKUK DÜŞÜNCESİNDEKİ DÖNÜŞÜMÜN ANLAMI

Davranışsal bulguların hukuki özne üzerindeki etkisi, üç düzeyde değerlendirilebilir.

İlk olarak betimleyici düzeyde değişim vardır. Hukuki özne artık yalnızca eksiksiz bilgi işleyen ve sabit tercihlerini gerçekleştiren bir aktör olarak değil, sınırlı bilişsel kapasite içerisinde karar veren bir kişi olarak görülmektedir.

İkinci olarak kurumsal düzeyde değişim vardır. Bilgilendirme yükümlülükleri, varsayılan kurallar, tüketici koruması ve karar mimarisi gibi araçların tasarımı, insanların gerçek karar verme davranışlarını dikkate almaya başlamaktadır.

Üçüncü ve en önemli olarak normatif düzeyde değişim vardır. Davranışsal bulgular, özerklik kavramının yalnızca müdahalesizlik üzerinden tanımlanmasının yeterli olup olmadığı sorusunu gündeme getirmektedir. Kimi durumlarda bireyin karar kapasitesini güçlendiren düzenleme, özerkliği sınırlandırmak yerine onu destekleyebilir.

Bununla birlikte bu dönüşüm hukuki öznenin statüsünün küçültülmesi şeklinde anlaşılmamalıdır. Bilişsel sınırlılıkları bulunan bireyi hukukun pasif nesnesine dönüştüren bir davranışsal paternalizm, yaklaşımın ampirik bulgularından zorunlu olarak çıkmamaktadır.

Bu nedenle daha dengeli bir davranışsal hukuk anlayışı, hukuki özneyi aynı anda hem bilişsel olarak sınırlı hem de normatif olarak özerk kabul etmelidir. Hukuk politikasının güçlüğü de bu iki olguyu birlikte koruyacak kurumları oluşturmaktır.

TÜRK HUKUKU BAKIMINDAN DEĞERLENDİRME

Davranışsal hukuk ve ekonomi bulgularının Türk hukukuna aktarılması bakımından tüketici hukuku özellikle elverişli bir alan oluşturmaktadır. Atamer'in (2017) tüketici sözleşmelerindeki fiyat koşullarının yargısal denetimine ilişkin çalışması, davranışsal hukuk ve ekonomi bulgularının Türk hukukçular açısından da özel hukuk sorunlarının yeniden değerlendirilmesinde kullanılabileceğini göstermektedir.

Türk hukukunda tüketicinin bilgilendirilmesi, genel işlem koşulları, önceden formüle edilmiş sözleşme hükümleri, cayma hakkı ve finansal tüketicinin korunması gibi alanlar davranışsal perspektifle yeniden incelenebilir. Bu alanların ortak noktası, bireyin aldığı bilgi ile verdiği karar arasındaki ilişkinin düzenleme bakımından merkezi olmasıdır.

Bununla birlikte yabancı davranışsal araştırmaların sonuçları Türk hukukuna doğrudan aktarılmamalıdır. Kültürel, ekonomik ve kurumsal farklılıkların karar davranışı üzerindeki etkisi ayrıca araştırılmalıdır. Bu nedenle Türkiye bakımından davranışsal hukuk yaklaşımının geleceği yalnızca yabancı deneylerin hukuk doktrinine uygulanmasında değil, Türkiye'deki hukuki öznelerin gerçek karar davranışını inceleyen ampirik araştırmaların geliştirilmesinde bulunmaktadır.

Bu doğrultuda gelecekte yapılabilecek araştırmalar; tüketicilerin bilgilendirme metinlerini gerçekte ne ölçüde okuduğu, varsayılan sözleşme seçeneklerinin tercihleri nasıl etkilediği, cayma haklarının hangi koşullarda kullanıldığı ve farklı bilgi sunumlarının tüketici tercihleri üzerindeki etkisi gibi ampirik sorulara yönelebilir.

SONUÇ

Hukuk düşüncesi uzun süre hukuki özneyi tercihlerini tutarlı biçimde oluşturabilen ve kendi menfaatleri doğrultusunda karar verebilen rasyonel bir aktör olarak varsaymıştır. Bu model, bireysel özerklik ve sözleşme özgürlüğü gibi temel hukuki kurumların açıklanmasında önemli bir işleve sahip olmakla birlikte gerçek insan davranışının tüm özelliklerini yansıtmamaktadır.

Simon'ın (1955) sınırlı rasyonellik yaklaşımı ile Tversky ve Kahneman'ın (1974) sezgiseller ve bilişsel yanlılıklar üzerine çalışmaları, insan kararlarının bilgi, zaman ve bilişsel kapasite sınırları içerisinde oluştuğunu göstermiştir. Beklenti teorisi ise tercihlerin referans noktaları, kazanç-kayıp ayrımı ve kararın sunuluş biçiminden etkilenebildiğini ortaya koymuştur (Kahneman & Tversky, 1979).

Davranışsal hukuk ve ekonomi, bu bulguları hukuk düşüncesine taşıyarak hukuki öznenin ampirik modelinde önemli bir dönüşüm yaratmıştır (Jolls et al., 1998; Korobkin & Ulen, 2000). Bu dönüşümün anlamı rasyonel öznenin terk edilerek yerine irrasyonel öznenin konulması değildir. Daha doğru ifade ile hukuki özne, kararları bilişsel ve bağlamsal faktörlerden etkilenebilen sınırlı rasyonel bir aktör olarak yeniden kavramsallaştırılmaktadır.

Bu değişim hukuki düzenleme bakımından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Bilgilendirme yükümlülüğünün tek başına yeterli olup olmadığı, varsayılan kuralların tarafsızlığı, tüketicinin korunmasının kapsamı ve davranışsal yönlendirmelerin meşruiyeti yeniden değerlendirilmelidir. Ancak bilişsel sınırlılıkların kabul edilmesi, daha yoğun devlet müdahalesini otomatik olarak haklı kılmaz. Betimleyici bir davranışsal bulgudan normatif bir hukuk kuralına geçiş ayrıca gerekçelendirme gerektirmektedir (Hacker, 2015; Persad, 2014).

Bu nedenle davranışsal hukuk yaklaşımının hukuk düşüncesine temel katkısı, bireysel özerkliğin reddi değil, onun gerçek karar verme koşulları içerisinde yeniden değerlendirilmesidir. Hukuk, bireyi sınırsız rasyonel bir aktör olarak varsaymamalı; ancak bilişsel sınırlılıkları gerekçe göstererek onu hukuki karar alanının pasif nesnesine de dönüştürmemelidir.

Davranışsal bulguların ortaya çıkardığı dönüşüm, hukuki özneyi soyut rasyonellikten bağlamsal rasyonelliğe taşımaktadır. Bu dönüşümün merkezindeki temel normatif soru ise şu şekilde ifade edilebilir: Hukuk, bireyin bilişsel sınırlılıklarını dikkate alırken onun kendi yaşamı hakkında karar verme yetkisini nasıl koruyabilir?

Davranışsal hukuk ve ekonominin hukuk teorisi bakımından kalıcı değeri, belki de bu soruya tek bir cevap vermesinden değil, modern hukukun insan tasavvurunu bu soru üzerinden yeniden düşünmeye zorlamasından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak Davranışsal hukuk, rasyonel hukuki özneyi ortadan kaldırmamakta; hukuki öznenin özerkliğini bilişsel ve bağlamsal sınırlılıkları hesaba katan daha gerçekçi bir insan modeli üzerinde yeniden kurmaktadır.

KAYNAKLAR

Atamer, Y. M. (2017). Why judicial control of price terms in consumer contracts might not always be the right answer—Insights from behavioural law and economics. *The Modern Law Review, 80*(4), 624–660. https://doi.org/10.1111/1468-2230.12277

Hacker, P. (2015). *Overcoming the knowledge problem in behavioral law and economics: Uncertainty, decision theory, and autonomy*. SSRN Electronic Journal. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2632022

Jolls, C., & Sunstein, C. R. (2006). Debiasing through law. *The Journal of Legal Studies, 35*(1), 199–241. https://doi.org/10.1086/500096

Jolls, C., Sunstein, C. R., & Thaler, R. H. (1998). A behavioral approach to law and economics. *Stanford Law Review, 50*(5), 1471–1550.

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.

Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica, 47*(2), 263–291. https://doi.org/10.2307/1914185

Korobkin, R. B., & Ulen, T. S. (2000). Law and behavioral science: Removing the rationality assumption from law and economics. *California Law Review, 88*(4), 1051–1144.

Persad, G. (2014). When, and how, should cognitive bias matter to law? *Law & Inequality, 32*. https://scholarship.law.umn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1244&context=lawineq

Rostain, T. (2000). Educating homo economicus: Cautionary notes on the new behavioral law and economics movement. *Law & Society Review, 34*(4). https://www.cambridge.org/core/journals/law-and-society-review/article/educating-homo-economicus-cautionary-notes-on-the-new-behavioral-law-and-economics-movement/60ECAB28CFDFC07176E64CA1412AA063

Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics, 69*(1), 99–118. https://doi.org/10.2307/1884852

Sunstein, C. R. (1999). Behavioral law and economics: A progress report. *American Law and Economics Review, 1*(1–2), 115–157. https://academic.oup.com/aler/article-abstract/1/1/115/170535

Thaler, R. H., & Sunstein, C. R. (2003). Libertarian paternalism. *American Economic Review, 93*(2), 175–179. https://dash.harvard.edu/bitstreams/7312037d-3907-6bd4-e053-0100007fdf3b/download

Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases. *Science, 185*(4157), 1124–1131. https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124

DESIGN, SYNTHESIS, *IN SILICO* AND *IN VITRO* UREASE INHIBITION STUDIES OF PYRIDYLPIPERAZINE-BASED CARBODITHIOATES

PhD Scholar Sumayya AKRAM
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Prof. Dr. Matloob AHMAD
Department of Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Dr. Sana ASLAM
Department of Chemistry, Government College Women University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Abstract
Urease, a nickel-dependent enzyme present in various organisms, facilitates the decomposition of urea, thereby executing nitrogen metabolism by producing ammonia and carbamate. This process increases pH levels, promotes pathogen survival, and may result in infections, including gastric issues like ulcers and cancer in humans. *Helicobacter pylori* utilizes urease to endure the acidic conditions in stomach and facilitates in protein synthesis. To address these infections and prevent the growth of pathogens, it is essential to inhibit urease activity; thus, derivatives of 1-(3-nitropyridin-2-yl)piperazine were synthesized. All of these newly synthesized compounds were examined for their urease inhibition potential by *in vitro* inhibition protocols. The results showed that two compounds are the potent inhibitors, having IC_{50} values of 2.0 ± 0.73 and 2.24 ± 1.63µM, respectively that are lower than the IC_{50} value of the standard thiourea, 23.2 ± 11.0 µM. The hemolysis potential of all the synthesized compounds was also determined; two compounds demonstrated good biocompatibility in human blood cells. Both these potent inhibitors exhibited feasible interactions with the active site of urease, having binding energies of −8.0 and −8.1 kcal/mol, determined by *in silico* analysis. The binding energy of thiourea was −2.8kcal/mol. Consequently, both compounds can act as important inhibitors of urease.

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF NOVEL ORGANIC PHOTOSENSITIZERS FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS: ELECTRONIC AND OPTICAL INSIGHTS

El Mostafa BENHARAF
Team of Chemical Processes and Applied Materials, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Ali BARHOUMI
Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions, Casablanca-Settat, Morocco.

Ahmed MOUFTI
Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions, Casablanca-Settat, Morocco.

Mohamed TAOUFIK
Physical Science Modelling Team, Regional Center for Education and Training Professions, Casablanca-Settat, Morocco.

Mohammed CHAFI
Laboratory of Process and Environmental Engineering, Higher School of Technology, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco.

Abdellah ZEROUAL
Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.

Mohammed EL IDRISSI
Team of Chemical Processes and Applied Materials, Polydisciplinary Faculty, Sultan Moulay Slimane University, Beni Mellal, Morocco.

Abstract
This study employed TD-DFT to investigate the electronic, optical, and interfacial properties of quinoxaline-based organic dyes (C1–C5) for DSSC applications. All dyes exhibit suitable HOMO/LUMO alignment with the TiO_2 conduction band and electrolyte redox potential, ensuring efficient electron injection and regeneration. Global reactivity analysis identifies C4 as the most reactive and flexible, suggesting enhanced intramolecular charge-transfer capability. FMO, TDM, and electrostatic potential investigations confirm effective donor–acceptor charge transfer, particularly for C2 and C5. Adsorption and PDOS analyses on the TiO_2 anatase (111) surface reveal improved interfacial charge-transfer behavior and stronger electronic coupling for C2, C3, and C5, evidenced by significant orbital overlap near the Fermi level. Overall, the combined results establish C2, C3, and C5 as the most promising sensitizers for high-performance DSSCs, owing to their balanced optical properties, efficient charge-transfer processes, and strong dye–semiconductor interactions [1-2].
Keywords: TD-DFT, dye-sensitized solar cells, high-performance, charge transfer, dye adsorption.

DESIGNING STRONTIUM ALUMINATE-REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOHYBRID FOR ELECTROCHEMICAL ENERGY STORAGE DEVICES

Shahzaib KHAN
Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Science, Department of Chemistry, Faisalabad, Pakistan,
ORCİD: ID/0000-0003-4977-7585

Muhammad USMAN
Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Science, Department of Chemistry, Faisalabad, Pakistan,
ORCİD: ID/0000-0001-9324-6947

Abstract
Spinel oxide-based nanomaterials for pseudo-capacitor electrodes are a viable solution to energy-related issues and can be easily prepared using cost-effective methods. Here, a hydrothermal approach was employed to synthesize a strontium aluminate-reduced graphene oxide ($SrAl_2O_4$/rGO) nanohybrid and to utilize the electroactive material for electrochemical energy storage, thereby investigating the electrode's supercapacitive performance. Material properties were examined using microscopic and spectroscopic approaches. Morphological analysis showed well-dispersed $SrAl_2O_4$ nanoparticles on rGO surfaces. The electrochemical behavior of the material was assessed on two- and three-electrode systems using different electrochemical tests. The galvanostatic charge-discharge parameters exhibited outstanding pseudocapacitive performance of the $SrAl_2O_4$ nanohybrid, with a specific capacitance of 1194.8 F/g at a low current density of 1.0 A/g. Reduced graphene oxide inclusion in $SrAl_2O_4$ favored faster charge-transport kinetics and improved conductivity, thereby increasing capacitance. Additionally, the specific energy approached 43.81 Wh/kg at a greater specific power of 256.9 W/kg. The nanohybrid retained 95.81% of its capacitance after the 5000th charge-discharge cycle and remained stable for 25 h, owing to the elastic rGO matrix, which enhanced structural stability and increased the electroactive surface area. This research not only highlights the potential of the novel $SrAl_2O_4$ material as a supercapacitor electrode but also presents a revolutionary approach to designing low-cost nanohybrids with ultra-high performance for various applications in the coming days.
Keywords: Energy storage device, Supercapacitor, Reduced graphene oxide, Strontium aluminate

ELEMENTALLY DOPED BIOMASS-DERIVED ACTIVATED CARBON (SM-DOPED MS-AC) FOR ENHANCED SUPERCAPACITOR PERFORMANCE

Muhammad Moeez
Department of Chemistry, Government Graduate College for Boys, Taunsa Sharif , 32100, Pakistan
ORCİD: 0009-0006-9060-604X,

Ansar Rafeeq
Department of Physics, Government Graduate College for Boys, Taunsa Sharif , 32100, Pakistan
ORCİD: 0009-0008-5750-146X

Abstract
The development of sustainable and effective electrode materials is essential to the advancement of high-performance supercapacitors. In this study, we report a low-cost, eco-friendly way of producing samarium-doped activated carbon from mosambi peel (sweet lime) waste using the KOH activation process for utilization in supercapacitors. The addition of samarium to the biomass carbon framework increased the number of active sites and enhanced the material's characteristics. Electrochemical analysis demonstrates that the samarium-doped mosambi peel activated carbon (Sm-doped MS-AC) electrode achieves a remarkable specific capacitance (Cs) of 560 F/g at 1 A/g current density. The material demonstrates a high energy and power densities of 68.80 Wh/kg (Ed) and 470 W/kg (Pd). Fur thermore, the electroactive material revealed excellent kinetic features with a low solution resistance (Rs) of 0.6 Ω and retained exceptional cycling stability over 6500th cycles. The practical capabilities of the material were evaluated through two-electrode symmetric studies. These analyses yielded Cs of 182 F/g, Ed of 20.54 Wh/kg, and Pd of 1800 W/kg. These results demonstrate the crucial role that heteroatom engineering plays in improving the electrochemical behaviour of carbons derived from biomass, offering an adaptable approach for sustainable energy storage devices..
Keywords: Energy Storage, Bio-mass, Supercapacitor, Elemental doping

BIOSYNTHESIS OF MGFE2O4 NANOPARTICLES USING PLANT EXTRACT FOR EFFICIENT LEAD AND MERCURY REMOVAL FROM WATER: ADSORPTION ISOTHERMS, KINETICS, REGENERATION PERFORMANCE AND DFT STUDIES

Dr. Sofia Kerouad

Laboratory of Engineering and Applied Technologies, School of Technology, Beni Mellal, Morocco
ORCİD: ID/0009-0006-7993-0236

Abstract
Heavy metal contamination in water poses severe environmental and health challenges, creating an urgent need for sustainable remediation strategies. In this study, magnesium ferrite ($MgFe_2O_4$) nanoparticles were biosynthesized using natural plant extracts and explored as bioadsorbents for the removal of Pb^{2+} and Hg^{2+} from wastewater. The nanoparticles were thoroughly characterized by SEM, FTIR, and XRD, confirming the formation of well-defined spinel structures (~3.77 nm) and the presence of hydroxyl and cyano groups as active adsorption sites. Batch adsorption experiments demonstrated high removal efficiencies, with maximum capacities of 94.85 mg/g for Pb^{2+} and 97.37 mg/g for Hg^{2+}, best described by the Langmuir isotherm. Kinetic analysis indicated pseudo-second-order behavior, suggesting chemisorptiondriven mechanisms. Complementary DFT calculations revealed strong electronic interactions between the metal ions and the $MgFe_2O_4$ surface, supporting the experimental findings. Additionally, the nanoparticles retained their adsorption performance over five reuse cycles, highlighting their stability and cost-effectiveness. These results position biosynthesized $MgFe_2O_4$ nanoparticles as promising, sustainable materials for heavy metal remediation in water treatment applications.
Keywords: Heavy metal ions, Bio-adsorption, Nanoparticles, Wastewater, DFT

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND MULTIMODAL BIOACTIVITY ANALYSIS OF MENTHOL LYSINATE

MENTOL LİSİNAT'IN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE ÇOK YÖNLÜ BİYOAKTİVİTE ANALİZİ

Assoc. Prof. Lolakhon Ettibaeva,
Gulistan State University, Faculty of Natural Sciences, Department of Chemistry, Gulistan, Uzbekistan
ORCID:0000-0002-6896-088X

Prof. Ruhan BENLİKAYA
Balıkesir University, Necatibey Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Balıkesir, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1731-8846

Asst. Prof. Pınar Güner
Balıkesir University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Balıkesir, Türkiye
ORCID: 0000-0001-6922-7009,+905077188881

Prof. Aylin ER
Balıkesir University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Balıkesir, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8108-8950,+905323004019

Abstract
Menthol is a naturally occurring monoterpene recognized for its diverse biological activities. In this study, a novel menthyl lysinate ester (Ment-Lys) was synthesized through an acidic esterification reaction between menthol and L-lysine. The chemical structure was validated using Fourier-Transform Infrared (FTIR) and C-13 Nuclear Magnetic Resonance (^{13}C-NMR) spectroscopy. The biological potential of Ment-Lys was evaluated through antimicrobial assays and developmental studies on the model organism *Galleria mellonella*. The ester demonstrated broad-spectrum antimicrobial activity, with the most potent effects observed against *S. aureus* and *S. agalactiae* (MIC: 32 µg/mL). Developmental biology studies revealed significant dose-dependent effects. Ment-Lys shortened the larval period while prolonging the pupal stage and delaying adult emergence. Notably, the highest concentration (10 mg/mL) resulted in a 90% reduction in total egg production, indicating potent reproductive suppression. These findings position Ment-Lys as a promising multifunctional bioactive candidate for pharmaceutical, veterinary, and agricultural applications.
Keywords: Menthol, L-lysine, Esterification, Antimicrobial Activity, Galleria mellonella, Reproductive Suppression.

Özet
Mentol, çeşitli biyolojik aktiviteleriyle bilinen, doğal olarak oluşan bir monoterpendir. Bu çalışmada, mentol ile L-lisin arasındaki asidik esterleşme reaksiyonu yoluyla yeni bir mentil lisinat esteri (Ment-Lys) sentezlenmiştir. Kimyasal yapı, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) ve Karbon-13 Nükleer Manyetik Rezonans (^{13}C-NMR) spektroskopisi kullanılarak doğrulanmıştır. Ment-Lys'in biyolojik potansiyeli, antimikrobiyal deneyler ve model organizma Galleria mellonella üzerinde yapılan gelişimsel çalışmalarla değerlendirilmiştir. İlgili ester, en güçlü etkilerin S. aureus ve S. agalactiae'ye karşı gözlendiği (MİK: 32 µg/mL) geniş spektrumlu bir antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Gelişim biyolojisi çalışmaları, doz bağımlı önemli etkiler ortaya koymuştur. Ment-Lys, larva döneminin süresini kısaltırken pupa evresini uzatmış ve erişkin bireylerin çıkışını geciktirmiştir. Özellikle, en yüksek konsantrasyonda (10 mg/mL) toplam yumurta üretiminde %90 oranında azalma tespit edilmiş olup, bu durum güçlü bir üreme baskılayıcı etkiye işaret etmektedir. Bu bulgular, Ment-Lys'i farmasötik, veteriner ve tarımsal uygulamalar için umut verici, çok işlevli bir biyoaktif aday olarak konumlandırmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Mentol, L-lisin, Esterleşme, Antimikrobiyal Aktivite, Galleria mellonella, Üreme Baskılanması

INTRODUCTION

Menthol is a plant-derived cyclic monoterpene alcohol of significant industrial and chemical importance. Its significance was globally recognized in 2001 when Ryoji Noyori received the Nobel Prize in Chemistry for pioneering work on asymmetric catalysis in the synthesis of chiral compounds. Beyond its role as a premier flavoring and cooling agent in the pharmaceutical and food industries (Kamatou et al., 2013; Patel et al., 2014), menthol exhibits distinct, dose-dependent sensory (Patel et al., 2007; Wei & Seid, 1983) and pharmacological effects (Oz et al., 2017).

The therapeutic efficacy of menthol and its derivatives is inherently governed by their chemical architecture (Kumari & Singh, 2020; Samarasekera et al., 2008; Zengin, 2011). Understanding the structure–activity relationship (SAR) is critical for optimizing molecular interactions with biological targets, such as receptors and enzymes, to enhance therapeutic properties, including analgesic and anti-inflammatory effects (Galeotti et al., 2002; Kamble et al., 2024). Recent studies, such as that by Kamble et al. (2024), demonstrate that modifying the C3-hydroxyl (C3–OH) group through esterification with aromatic or aliphatic acids can significantly enhance binding affinities and antimicrobial activities. Such modifications may facilitate key molecular interactions, including hydrogen bonding with inflammatory targets such as cyclooxygenase-2 (COX-2) (Kamble et al., 2024).

L-Lysine is an essential amino acid fundamental to protein biosynthesis and energy metabolism. Beyond its nutritional role, it exhibits significant pharmacological versatility, acting as a partial serotonin receptor antagonist with anxiolytic and antidiarrheal properties (Smriga & Torii, 2003; Smriga et al., 2007). Furthermore, L-lysine modulates endocrine functions by suppressing serotonin-induced aldosterone secretion (Duparc et al., 2017) and may mitigate diabetic complications by inhibiting protein glycosylation (Jafarnejad et al., 2008). In the brain, impaired L-lysine metabolism and its accumulation have been associated with metabolic and neurological disorders, including glutaric aciduria type I (Posset et al., 2015; Sauer et al., 2011), pyridoxine-dependent epilepsy (Plecko et al., 2005), and hyperlysinemia (Houten et al., 2013). Its involvement in neurological regulation, particularly in pain sensitivity and angiogenesis, further underscores its potential as a versatile bioactive scaffold for therapeutic development (Gupta et al., 2004; Hallen et al., 2013; Severyanova et al., 2019).

The aim of this study was to synthesize and characterize a novel menthol–lysine ester (Ment-Lys) to explore its potential as a multifunctional bioactive agent. The conjugation was performed at the C3-hydroxyl group of menthol with L-lysine. The effects of Ment-Lys on antimicrobial susceptibility and the developmental physiology of *Galleria mellonella* were systematically evaluated. These findings provide a foundation for potential applications in the pharmaceutical, veterinary, and agricultural sectors.

RESEARCH METHODOLOGY

Chemicals

All reagents and solvents used in the synthesis were of analytical grade. Menthol was purchased from Shandong Baovi Energy Technology Co., Ltd. L-lysine was obtained from Xi'an Ceres Biotech Co., Ltd.

Synthesis of the ester

In a 100 mL two-neck round-bottom flask, 0.013 mol of menthol was dissolved in 0.5 mL of methanol and stirred for 30 minutes. Subsequently, 0.01 mol of L-lysine dissolved in 7 mL of concentrated hydrochloric acid was added to the mixture. The reaction was maintained at 35–40 °C with continuous stirring for 5–6 hours. Following completion, the solvent was removed under vacuum, and the product (Ment-Lys) was recrystallized from an alcohol-acetone mixture. The final reaction yield was determined to be 72%. The progress of the reaction was monitored by thin-layer chromatography (TLC) using hexane–acetone (2:1, system I) and benzene–chloroform (3:2, system II) solvent systems. The identification of the ester by TLC showed that its Rf value was 0.50. Melting point values and solubility properties of the compounds are also given in Table 1.

Table 1: Some physicochemical parameters of the menthol and Ment-Lys

Compounds	Molecular formula	Mw (g/mol)	Tm (°C)	R_f	Solubility	Yield%
Menthol	$C_{10}H_{20}O$	156	42±2	0.55	Ethanol, dioxane, chloroform,	..
Ment-Lys	$C_{16}H_{32}N_2O_2$	284	110±2	0.50	Hexane, ethyleasetate, chloroform, benzene, ethanol	72

Analytical Methods

FTIR analyses were performed with the attenuated total reflection mode of IR Affinity 1S (Shimadzu, Japan) spectrometer. The analyses with the resolution of 2 cm^{-1} were conducted in the range of 550–4000 cm^{-1}. ^{13}C-NMR spectra were recorded on a JEOL ECZ500R (500 MHz) spectrometer at room temperature. The resulting compound dissolved in DMSO-d_6, with chemical shifts reported in ppm relative to residual solvent signals (δ~40 ppm).

Antimicrobial Activity Tests

To evaluate the antimicrobial activity of Ment-Lys, various Gram (+) bacteria (*Staph ylococcus aureus* (ATCC 6538P), *Bacillus cereus* (CCM 99), and *Streptococcus agalactiae* (ATCC 23956) and Gram (−) bacteria (*Klebsiella pneumoniae* (CCM 26 2318), *Escherichia coli* (ATCC 11230), *Proteus vulgaris* (ATCC 6897), and *Serratia marcescens* (ATCC 13880) were used. Furthermore, the fungal pathogen *Candida albicans* (ATCC10239) was also utilized in this study. Antimicrobial susceptibility was assessed using the broth microdilution method according to standard protocols [Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). 2018; CLSI 2017]. Samples dissolved in Dimethyl sulfoxide (DMSO) were tested at concentrations ranging from 1 to 512 µg/mL, utilizing MHB (Mueller-Hinton Broth) for bacteria and SDB (Sabouraud Dextrose Broth) for fungi. Following a 24-hour incubation (37 °C for bacteria; 28 °C for fungi), microbial viability was indicated by a pink color change following the addition of 2,3,5-triphenyl-2H-tetrazolium chloride (TBTB). The Minimum Inhibitory Concentration (MIC) was identified as the lowest concentration inhibiting visible growth. To determine Minimum Bactericidal Concentration (MBC) and Minimum Fungicidal Concentration (MFC), samples from the MIC and higher-concentration wells were subcultured into fresh media to identify the lowest concentrations resulting in complete microbial inactivation.

Galleria Mellonella Studies

Rearing Conditions

G. mellonella colonies were obtained from the Department of Biology at Balıkesir University. The larvae were maintained under controlled laboratory conditions at 30 °C and 65 ± 5% relative humidity. A 12:12-hour light-dark cycle was applied throughout the rearing period. The insects were fed a synthetic diet composed of wheat bran (500 g), honey (150 mL), glycerol (300 mL), distilled water (150 mL), and beeswax (200 g). Last instar larvae weighing between 250 and 300 mg were specifically selected for the experiments.

Preparation of Treatment Solutions

A primary stock solution (50 mg/mL) was prepared by dissolving 0.5 g of Ment-Lys in a mixture of 5% dimethyl sulfoxide (DMSO) and 95% distilled water. Working concentrations ranging from 0.5 to 10 mg/mL were subsequently obtained through serial dilutions using the same solvent mixture.

Developmental Procedure

Topical treatments were performed by applying 2 µL of the Ment-Lys solutions to the larvae. Each treatment group consisted of five larvae. All experiments were conducted in three independent

replicates. Control groups included both untreated larvae and those treated with the solvent mixture (5% DMSO/95% water). Following treatment, all groups were monitored at 26 ± 2 °C and 65 ± 5% relative humidity. Developmental parameters, including larval and pupal durations, adult emergence time, longevity, and total egg production, were systematically recorded.

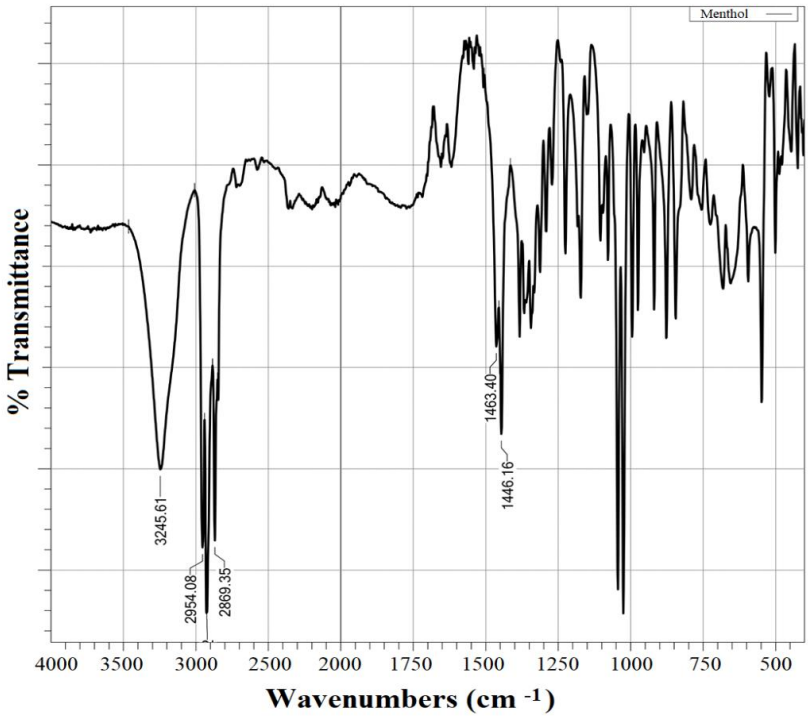
Statistical Analysis

Data were analyzed using one-way ANOVA followed by Tukey's HSD test for multiple comparisons. Mortality values were validated using Levene's test.

RESULTS AND DISCUSSION

FTIR Analyses

The FTIR spectrum of the synthesized compound was evaluated relative to the starting material, menthol. Menthol's spectrum (Fig. 1a) exhibits characteristic OH group stretching at 3246 cm^{-1} and bending at 1343 and 1312 cm^{-1}. C–H stretching vibrations for aliphatic groups appear between 2951 and 2870 cm^{-1}, with corresponding bending vibrations at 1454 and 1447 cm^{-1}. Additionally, C–O stretching vibrations are identified at 1045 and 1026 cm^{-1} [Silverstein et al., 2005]. In the spectrum of Ment-Lys (Fig. 1b), the successful formation of the ester bond was confirmed by the appearance of a strong ester carbonyl (C=O) absorption at 1732 cm^{-1}. A band is seen at 3231 cm^{-1} instead of the original menthol –OH stretching signal at 3246 cm^{-1}. The FTIR spectrum of pure lysine exhibited a broad, shouldered absorption band in the 3300–3500 cm^{-1} region corresponding to overlapping O-H and N-H stretching vibrations, intense sp^3 C-H stretching peaks of the aliphatic chain between 2800 and 3000 cm^{-1}, and a sharp, split absorption complex around 1500–1650 cm^{-1} characteristic of both carboxylate asymmetric stretching and amine N-H bending modes in its zwitterionic form [Choi Y.et al, 2016]. The band at 3231 cm^{-1} is attributed to the primary amino ($–NH_2$) stretching vibrations of the lysine moiety, further supported by the amino bending vibration at 1605 cm^{-1}. The lack of the characteristic hydroxyl stretching of menthol and the appearance of the ester carbonyl stretching in the FTIR spectra reveal that the hydroxyl group of the menthol reacted with the carboxyl groups of the amino acids to form the menthyl ester derivatives, as supported by another studies [Silverstein et al., 2005; Ettibaeva et al.,2025].



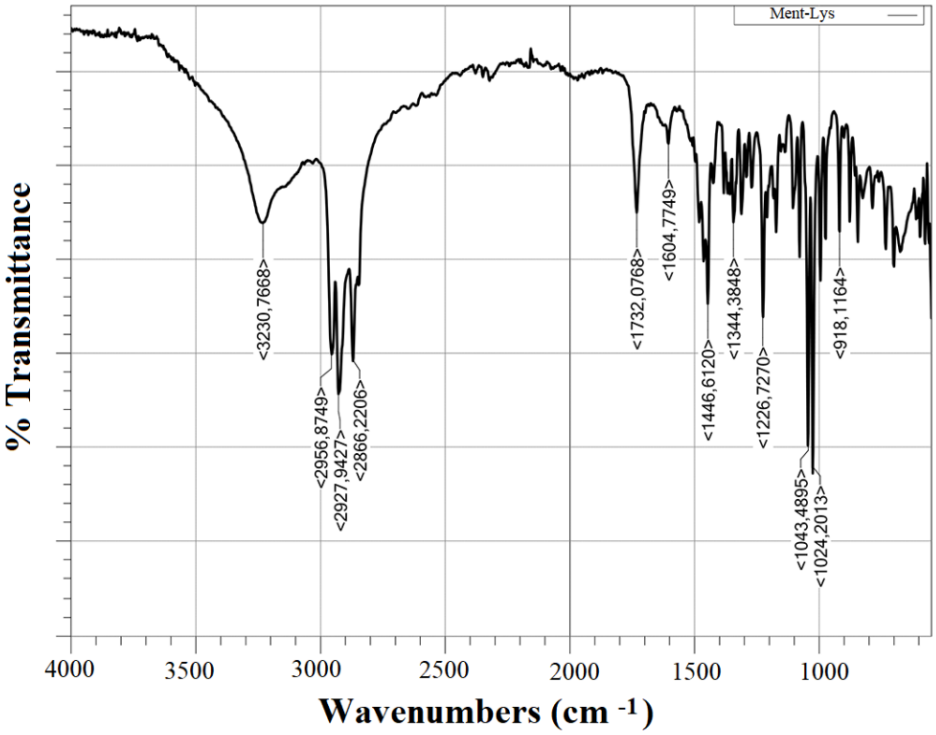


Figure 1: FTIR spectra of the Menthol (a) and Ment-Lys (b) compounds

^{13}C-NMR Analyses

The ^{13}C-NMR spectrum of Ment-Lys is given in Figure 2. The chemical shifts for the hydroxyl-bearing carbon and the ring carbon bonded to the isopropyl group of the menthol were reported as 70.80 and 50.80 ppm in our previous study, respectively [Ettibaeva et al.,2025]. Ment-Lys has chemical shifts 171.36 ppm for the ester carbon and 52.14 ppm for the α-carbon of the amino acid moiety. The menthyl ester derivatives from menthol and various amino acids such as glycine, histidine, and leucine also showed chemical shifts between 169 and 173 ppm for the ester carbon and between 40 and 53 ppm for the α-carbon [Ettibaeva et al.,2025]. These observations support the findings obtained from the FTIR analysis and possible reaction for the synthesis of Ment-Lys in Figure 3.

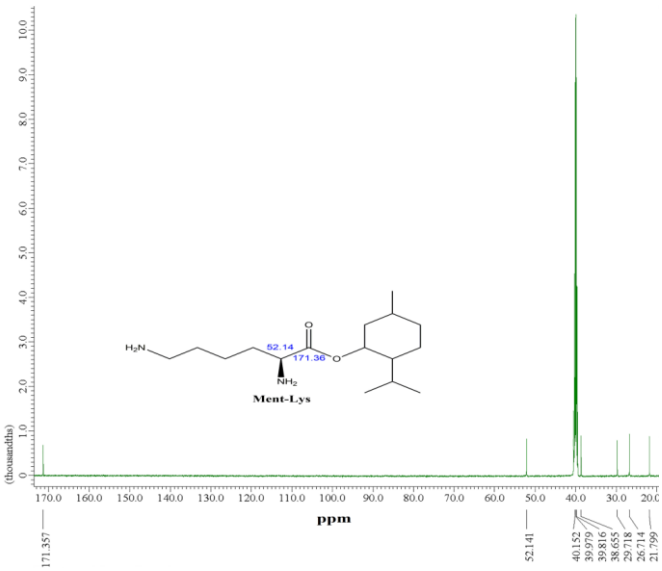


Figure 2: ^{13}C-NMR spectrum of Ment-Lys

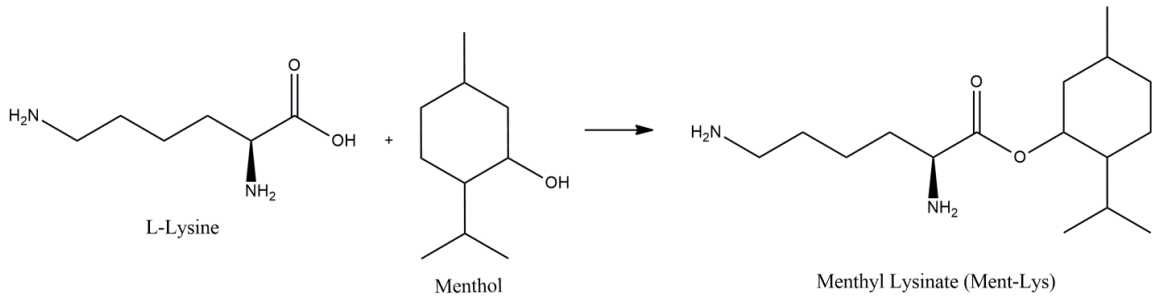


Figure 3: The synthesis reaction of Ment-Lys

Antimicrobial Activity

Ment-Lys showed notable antimicrobial activity against all tested microorganisms, with MIC values ranging between 32 and 128 µg/mL as seen in Figure 4. The strongest inhibitory effect was observed against *S. aureus and S. agalactiae* (MIC: 32 µg/mL; MBC: 128 µg/mL), while *E. coli* exhibited the lowest susceptibility (MIC: 128 µg/mL; MBC: 256 µg/mL). Ment-Lys exhibited broad-spectrum antimicrobial activity against the Gram-positive and Gram-negative bacteria, as well as *C. albicans*. The highest susceptibility was observed in Gram-positive strains, specifically *S. aureus and S. agalactiae*, while *E. coli* proved more resistant. This trend aligns with previous reports on menthol-based essential oils, where the outer membrane of Gram-negative bacteria acts as a barrier to hydrophobic compounds, thereby reducing their effectiveness [Trombetta, D.et al.,2005]. The compound's antimicrobial efficacy is primarily linked to its interaction with biological membranes, disrupting integrity, increasing permeability, and interfering with ion transport and membrane-associated proteins [Landau E., & Shapira R. 2012; Husain, F. M.et al.2015]. There also some studies suggest that such monoterpenes inhibit biofilm formation [Zore et al., 2022]. Furthermore, the significant anti-Candida activity (MIC: 64 µg/mL) corroborates prior findings that menthol destabilizes fungal membranes and induces oxidative stress, leading to apoptosis, which underscores the potential of this ester as a promising antifungal candidate [Di Rienzo A.et al.,2026].

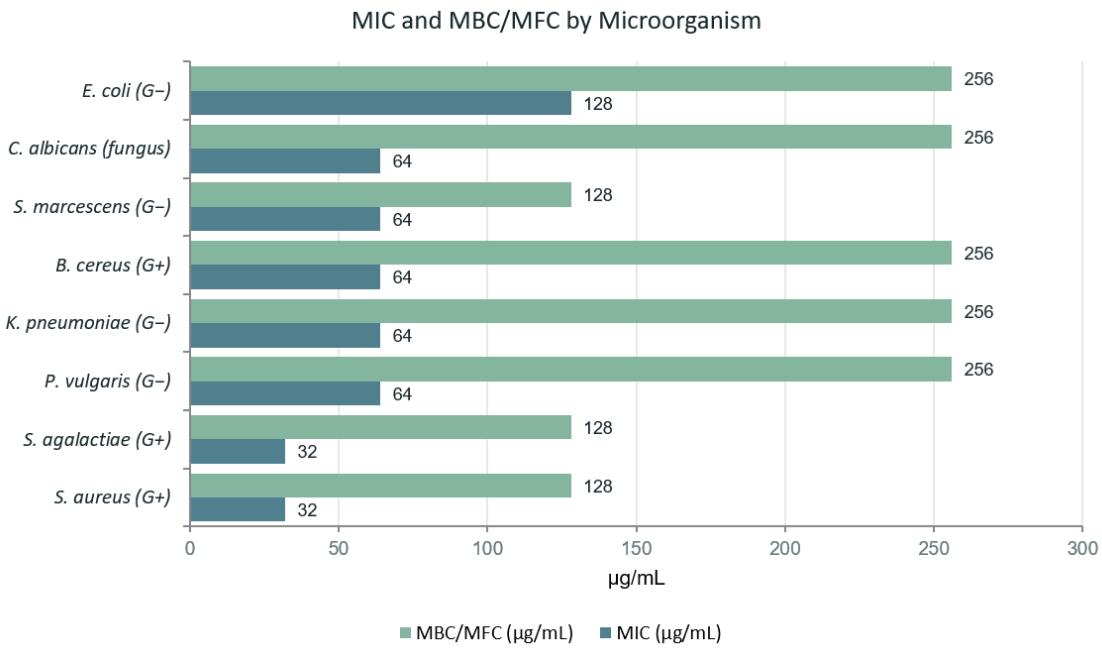


Figure 4: MIC and MBC/MFC values of Ment-Lys against the tested microorganisms.

Developmental Effects on *G. mellonella*

Dose-dependent effects on developmental and reproductive parameters of *G. mellonella* revealed that larval stage duration significantly decreased starting from 0.5 mg/mL, with the lowest mean observed at 10 mg/mL (1.07±0.067 days) compared to the control (2.27±0.118 days) (F = 21.960; df = 7,112; p = 0.001). In contrast, pupal stage duration increased with increasing dose, reaching the highest value at 10 mg/mL (15.20±0.355 days) compared to the control (10.67±0.187 days) (F = 43.934; df = 7,112; p = 0.001). Similarly, adult emergence time showed a dose-dependent increase with the highest values recorded at 5 and 10 mg/mL (19.00±0.390 and 19.00±0.425 days, respectively) compared to the control (17.40±0.214 days) (F = 5.865; df = 7,112; p = 0.001). Adult longevity decreased with increasing dose, with the shortest longevity observed at 5 mg/mL (7.60±0.798 days) compared to the control group (12.93±0.605 days) (F = 10.685; df = 7,112; p = 0.001). No statistically significant differences were found in weight among treatment groups (F = 1.903; df = 7,112; p = 0.076), although slight fluctuations were observed. In contrast, total egg number significantly decreased in all treatment groups compared to the control, with the lowest value recorded at 10 mg/mL (11.00±4.327) versus the control (110.07±25.046) (F = 7.471; df = 7,112; p = 0.001) (Table 2 and Figure 5).

Table 2. Effects of Ment-Lys on G. mellonella larvae.

Dose (mg/mL)	LARVAL STAGE		PUPAL STAGE		ADULT EMERGENCE TIME	
	Min.-Max.	$\bar{x}$ ±SE*	Min.-Max.	$\bar{x}$ ±SE*	Min.-Max.	$\bar{x}$ ±SE*
Control	2-3	2.27±0.118a	10-12	10.67±0.187a	17.40±0.214a	17.40±0.214a
95% W-5%DMSO	2-3	2.53±0.133a	10-12	10.93±0.206ab	17.60±0.254a	17.60±0.254a
0.1	2-3	2.33±0.126a	10-12	10.80±0.175a	17.33±0.187a	17.33±0.187a
0.5	1-2	1.73±0.118b	10-12	10.80±0.223a	17.53±0.236a	17.53±0.236a
1	1-2	1.53±0.133bc	10-13	12.00±0.239b	18.07±0.284ab	18.07±0.284ab
2	1-2	1.40±0.131bc	11-15	13.33±0.303c	18.53±0.236ab	18.53±0.236ab
5	1-2	1.20±0.107c	12-17	14.33±0.398cd	19.00±0.390b	19.00±0.390b
10	1-2	1.07±0.067c	13-18	15.20±0.355d	19.00±0.425b	19.00±0.425b
Dose	**ADULT LONGEVITY**		**WEIGHT**		**TOTAL EGG NUMBER**	
	Min.-Max.	**$\bar{x}$ ±SE***	**Min.-Max.**	**$\bar{x}$ ±SE***	**Min.-Max.**	**$\bar{x}$ ±SE***
Control	10-16	12.93±0.605a	43.10-65.10	55.42±1.737a	0-313	110.07±25.046a
95% W-5%DMSO	10-16	17.43±0.584a	44.10-65.70	56.04±1.752a	0-303	100.67±24.523a
0.1	7-15	10.80±0.641ab	48.20-85.10	60.48±2.438a	0-102	31.93±9.388b
0.5	7-15	10.60±0.592ab	49.10-80.20	62.35±2.411a	0-106	31.80±9.866b
1	6-14	9.33±0.681bc	48.90-70.10	59.46±1.928a	0-96	25.27±9.775b
2	5-14	8.67±0.773bc	47.20-70.12	62.71±2.040a	0-78	18.60±6.973b
5	5-14	7.60±0.798c	49.60-71.30	60.31±2.065a	0-62	19.00±6.426b
10	5-14	7.93±0.658bc	48.60-66.60	57.35±1.324a	0-55	11.00±4.327b

*Means in each column followed by the same letter are not significantly different (P>0.05; Tukey's HSD test). † Data are an average of 15 individuals in three replicates.

Beyond its antimicrobial action, Ment-Lys significantly disrupted the developmental parameters of *G. mellonella*. Increasing concentrations shortened the larval period while concomitantly prolonging pupal development and delaying adult emergence. These alterations suggest that Ment-Lys induces physiological stress and disrupts hormonal balance, similar to developmental disturbances reported for other monoterpenes. Notably, this compound caused a drastic reduction in reproductive output, with egg production declining by nearly 90% at the highest dose. Given that the adult body weight remained unaffected, these findings indicate that reproductive and developmental traits are more sensitive indicators of Ment-Lys toxicity than somatic growth.

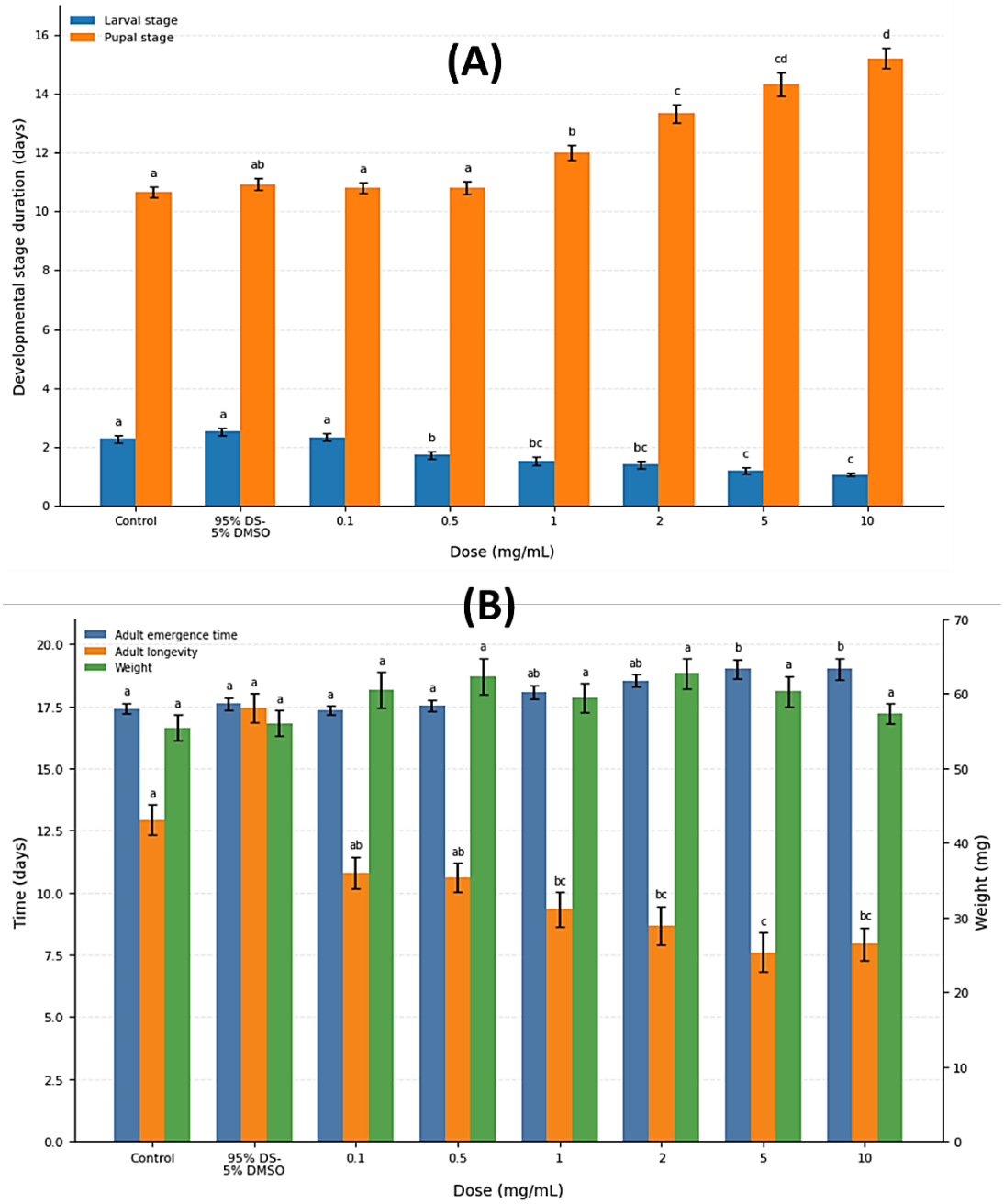


Figure 5: Developmental effects of Ment-Lys on *G. mellonella*. Effects of different Ment-Lys concentrations on larval and pupal developmental duration (A), adult emergence time, adult longevity, and adult weight (B). Data are presented as mean ± standard error (SE). Different lowercase letters indicate statistically significant differences among treatments ($p < 0.05$).

CONCLUSIONS

In this study, the menthyl lysinate ester was successfully synthesized through the acidic esterification of menthol and L-lysine, achieving a reaction yield of 72%. The chemical architecture was comprehensively validated using FTIR and ^{13}C-NMR spectroscopy, which confirmed the formation of the ester bond at the C3-hydroxyl group of menthol.

The biological evaluations demonstrated that Ment-Lys possesses broad-spectrum antimicrobial activity against the Gram (+) and the Gram (-) bacteria, as well as *C. albicans*. The most potent inhibitory effects were recorded against *S. aureus* and *S. agalactiae* with MIC values of 32 µg/mL. Furthermore, developmental assays on the model organism *G. mellonella* revealed that the ester induces significant physiological stress. This stress was characterized by a dose-dependent shortening of the larval stage and a dramatic 90% reduction in reproductive output at peak concentrations.

A key finding of this study is that somatic growth remained unaffected, suggesting that the toxicity of Ment-Lys is specifically directed toward developmental timing and fecundity rather than general biomass accumulation. Overall, these findings position Ment-Lys as a promising multifunctional bioactive candidate for future applications in the pharmaceutical, veterinary, and agricultural sectors. However, further research is necessary to fully elucidate the precise molecular mechanisms and safety profiles of this ester under practical conditions.

REFERENCES

Choi, Y., Thongsai, N., Chae, A., Jo, S., Kang, E. B., Paoprasert, P., Park, S., & In, I. (2017). Microwave-assisted synthesis of luminescent and biocompatible lysine-based carbon quantum dots. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 47*, 219–227. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.12.002

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2017). *Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of yeasts* (4th ed., CLSI standard M27). Clinical and Laboratory Standards Institute.

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2018). *Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically* (11th ed., CLSI standard M07). Clinical and Laboratory Standards Institute.

Di Rienzo, A., Faris, A., Mingoia, M., Conte, C., Marinucci, L., Magi, G., Cufaro, M. C., Del Boccio, P., Maioli, M., Di Stefano, A., & Cacciatore, I. (2026). Advancing infection therapy: The role of novel menthol-based antimicrobials. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry, 41*(1), Article 2596488. https://doi.org/10.1080/14756366.2025.2596488

Duparc, C., André, C., Ménard, J., Godouet-Getti, B., Wils, J., Cailleux, A. F., Moreau-Grange, L., Louiset, E., & Lefebvre, H. (2017). L-Lysine acts as a serotonin type 4 receptor antagonist to counteract in vitro and in vivo the stimulatory effect of serotonergic agents on aldosterone secretion in man. *Hormone and Metabolic Research, 49*, 269–275. https://doi.org/10.1055/s-0042-122781

Ettibaeva, L., Ergashev, A., Benlikaya, R., Güner, P., & Matchanov, A. (2025). Synthesis, characterization, and potential applications of menthol amino acid ester derivatives. *Applied Biochemistry and Biotechnology, 197*, 6640–6658. https://doi.org/10.1007/s12010-025-05336-8

Galeotti, N., Di Cesare Mannelli, L., Mazzanti, G., Bartolini, A., & Ghelardini, C. (2002). Menthol: A natural analgesic compound. *Neuroscience Letters, 322*, 145–148. https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02527-7

Gupta, R., Agarwal, A., Agarwal, S., Mohan, P., Husain, M., Alger, J., Pandey, C., & Datta, D. (2004). Reversal of acute human brain ischemic injury by lysine induced therapeutic angiogenesis: Preliminary results of a pilot study. *Internet Journal of Neurology, 4*, 1–8. https://ispub.com/IJN/4/1/12495

Hallen, A., Jamie, J. F., & Cooper, A. J. (2013). Lysine metabolism in mammalian brain: An update on the importance of recent discoveries. *Amino Acids, 45*, 1249–1272. https://doi.org/10.1007/s00726-013-1590-1

Houten, S. M., te Brinke, H., Denis, S., Ruiter, J. P. N., Knegt, A. C., de Klerk, J. B. C., Augoustides-Savvopoulou, P., Häberle, J., Baumgartner, M. R., Coşkun, T., et al. (2013). Genetic basis of

hyperlysinemia. *Orphanet Journal of Rare Diseases, 8*, 1–8. https://doi.org/10.1186/1750-1172-8-57

Husain, F. M., Ahmad, I., Al-Thubiani, A. S., Abulreesh, H. H., AlHazza, I. M., Aqil, F., & Alkahtani, M. D. F. (2015). Sub-MICs of *Mentha piperita* essential oil and menthol inhibit AHL-mediated quorum sensing and biofilm formation in Gram-negative bacteria. *Frontiers in Microbiology, 6*, 420. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00420

Jafarnejad, A., Bathaie, S. Z., Nakhjavani, M., Hassan, M. Z., & Banasadegh, S. (2008). The improvement effect of L-Lys as a chemical chaperone on STZ-induced diabetic rats, protein structure and function. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews, 24*, 64–73. https://doi.org/10.1002/dmrr.769

Kamble, M., Sabale, P., Dhabarde, D., Sabale, V., & Mule, A. (2024). Synthesis of amino menthol derivatives for enhanced antimicrobial and anti-inflammatory activity using in-silico design. *Research Journal of Pharmacy and Technology, 17*, 2669–2675. https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00418

Kamatou, G. P., Vermaak, I., Viljoen, A. M., & Lawrence, B. M. (2013). Menthol: A simple monoterpene with remarkable biological properties. *Phytochemistry, 96*, 15–25. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2013.08.005

Kumari, A., & Singh, R. K. (2020). Morpholine as ubiquitous pharmacophore in medicinal chemistry: Deep insight into the structure–activity relationship (SAR). *Bioorganic Chemistry, 96*, 103578. https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2020.103578

Landau, E., & Shapira, R. (2012). Effects of subinhibitory concentrations of menthol on adaptation, morphological, and gene expression changes in enterohemorrhagic *Escherichia coli*. *Applied and Environmental Microbiology, 78*(15), 5361–5367. https://doi.org/10.1128/AEM.00894-12

Oz, M., El Nebrisi, E. G., Yang, K. S., Howarth, F. C., & Al Kury, L. T. (2017). Cellular and molecular targets of menthol actions. *Frontiers in Pharmacology, 8*, 472. https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00472

Patel, R., Gonçalves, L., Leveridge, M., Mack, S. R., Hendrick, A., Brice, N. L., et al. (2014). Anti-hyperalgesic effects of a novel TRPM8 agonist in neuropathic rats: A comparison with topical menthol. *Pain, 155*, 2097–2107. https://doi.org/10.1016/j.pain.2014.07.022

Patel, T., Ishiuji, Y., & Yosipovitch, G. (2007). Menthol: A refreshing look at this ancient compound. *Journal of the American Academy of Dermatology, 57*, 873–878. https://doi.org/10.1016/j.jaad.2007.04.008

Plecko, B., Hikel, C., Korenke, G. C., Schmitt, B., Baumgartner, M., Baumeister, F., Jakobs, C., Struys, E., Erwa, W., & Stöckler-Ipsiroglu, S. (2005). Pipecolic acid as a diagnostic marker of pyridoxine-dependent epilepsy. *Neuropediatrics, 36*, 200–205. https://doi.org/10.1055/s-2005-865727

Posset, R., Opp, S., Struys, E. A., Völkl, A., Mohr, H., Hoffmann, G. F., Kölker, S., Sauer, S. W., & Okun, J. G. (2015). Understanding cerebral L-lysine metabolism: The role of L-pipecolate metabolism in Gcdh-deficient mice as a model for glutaric aciduria type I. *Journal of Inherited Metabolic Disease, 38*, 265–272. https://doi.org/10.1007/s10545-014-9762-z

Rice, P. J., & Coats, J. R. (1994). Insecticidal properties of several monoterpenoids to the house fly (Diptera: Muscidae), red flour beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology, 87*, 1172–1179. https://doi.org/10.1093/jee/87.5.1172

Samarasekera, R., Weerasinghe, I. S., & Hemalal, K. P. (2008). Insecticidal activity of menthol derivatives against mosquitoes. *Pest Management Science, 64*, 290–295. https://doi.org/10.1002/ps.1516

Sauer, S. W., Opp, S., Hoffmann, G. F., Koeller, D. M., Okun, J. G., & Kölker, S. (2011). Therapeutic modulation of cerebral L-lysine metabolism in a mouse model for glutaric aciduria type I. *Brain, 134*, 157–170. https://doi.org/10.1093/brain/awq269

Severyanova, L. A., Lazarenko, V. A., Plotnikov, D. V., Dolgintsev, M. E., & Kriukov, A. A. (2019). L-Lysine as the molecule influencing selective brain activity in pain-induced behavior of rats. *International Journal of Molecular Sciences, 20*, 1899. https://doi.org/10.3390/ijms20081899

Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. (2005). *Spectrometric identification of organic compounds* (7th ed.). John Wiley & Sons.

Smriga, M., Ando, T., Akutsu, M., Furukawa, Y., Miwa, K., & Morinaga, Y. (2007). Oral treatment with L-lysine and L-arginine reduces anxiety and basal cortisol levels in healthy humans. *Biomedical Research, 28*, 85–90. https://doi.org/10.2220/biomedres.28.85

Smriga, M., & Torii, K. (2003). L-Lysine acts like a partial serotonin receptor 4 antagonist and inhibits serotonin-mediated intestinal pathologies and anxiety in rats. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 100*(26), 15370–15375. https://doi.org/10.1073/pnas.2436556100

Trombetta, D., Castelli, F., Sarpietro, M. G., Venuti, V., Cristani, M., Daniele, C., Saija, A., Mazzanti, G., & Bisignano, G. (2005). Mechanisms of antibacterial action of three monoterpenes. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 49*(6), 2474–2478. https://doi.org/10.1128/AAC.49.6.2474-2478.2005

Wei, E. T., & Seid, D. A. (1983). AG-3-5: A chemical producing sensations of cold. *Journal of Pharmacy and Pharmacology, 35*, 110–112. https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1983.tb04279.x

Zengin, G. (2011). Synthesis, antimicrobial activity, and structure–activity relationships of eugenol, menthol, and genistein esters. *Chemistry of Natural Compounds, 47*, 550–555. https://doi.org/10.1007/s10600-011-9994

Zore, G. B., Thakre, A. D., Jadhav, S., & Karuppayil, S. M. (2022). Menthol inhibits *Candida albicans* growth by affecting membrane integrity, oxidative stress, cell cycle arrest and apoptosis. *Journal of Fungi, 8*(11), 1182. https://doi.org/10.3390/jof8111182

SYNTHESIS AND SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION OF SUPRAMOLECULAR COMPLEX OF RAGOSIN WITH TRISODIUM SALT OF GLYCYRRHIZIC ACID

RAGOSİN İLE GLİSİRİZİK ASİDİN TRİSODYUM TUZUNUN SUPRAMOLEKÜLER KOMPLEKSİNİN SENTEZİ VE SPEKTROSKOPİK KARAKTERİZASYONU

Khilola ABDUSHUKUROVA
Postgraduate Student, Gulistan State University, Nature Sciences Faculty, Chemistry Department, Syrdarya, Uzbekistan,
ORCID: ID/0009-0009-6611-0871

Prof. Ruhan BENLİKAYA
Balıkesir University, Necatibey Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Balıkesir, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-1731-8846

Assoc. Prof. Zürriye GÜNDÜZ
Balıkesir University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Balıkesir, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-4987-1507

ABSTRACT

The development of supramolecular self-assembled systems utilizing glycyrrhizic acid (GA) derivatives as multifunctional drug carriers constitutes a promising strategy to enhance the delivery and therapeutic efficacy of bioactive molecules. Ragosin—a gossypol-derived Schiff base with recognized interferon-inducing and antiviral hepatitis activity— emerges as a suitable candidate for incorporation into such carrier systems. In this study, a novel 15:1 host-guest supramolecular complex of trisodium salt of glycyrrhizic acid (TSSGA) with Ragosin was synthesized and characterized by UV-Vis, FTIR, and ^{13}C-NMR spectroscopy. The UV-Vis analyses showed that the absorption maximum of TSSGA shifted from 253.5 nm to 260 nm upon complexation. This shift was accompanied by a pronounced hypochromic effect. These findings confirmed the successful encapsulation of Ragosin within the TSSGA matrix. The FTIR analyses revealed that the distinct hydroxyl bands of TSSGA merged into a single broad band in the complex, while the carboxylate vibrations shifted to a lower frequency. These changes indicated a major redistribution of the hydrogen-bond network and the active involvement of carboxylate groups in supramolecular stabilization. Furthermore, the ^{13}C-NMR analyses confirmed these intermolecular interactions through downfield shifts of both the aglycone and glucuronic acid carboxylate carbons. Ultimately, these coordinated spectroscopic findings confirm the successful formation of a stable host-guest assembly driven by specific intermolecular interactions. This stable complex offers a promising candidate for the development of novel hepatoprotective pharmaceutical formulations with improved therapeutic efficacy.

Keywords: Ragosin, glycyrrhizic acid, supramolecular complexes, spectroscopy, non-covalent interactions

ÖZET

Supramoleküler kendiliğinden bir araya gelen sistemlerin çok işlevli ilaç taşıyıcıları olarak glisirizik asit (GA) türevleri kullanılarak geliştirilmesi, biyoaktif moleküllerin taşınmasını ve terapötik etkinliğini artırmak için umut verici bir strateji oluşturmaktadır. Gossypol kökenli bir Schiff bazı olan ve tanınmış interferon indükleyici ve viral hepatite karşı aktivite gösteren Ragosin, bu tür taşıyıcı sistemlere dâhil edilmek için uygun bir aday niteliği taşımaktadır. Bu çalışmada, glisirizik asidin trisodyum tuzunun (TSSGA) Ragosin ile oluşturduğu yeni bir 15:1 konak-konuk supramoleküler kompleksi sentezlenmiş ve UV-Vis, FTIR ve ^{13}C-NMR spektroskopisiyle karakterize edilmiştir. UV-Vis analizleri, TSSGA'nın absorpsiyon maksimumunun kompleksleşme ile 253.5 nm'den 260 nm'ye kaydığını göstermiştir. Bu kaymaya belirgin bir hipokromik etki eşlik etmiştir. Bu bulgular, Ragosin'in TSSGA matriksi içerisine başarılı şekilde kapsüllendiğini doğrulamıştır. FTIR analizleri, TSSGA'nın ayrı hidroksil bantlarının

komplekste tek bir geniş bantta birleştiğini, karboksilat titreşimlerinin ise daha düşük frekansa kaydığını ortaya koymuştur. Bu değişimler, hidrojen bağı ağının önemli ölçüde yeniden düzenlendiğini ve karboksilat gruplarının supramoleküler kararlılaştırmaya aktif olarak katıldığını göstermiştir. Ayrıca, ^{13}C- NMR analizleri, hem aglikon hem de glukuronik asit karboksilat karbonlarının düşük alana kaymaları yoluyla bu moleküller arası etkileşimleri doğrulamıştır. Sonuç olarak, birbiriyle tutarlı olan bu spektroskopik bulgular, spesifik moleküller arası etkileşimler tarafından yönlendirilen kararlı bir konak-konuk yapının başarılı şekilde oluştuğunu doğrulamaktadır. Bu kararlı kompleks, geliştirilmiş terapötik etkinliğe sahip yeni hepatoprotektif farmasötik formülasyonların geliştirilmesi için umut verici bir aday niteliği taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Ragosin, glisirizik asit, supramoleküler kompleksler, spektroskopi, kovalent olmayan etkileşimler.

INTRODUCTION

Supramolecular host-guest complexes consist of two or more molecules held together by reversible, non-covalent interactions. These systems have gained significant attention as innovative drug carriers in drug delivery systems (Mejuto & Simal-Gandara, 2022). Glycyrrhizic acid (GA) is the primary bioactive triterpene saponin extracted from licorice root (*Glycyrrhiza glabra*). Structurally, GA is an amphiphilic host featuring a hydrophobic aglycone and a hydrophilic diglucuronic unit (Tykarska & Gdaniec, 2013). In solution, GA and its derivatives self-assemble to form lipophilic cavities capable of encapsulating poorly soluble guest molecules. This encapsulation enhances the solubility, chemical stability, and bioavailability of hydrophobic drugs while reducing therapeutic doses and side effects (Konkina et al., 2015; Tykarska & Gdaniec, 2013). Additionally, GA possesses anti-inflammatory, antitumor, and potent hepatoprotective properties (Ohtsu et al., 2025).

Ragosin is a gossypol-derived Schiff base with recognized interferon-inducing and antiviral activities, particularly against viral hepatitis (Baram et al., 1999). However, it is practically insoluble in water, which severely limits its bioavailability and clinical applications (Baram et al., 1999; Khaitbaev et al., 2020). To overcome this limitation, encapsulating Ragosin within GA-based host matrices represents a highly effective solubilization strategy (Khaitbaev et al., 2020). The formation of these supramolecular assemblies is driven by specific non-covalent forces, such as hydrogen bonding and ion-dipole interactions (Khaitbaev et al., 2020; Tykarska & Gdaniec, 2013).

In this study, a novel 15:1 host-guest supramolecular complex of the trisodium salt of glycyrrhizic acid (TSSGA) with Ragosin was synthesized to improve its solubility and therapeutic efficacy. The molecular-level interactions and structural properties of this novel hepatoprotective candidate were characterized using UV-Vis, FTIR, and ^{13}C-NMR spectroscopy.

METHODOLOGY

Chemicals

All reagents and solvents used in the synthesis were of analytical grade. Acetate Gossypol (98%) was purchased from Fengchen Group Co., Ltd. 4-aminoantipyrine 83-07-8 was obtained from Merck. Glycyrrhizic acid was synthesized from local plant (Glycyrrhiza glabra L). Chloroform, concentrated sulfuric acid, glacial acetic acid, acetone and ethanol were acquired from Sigma.

Synthesis of Supramolecular Complex of Ragosin with TSSGA

0.889 g (0.004 M) of TSSGA was completely dissolved in 50 mL of water at 50-60°C with mechanical stirring. Separately, 0.0592 g of Ragosin (0.001 M) was dissolved in 50 mL of 96% ethanol and added dropwise to the TSSGA solution while stirring. The mixture was stirred for 10-12 hours at room temperature. The organic portion of the reaction mixture was distilled off in a rotary evaporator. The aqueous residue was frozen and lyophilized. The resulting complex is abbreviated as TSSGA:Ragosin (15:1).

Characterization of the Complex

UV–Vis absorption spectra of Ragosin, TSSGA, and TSSGA:Ragosin (15:1) were recorded using a PerkinElmer Lambda 16 UV–Vis spectrophotometer. Sample preparation for UV measurements was conducted by dissolving 0.01 g of the complex in a mixture of 10 ml water and 2 ml ethanol. Subsequently, 1 ml of this stock solution was diluted with 9 ml of water to obtain the final sample for the spectroscopic analysis. The analyses employed the isomolar series method on a 10^{-3} M solution in 50% ethanol at 27 °C, covering a range of 200–400 nm (Abdushukurova & Matchanov, 2025).

FTIR analyses were performed with the attenuated total reflection mode of IR Affinity 1S (Shimadzu, Japan) spectrometer. The analyses with the resolution of 2 cm^{-1} were conducted in the range of 550–4000 cm^{-1}. ^{13}C-NMR spectra were recorded on a JEOL ECZ500R (500 MHz) spectrometer at room temperature. TSSGA and the TSSGA:Ragosin complex dissolved in DMSO-d_6 with the chemical shifts reported in ppm relative to residual solvent signals (δ~40 ppm).

RESULTS AND DISCUSSION

UV–Vis Absorption Studies

Figure 1 shows UV-Vis spectra of Ragosin, TSSGA and the complex. As shown in Figure 1, TSSGA exhibited an absorption maximum at 253.5 nm, which is associated with the π→π* transitions of its unsaturated chromophore system. Upon complexation with Ragosin, the absorption maximum shifted to 260 nm and its intensity decreased significantly. The complex demonstrated a bathochromic shift from 253.5 nm to 260 nm and a pronounced hypochromic effect with optical density decreasing sharply from 1.56 to 0.14. Konkina et al. (2015) examined the host-guest interaction between GA and the neuroprotective drug Dimebon (Dim). They reported that increasing GA concentration induced a clear bathochromic shift in the absorption band of the guest molecule. This shift was interpreted as a consequence of electron density redistribution within the aromatic system of the pyridine ring driven by non-covalent association. This spectral behavior served as direct evidence of successful host-guest complexation. In addition, their absorption profiles for the GA-Dim system showed a systematic decrease in the absorbance. This reduction occurred as the GA host concentration increased. These spectrophotometric findings strongly align with this study. In this context, it is concluded that Ragosin was successfully encapsulated within the flexible cavity of the TSSGA host.

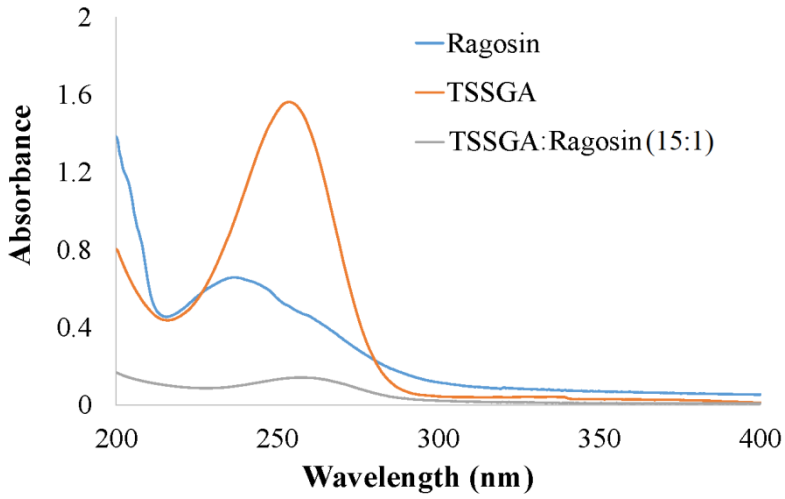


Figure 1. UV-Vis spectra of Ragosin, TSSGA and their complex

FTIR Spectroscopic Analysis

The formation of the complex can be analyzed by comparing the changes in the key absorption bands in the FTIR spectra of the complex with the spectral data of the initial substances, given in Figure 2. Some important shifts in Figure 2 are summarized in Table 1.

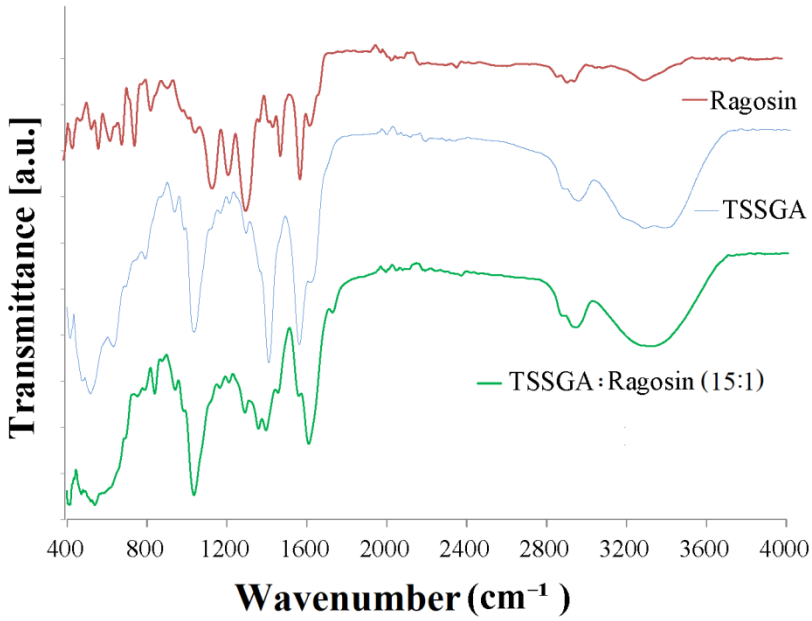


Figure 2. FTIR spectra of Ragosin, TSSGA and their complex

Table 1. Comparison of the key absorption bands upon the complexation.

Peak assignment	Wavenumbers (cm^{-1})		
	Ragosin	**TSSGA**	**TSSGA:Ragosin (15:1)**
ν(O–H)	3313	3381, 3267, 3178	3310
ν(C–H, CH_2, CH_3)	2961, 2922, 2872	2942, 2868	2942, 2866
ν(C=O), ν(COO^-)	1638	1618	1606
ν(C–O) / ν(C–N)	1147, 1039	1033	1034

The three distinct shoulders (3178, 3267, and 3381 cm^{-1}) observed in the 3100–3500 cm^{-1} region indicate that the hydroxyl groups in TSSGA exist in at least three distinguishable hydrogen-bonding environments. In this region, there is a single broad band at around 3310 cm^{-1} in the spectrum of the complex. This change is consistent with the formation of a new, more extensive and heterogeneous hydrogen-bonding network upon the complexation. Similar spectral behavior was reported for GA supramolecular assemblies, where hydrogen bonding is the principal driving force for host–guest complex formation (Selyutina & Polyakov, 2019). Another important observation is the shift of the carboxylate vibration from 1617.6 cm^{-1} in the TSSGA to 1605.7 cm^{-1} in its complex. In the FTIR spectrum of the 2:1 GA–Salicylic acid supramolecular complex, it was also seen a strong broad band at 3000–3600 cm^{-1} that corresponded to OH stretching vibrations of H-bonds formed by the complexation and the shifts of C=O by 10–20 cm^{-1} to higher frequency. The complex was concluded to form and to be stabilized through the intermolecular hydrogen bonding networks between the host and the guest (Babaeva et al., 2020). Our findings are also consistent with those of the study.

After complex formation, the absorption bands corresponding to C–H stretching vibrations (2942, 2866 cm^{-1}) and the C–O stretching at 1034 cm^{-1} remain virtually unchanged. In line with another study on GA-based supramolecular complexes (Yuldashev et al., 2023), the C–H and C–O stretching bands remain virtually unchanged after complex formation. This indicates that the main molecular skeletons of both components are not disrupted during complexation.

^{13}C-NMR Spectroscopic Analysis

Figures 3a and 3b represent ^{13}C-NMR spectra of TSSGA and the complex, respectively. Tan et al. (2026) stated in their review that two types of reactive sites in GA structure were extensively chosen for chemical modifications. One was the COOH (C-30) group positioned on the triterpenoid aglycone while the other was the COOH groups at the C-6' and C-6'' positions derived from the glucuronic acid moieties (Tan et. al, 2026, Konkina et al., 2015). In Figure 3, the signal of the carboxylate group at the C-30 position shifts from TSSGA (180.32 ppm) to the complex (180.39 ppm). TSSGA have shifts at 172.55, and 172.88 ppm for the carboxylate groups at the C-6' and C-6'' positions, while the shifts of the complex are 172.60 and 172.95 ppm, respectively. These signals in the carboxylate region shifted downfield by 0.05 ppm (C-6') and 0.07 ppm (C30 and C-6'') upon the complex formation. Furthermore, the relative intensity ranking of the peaks (C-6' and C-6'') altered. These downfield shifts indicate a decrease in the electron density surrounding the C=O carbons, a phenomenon referred to as deshielding.

The shifts at 172.38 and 172.80 ppm for the C-6' and C-6'' carboxyl carbons were observed in ^{13}C-NMR spectrum of GA-Dim complex in another study. These signals shifted downfield depending on the mole ratio of Dim. This finding was attributed to acid base interaction with the predominant involvement of the carboxyl groups of the glucuronic acid residues of GA and the nitrogen atom of the tetrahydropyridine ring of Dim (Konkina et. al, 2015). Instead of the acid-base proton transfer, the stabilization of the TSSGA:Ragosin (15:1) complex can be driven by intermolecular hydrogen-bonding networks established between the host's carboxylate/hydroxyl groups and the hydroxyl/carbonyl/amine groups of Ragosin in this study. As illustrated in Figure 4, the formation of hydrogen bonds with the carbonyl groups (C-6' and C-6'') of the complex effectively can diminish the electron density surrounding them (Hiraga, Chaki & Niwayama, 2017).

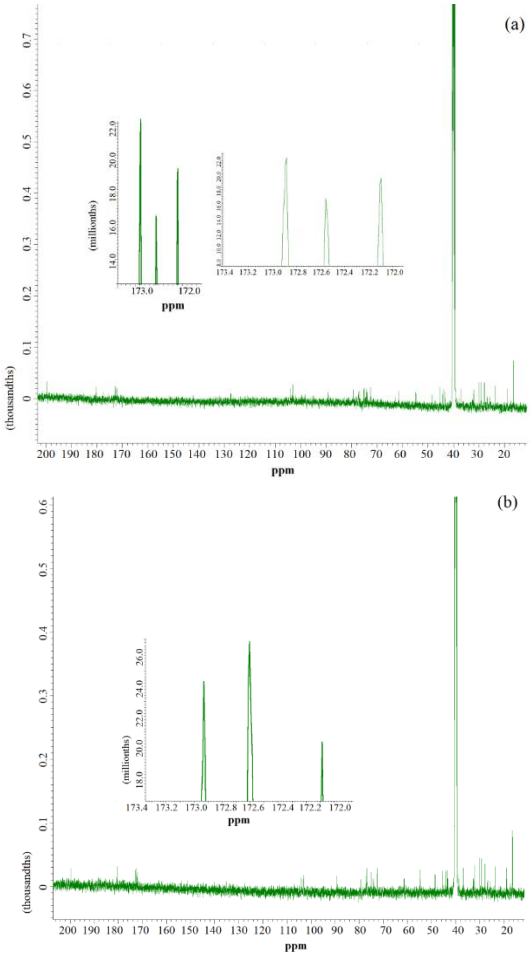


Figure 3: ^{13}C-NMR spectra of TSSGA (a) and the complex (b)

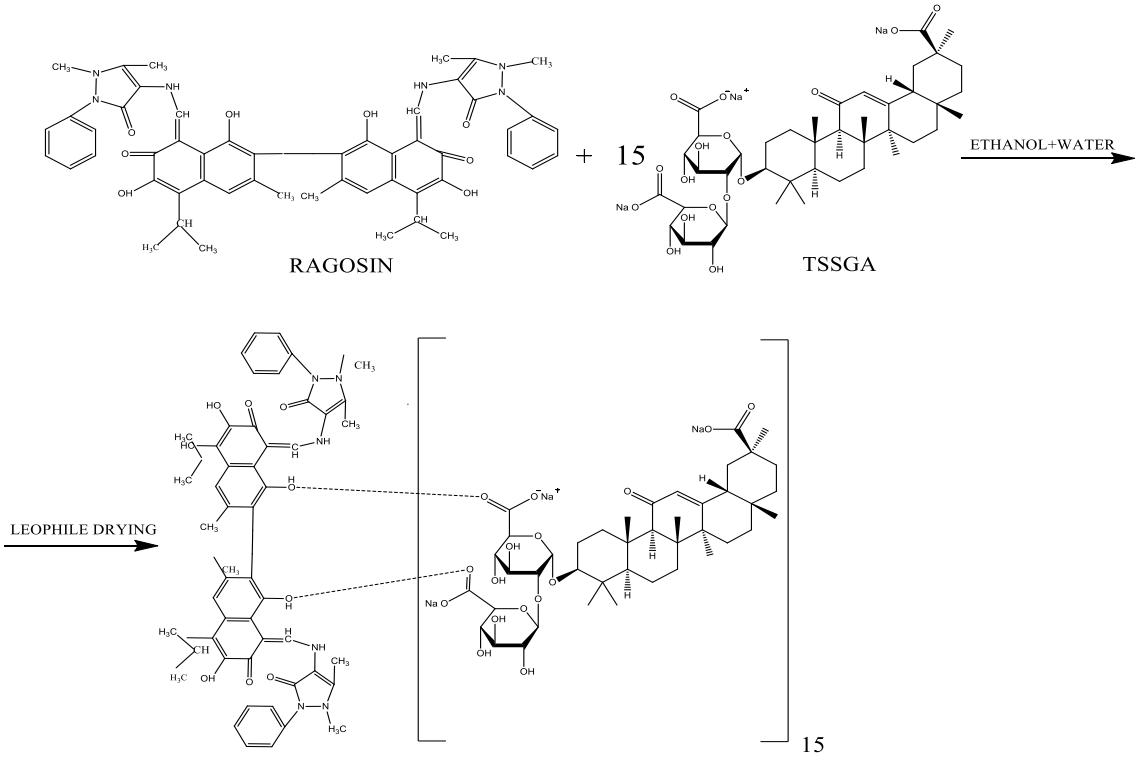


Figure 4. Synthesis pathway of the complex from Ragosin and TSSGA

CONCLUSIONS

The spectroscopic analyses confirm the successful host-guest encapsulation of the TSSGA:Ragosin complex. The UV-Vis studies verified the physical entrapment of the hydrophobic guest, as evidenced by a clear bathochromic shift and a sharp hypochromic effect. Meanwhile, the FTIR analyses demonstrated a major rearrangement of the hydrogen-bonding network. Specifically, the three distinct hydroxyl bands of TSSGA merged into a single broad band. The carboxylate vibrations also shifted to a lower frequency, confirming the involvement of carboxylate groups in the network. The ^{13}C-NMR spectral analyses independently corroborated these findings. The C-30, C-6', and C-6" carboxylate carbons showed systematic downfield shifts, indicative of localized electronic deshielding upon complexation. Ultimately, the supramolecular assembly successfully encapsulates Ragosin, and the resulting physical barrier offers a promising strategy to improve its solubility and stability. The stable complex stands as a strong candidate for novel hepatoprotective formulations.

REFERENCES

Abdushukurova Kh.K., Matchanov A.D., Certain physicochemical parameters of supramolecular complexes of Ragosin with the monoammonium salt of glycyrrhizic acid / Bulletin of Gulistan State University. 2025 / 4 (120) "University" Publishing House, Gulistan - 2025. P 41-45

Babaeva, D., Esanov, Rakhmat, Akhunov, A., Gafurov, M. & Khashimova, Nigora & Matchanov Alimjon. (2020). Biological Activity of the Supramolecular Complex of Glycyrrhizic and Salicylic Acids. *Chemistry of Natural Compounds*. 56. 10.1007/s10600-020-03006-1

Baram, N. I., Ziyaev, Kh. L., Khodzhaniyazov, B., & Ismailov, A. I. (1999). A study of the hydrolysis of amino derivatives of gossypol at various pH values. *Chemistry of Natural Compounds*, 35(1), 29–32.

Hiraga, Y., Chaki, S., & Niwayama, S. (2017). ^{13}C-NMR spectroscopic studies of the behaviors of carbonyl compounds in various solutions. *Tetrahedron Letters*, *58*(49), 4677–4681. https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2017.10.071

Khaitbaev, Kh. Alisher, Toshov, S. Khamza, & Nazirova, K. Yayra. (2020). Medical implementation practice of supramolecular complex of megosin with MASGA. *Journal of Medicinal and Chemical Sciences*, 3(1), 48–54.

Konkina, I. G., Shitikova, O. V., Lobov, A. N., Murinov, Yu. I., & Bachurin, S. O. (2015). Host—guest complexation in the glycyrrhizic acid—2,8-dimethyl-5-[2´-(6-methylpyridin-3-yl)ethyl]-2,3,4,5-tetrahydro-1H-pyrido[4,3-b]indole system. *Russian Chemical Bulletin*, 64(6), 1385–1393.

Mejuto, J. C., & Simal-Gandara, J. (2022). Host–Guest Complexes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(24), 15730.

Ohtsu, A., Uchimura, M., Tomita, J., Ishida, Y., Nakata, D., Terao, K., & Inoue, Y. (2025). Inclusion Complexes of Stearyl Glycyrrhetinate with γ-Cyclodextrin and Cyclodextrin-Based Metal−Organic Frameworks: Solid-State Characterization and Improved Solubility in Fasted-State Simulated Intestinal Fluid. *ACS Omega*, 10, 51545–51558.

Selyutina, O. Y., & Polyakov, N. E. (2019). Glycyrrhizic acid as a multifunctional drug carrier – From physicochemical properties to biomedical applications: A modern insight on the ancient drug. *International Journal of Pharmaceutics*, 559, 271-287. 10.1016/j.ijpharm.2019.01.047

Tan, X., Chen, H., Ma, L., & Zhang, Y. (2026). Recent advancements in the design of glycyrrhizic acid-based supramolecular self-assemblies and their versatile applications in food science. *Food Research International*, 226, Article 118209. 10.1016/j.foodres.2025.118209

Tykarska, E., & Gdaniec, M. (2013). Toward Better Understanding of Isomorphism of Glycyrrhizic Acid and Its Mono- and Dibasic Salts. *Crystal Growth & Design*, 13(3), 1301–1308.

Yuldashev, A., Esanov, R., Uzbekov, V., et al. (2023). *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, No. 4, 249–257. 10.14258/jcprm.20230411987.

MOLECULAR ENCAPSULATION: FROM FUNDAMENTAL PRINCIPLES TO EVERYDAY APPLICATIONS

Bogdan-Catalin Serban

National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5645

Matei-Gabriel URSACHESCU
National College "B. P. Hasdeu", Buzau, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7641-5808

Vlad DIACONESCU
University of Medicine and Pharmacy "Carol Davila", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6683-3279

Caterina ZETU
International Theoretical High School of Computer Science, Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0405-248X

Maria Ruxandra SALAGEAN
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Diana DUMITRAȘCU
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Octavian BUIU
National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5713-4304

Marius BUMBAC
Valahia University of Târgoviște, Faculty of Science and Arts, Department of Science and Advanced Technologies, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7568-0931

Abstract
Molecular encapsulation is the process of trapping guest molecules within host structures at the micro- or nanoscale through noncovalent interactions or, in some systems, covalent bonding. Common host materials include cyclodextrins, liposomes, micelles, polymers, proteins, and supramolecular cages. Encapsulation protects sensitive compounds from oxygen, light, moisture, heat, or chemical degradation and can improve their solubility, stability, transport, controlled release, and sensory properties.
This presentation introduces the main principles of molecular encapsulation and emphasizes its relevance to both advanced technologies and everyday life. In medicines, encapsulation can improve drug absorption, reduce side effects, mask unpleasant tastes, and support prolonged or targeted release. In food products, it helps preserve vitamins, antioxidants, flavors, probiotics, and aromas, while extending shelf life and improving texture. Many household and personal-care products also rely on encapsulated ingredients: fragrances in detergents and fabric softeners are released during washing or wearing, deodorants and creams deliver active compounds gradually, and sunscreens use encapsulated filters to improve stability and skin compatibility.

Further applications include air fresheners, scratch-and-sniff materials, self-healing coatings, controlled-release fertilizers, pesticides, and packaging that protects food from oxidation or contamination. Environmental systems use encapsulating materials to capture pollutants, while catalytic systems create confined spaces that improve reaction selectivity. Recent developments focus on smart capsules that respond to pH, temperature, light, enzymes, or mechanical pressure. These examples demonstrate how molecular-level design directly influences familiar daily experiences. Molecular encapsulation therefore represents a versatile strategy connecting supramolecular chemistry with safer medicines, longer-lasting foods, more effective cosmetics, cleaner environments, and smarter consumer products.

Keywords: molecular encapsulation; host-guest chemistry; cyclodextrins; controlled release; drug delivery

CHEMICAL DIVERSITY OF ENDOPHYTIC FUNGI ASSOCIATED WITH MEDICINAL PLANTS: A HIDDEN SOURCE OF DRUG CANDIDATES

Ravana Guliyeva
Baku State University, Faculty Of Chemistry, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0005-3900-947X

Nigar ALIYEVA, PhD
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0003-6116-6223

Fidan MAMMADOVA, PhD
Department of Botany and Plant Physiology, Faculty of Biology, Baku State University, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0009-9627-2011

Aysel RUSTAMOVA
Department of Chemistry, Ahmet Keleşoğlu Faculty of Education, Necmettin Erbakan University, Konya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1999-1361

Shabnam ALIYEVA, PhD
Department of Chemistry, Ahmet Keleşoğlu Faculty of Education, Necmettin Erbakan University, Konya, Türkiye
Assistant, Department of Chemistry, Azerbaijan State Agricultural University, Ganja, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0008-2427-0860

Narmin MAMMADOVA
Faculty of Life Sciences and Engineering, Khazar University, Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0002-0162-4547

Abstract
Endophytic fungi, microorganisms that reside asymptomatically within the internal tissues of plants, have emerged as a prolific reservoir of structurally diverse bioactive metabolites with significant pharmaceutical potential. Medicinal plants, in particular, harbor endophytic communities that appear to co-evolve with their hosts, often producing secondary metabolites that mirror or complement the therapeutic properties of the plants themselves. Despite growing interest in this field, the vast majority of endophytic fungal diversity remains uncharacterized, and systematic efforts linking host plant selection, fungal taxonomy, and metabolite profiling are still limited, leaving a substantial gap in the rational discovery of novel drug candidates. This study aims to investigate the chemical diversity of endophytic fungi isolated from selected medicinal plants and to evaluate their potential as sources of pharmacologically relevant compounds. Fungal endophytes were isolated using surface sterilization techniques, identified through morphological and molecular methods, and subjected to fermentation for crude extract production. Chemical profiling was performed using chromatographic and spectroscopic techniques, while extracts were screened for antimicrobial, antioxidant, and cytotoxic activities. The findings reveal considerable taxonomic and metabolic diversity among isolates, with several extracts exhibiting notable bioactivity, suggesting the presence of novel or underexplored chemical scaffolds. These results underscore the pharmaceutical promise of endophytic fungi while highlighting the ecological importance of conserving medicinal plant species and their associated microbiota. In conclusion, endophytic fungi represent a largely untapped and sustainable resource for drug discovery, offering an alternative to direct plant harvesting and thereby supporting biodiversity conservation.

This research contributes to the responsible utilization of natural resources and provides a foundation for future bioprospecting efforts aimed at addressing the global demand for new therapeutic agents.

Keywords: endophytic fungi, medicinal plants, chemical diversity, bioactive metabolites

OPTIMIZING OUTCOMES IN PSORIASIS: IMPACT OF DENIPLANT NUTRACEUTICALS

Major Gheorghe GIURGIU
Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania.
ORCID ID: 0000-0002-5449-2712

Prof. Dr. Manole COJOCARU
Academy of Romanian Scientists; Faculty of Medicine, Titu Maiorescu University, Bucharest, Romania.
ORCID ID: 0000-0002-7192-7490

ABSTRACT

Background A growing body of evidence highlights that intestinal dysbiosis is associated with the development of psoriasis. The gut–skin axis is the novel concept of the interaction between skin diseases and microbiome through inflammatory mediators, metabolites and the intestinal barrier. The gut microbiome affects skin homeostasis through its influence on the signaling pathways that coordinate epidermal differentiation.

The objective of this study was to synthesize current data on the Deniplant natural modulator of the gut microbiome in patients with psoriasis.

Materials and methods All studies confirmed the association of psoriasis and gut microbiota dysbiosis. We describe the recent advances regarding the interplay between gut microbiota and the skin. Thus, the microbiome can be considered an effective therapeutical target for treating this disorder.

Results This presentation provides a detailed and comprehensive systematic study regarding gut microbiome in patients with psoriasis. These results are supported by clinical observations based on a case serie showing improvement in psoriatic skin lesions after Deniplant natural modulator. It is still not clear whether psoriasis is an effect or a cause of the observed disbalance between beneficial and pathogenic microbes. In this context, the study provides very interesting results, showing significantly greater changes in the gut microbiome of patients with psoriasis treated Deniplant natural modulator

Conclusion There is a significant association between alterations in gut microbial composition and psoriasis. Intestinal dysbiosis is a state of imbalanced gut microbiome that eventually has a negative impact on skin function and integrity. Deniplant natural modulator is a potential therapeutic strategy in patients with psoriasis

Keywords: dysbiosis, microbiome, psoriasis, gut-skin axis, gut barrier, Deniplant nutraceuticals

ASSOCIATION BETWEEN SGLT2 INHIBITOR THERAPY AND CARDIOVASCULAR BIOMARKERS IN PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME

Leila MOSTEFAOUI
Research Laboratory on Biological Systems and Geomatics (LRSBG), Faculty of Natural and Life Sciences, Mustapha Stambouli University of Mascara, Mascara, Algeria.

Mohammed HADJARI
Technological Laboratory for Artificial Intelligence and Food Security (LABTEC-AI), Research Unit on Food Safety and Contaminant Monitoring (FSCM), Department of Biology, Faculty of Natural and Life Sciences, Mustapha Stambouli University of Mascara, Mascara, Algeria.

Hadj Mostafa KHALADI
Technological Laboratory for Artificial Intelligence and Food Security (LABTEC-AI), Research Unit on Food Safety and Contaminant Monitoring (FSCM), Department of Biology, Faculty of Natural and Life Sciences, Mustapha Stambouli University of Mascara, Mascara, Algeria.

Abstract
Metabolic syndrome is a major public health concern due to its close association with cardiovascular disease and type 2 diabetes mellitus. Beyond glycemic control, increasing attention has been directed toward therapies that may improve cardiovascular health. This study aimed to evaluate the relationship between SGLT2 inhibitor therapy and cardiovascular biomarkers in patients with metabolic syndrome.
A comparative observational study was conducted using clinical and laboratory data obtained from adults with metabolic syndrome and a healthy reference population. Cardiovascular status was assessed through a panel of routinely measured biomarkers and clinical parameters. Statistical analyses were performed to identify differences between the study groups.
The findings demonstrated that patients receiving SGLT2 inhibitor therapy exhibited a more favorable cardiovascular biomarker profile than those receiving conventional glucose-lowering treatment. Improvements were also observed in several indicators associated with cardiovascular risk, suggesting beneficial effects that extend beyond glycemic regulation.
These findings support the growing evidence that SGLT2 inhibitors may contribute to cardiovascular protection through multiple mechanisms, including metabolic, hemodynamic, and anti-inflammatory effects. Further prospective studies are warranted to confirm these observations and clarify the underlying biological pathways.
Keywords: SGLT2 inhibitors; Metabolic syndrome; Cardiovascular biomarkers; Cardiovascular risk; Cardiometabolic health.

NON-INVASIVE DISGNOSIS OF HEPATIC STEATOSIS IN PATIENTS WITH METABOLIC DYSFUNCTION-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE AFTER CHOLECYSTECTOMY

Md, Phd, Professor, Yelyzaveta Sirchak
State Medical University "Uzhgorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Uzhgorod, Ukraine,
ORCİD: ID / 0000-0001-6738-0843

Dr. Ivan VASHCHENKO Oleksandrovych,
State Medical University "Uzhgorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Transcarpathian Antitumor Center, Uzhgorod, Ukraine
ORCİD: ID / 0009-0003-4401-4383

Asst. Prof. Ivan PUSHKASH
State Medical University "Uzhgorod National University", Department of of General Surgery, Uzhgorod, Ukraine,
ORCİD: ID/0000-0003-4651-460

Asst. Prof. Vasyl BARANI
State Medical University "Uzhgorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Uzhgorod, Ukraine,
ORCİD: ID/0000-0002-2616-2230,

PhD, Stepan SIRCHAK
KNP "Hospital of St. Martin"Candidate of Medical Sciences, Surgical Department No. 1, Mukachevo, Ukraine,
ORCİD: ID/0009-0001-8049-8468

Asst. Prof. Stanislav TSOIKA
State Medical University "Uzhgorod National University", Department of Hospital Therapy, Uzhgorod, Ukraine,
ORCİD: ID / 0000-0002-2790-1357

Abstract
INTRODUCTION. Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease (MAFLD) has rapidly become the foremost cause of chronic liver disease worldwide
OBJECTIVE: to determine the diagnostic capabilities of non-invasive tests (Fatty Liver Index (FLI) and Hepatic Steatosis Index (HSI)) in patients with MAFLD after cholecystectomy (CE).
MATERIALS AND METHODS. 140 patients with MAFLD after CE were examined. FLI and HSI indices were calculated in patients and elastometry and steatometry of the liver were performed.
RESEARCH AND FINDINGS. In patients with MAFLD after CE hepatic steatosis was S2 stage (in 48.5% of patients – $p<0.01$). In patients with MAFLD after CE, the degree of liver fibrosis corresponded mainly to stage F3 according to the METAVIR scale (in 45.7% of patients – $p<0.01$). Analysis of results of the FLI and HSI index with high probability indicate fatty hepatosis in patients with MAFLD after CE. In examined patients the FLI index was 71.26±0.87 with a norm of 18.45±0.26 in the control group ($p<0.001$) and HSI was 44.89±1.06 in examined patients with a norm of 23.15±0.31 in the control group ($p<0.01$).
CONCLUSION. The FLI and HIS indices are informative tools for determining hepatic steatosis in patients with MAFLD after CE, and their results are comparable with liver steametry data..
Keywords: metabolically associated fatty liver disease; gallstone disease; cholecystectomy; diagnosis (body mass index, Fatty Liver Index, Hepatic Steatosis Index, elastometry, steatometry).

THE LEVEL OF B VITAMINS AND HOMOCYSTEINE IN PATIENTS WITH METABOLIC-ASSOCIATED STEATOTIC LIVER DISEASE AND CARDIOVASCULAR SYSTEM DAMAGE

Prof. Dr. Yelyzaveta SIRCHAK
State Medical University "Uzhhorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-6738-0843

PhD Student Victoriya CHENDEY
State Medical University "Uzhhorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0009-0001-4708-8009

PhD Student Aliona STOIKA
State Medical University "Uzhhorod National University", Department of Surgical Diseases, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0009-0006-3031-685X

Asst. Prof. Taras CHENDEY
State Medical University "Uzhhorod National University", Department of Propaedeutics of Internal Diseases; Department of Hospital Therapy, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-6573-7968

PhD Monika MAROSHAN
Transcarpathian Regional Council, Center for Pulmonary Diseases, Uzhhorod, Ukraine.
ORCID ID: 0000-0001-5878-3229

ABSTRACT

INTRODUCTION. Metabolic dysfunction-associated fatty liver disease (MAFLD) encompasses a range of severity, from simple steatosis to steatohepatitis (MASH), fibrosis, and ultimately cirrhosis.
OBJECTIVE: To determine the features of changes in the level of B vitamins and homocysteine (HC) in patients with MASLD and cardiovascular system damage (CVSD)
MATERIALS AND METHODS. 73 patients with MAFLD and CVSD were examined. The levels of B vitamins (B1, B3, B6, B9, B12), methionine, and homocysteine in blood serum were determined.
RESEARCH AND FINDINGS. In patients with MAFLD and CVSD, a deficiency of B vitamins in the blood serum was detected against the background of hyperhomocysteinemia (an increase in the level of HC to 32.5±0.8 μmol/l with a norm of 11.4±0.8 μmol/l – $p<0.01$) and a decrease in the level of methionine (to 13.8±0.4 nmol/ml with a norm of 27.9±0.5 – $p<0.01$). There was a decrease in the level of vitamin B1 (up to 26.8±1.1 nmol/l with a norm of 66.7±0.9 nmol/l – $p<0.001$), vitamin B3 (up to 2.5±0.5 μmol/l with a norm of 7.4±0.5 μmol/l – $p<0.001$), vitamin B6 (up to 9.4±0.5 μg/ml with a norm of 61.2±1.4 μg/ml – $p<0.001$), vitamin B9 (up to 2.6±0.4 ng/ml with a norm of 11.8±0.7 ng/ml – $p<0.001$), and vitamin B12 (up to 144.7±1.7 pg/ml with a norm of 644.7±4.3 pg/ml – $p<0.001$).
CONCLUSION. In patients with MAFLD and CVSD a decrease in methionine levels and a deficiency of B vitamins were found, accompanied by an increase in homocysteine levels in the blood serum.
Keywords: metabolically associated fatty liver disease; cardiovascular system damage; B vitamins; homocysteine; methionine.

PSYCHOSOMATIC FEATURES AND THEIR RELATIONSHIP WITH INDICATORS OF LIVER FUNCTION IN PATIENTS WITH AUTOIMMUNE THYROIDITIS AND METABOLIC-ASSOCIATED FATTY LIVER DISEASE

Ye. S. SIRCHAK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

A. Yu. ANDRIICHUK
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. Yu. SMOLANKA
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

I. I. LEMKO
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

M. P. STAN
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

D. O. DUBOVENKO
Department of Propedeutics of Internal Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, Ukraine.

ABSTRACT
INTRODUCTION. The study of psychosomatic changes in patients with autoimmune thyroid disease (AIT) and metabolic-associated fatty liver disease (MAFLD) is a pressing issue in the study of comorbid conditions.

OBJECTIVE: To investigate the psychosomatic characteristics of patients with AIT combined with MAFLD and obesity.

MATERIALS AND METHODS. 74 patients with AIT and MAFLD were examined. The examined patients underwent neuropsychometric testing to assess cognitive functions and neuropsychometric disorders in these patients: Toronto Alexithymia Scale, Depression Assessment according to the method developed by Zung V., Beck Depression Inventory (BDI), C.D. Spielberg Scale modified by Y.L. Khanin, Boston Stress Test, Schulte Test, O.R. Luria Test for "Word Memorization", Wisconsin Card Sorting Test (VCST), Montreal Cognitive Function Assessment Scale (MoCA), MMSE (Mini-Mental State Examination), Clock Drawing Test.

RESEARCH AND FINDINGS. Up to 70.0% of patients with AIT in combination with MAFLD are recognized to have a disorder in verbalizing their own experiences, as indicated by the results of the Toronto Alexithymia Scale. The results of the Zung scale indicate a pronounced form of depression in more than half of the examined patients with AIT and impaired liver function.

CONCLUSION. In patients with AIT and MAFLD, signs of depression of mainly moderate severity were detected, as well as manifestations of cognitive deficit, which depend on the functional state of the liver, the degree of steatosis, liver fibrosis, the severity of obesity and insulin resistance in these patients..
Keywords: autoimmune thyroiditis, metabolic-associated fatty liver disease, neuropsychometric testes.

COMPREHENSIVE REHABILITATION APPROACHES FOR WOMEN ACROSS THE LIFESPAN: FROM ADOLESCENCE TO POST-MENOPAUSE

Bhawana Gupta
Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India,
ORCID ID https://orcid.org/0009-0006-2921-1903

Mansi Mbmaurya
Department of Physiotherapy, School of Health Sciences, Chhatrapati Shahu Ji Maharaj University, Kanpur, Uttar Pradesh, India,
ORCID ID https://orcid.org/0009-0002-4783-9391

ABSTRACT

Background:
The standards of physical therapy are often male-based, resulting in a critical gap in sex- and gender-based rehabilitation strategies across the female lifespan.
Objectives: This scoping review evaluates the available clinical evidence and documents the physiotherapy and rehabilitation needs of women at four life stages, namely adolescence, reproductive years, midlife and older age. It also identifies gaps in clinical literature, research and professional education.
Methods: Employing evidence-informed scoping review methodologies and the PRISMA-ScR framework, a systematic electronic search was performed on major databases (PubMed, Scopus, CINAHL and PEDro) for literature published from 2000 to 2026. The studies were selected on the basis of a Population-Concept-Context (PCC) framework for women, physical therapy and functional/participatory outcomes.
Results: Twenty-eight primary sources were synthesised from randomised controlled trials to global policy frameworks. There are distinct rehabilitative priorities. These priorities change from the neuromuscular system training in the teenage years to pelvic health in the reproductive years. We then move on to bone protection in middle age and frailty management in the senior years. Major gaps were found, including the under-representation of women in general orthopaedic trials over time, lack of analysis of sex-disaggregated data, and lack of longitudinal models tracking life stages.
Conclusions: Current rehabilitation pathways do not sufficiently consider sex-specific physiological trajectories and intersecting socio-cultural roles. A comprehensive, gender-sensitive model of physical therapy is urgently needed to optimise the long-term quality of life (QoL) and functional independence in women.
Keywords: women's health; rehabilitation; physical therapy; gender differences; biomechanical; quality of life

KNOWLEDGE AND PRACTICE OF PERSONAL HYGIENE TOWARDS CHOLERA PREVENTION AND CONTROL AMONG RESIDENTS OF OSIN COMMUNITY, ILORIN WEST LGA, KWARA STATE

Barakah A. MASUUD
Department of Health Promotion and Environmental Health Education, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

Kafayah A. JIDDAH
Department of Health Promotion and Environmental Health Education, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

ABSTRACT

BACKGROUND:
Cholera is an acute diarrheal infection caused by consuming food or water contaminated with *Vibrio cholerae*. It remains a global public health threat that reflects inequalities in water, sanitation, and hygiene. Access to safe water, basic sanitation and hygiene is essential to prevent cholera and other waterborne diseases (WHO, 2023). Most cases are mild and treated with ORS, but severe cases require IV fluids and antibiotics. Personal hygiene plays a critical role in prevention and control (WHO, 2023).

OBJECTIVES:
To i. assess the knowledge of personal hygiene for cholera prevention among residents of Osin Community; ii. identify common personal hygiene practices among residents; iii. examine the relationship between hand washing with soap and cholera prevention; iv. determine the relationship between environmental cleanliness and cholera control; v. assess the relationship between safe water handling and storage and cholera prevention; and vi. recommend evidence-based measures for cholera prevention and control in the study area.

METHODS:
This study adopted a descriptive cross-sectional survey design. A total of 200 respondents were selected using simple random sampling technique. A structured questionnaire divided into sections A and B was used for data collection. The instrument was validated by experts in Health Education. A pilot test was conducted and reliability was established using Cronbach Alpha with a coefficient of 0.78. Data were analyzed using descriptive statistics and chi-square test of independence at 0.05 level of significance.

FINDINGS:
The findings revealed that 66.0% bathed twice daily and 59.0% practiced regular hand washing with soap. Other practices included use of clean drinking water 51.0%, proper waste disposal 47.5%, and nail cutting 43.5%. There was a significant relationship between hand washing with soap and cholera prevention (χ^2 cal = 45.23 > χ^2 crit = 3.84, df = 1, $p < 0.05$). Respondents who practiced effective hand washing had better cholera prevention 88.0% vs 27.0%. There was a significant relationship between environmental cleanliness and cholera control (χ^2 cal = 33.67 > 3.84, $p < 0.05$). Areas with good cleanliness had fewer cases 80.0% vs 24.8%. There was also a significant relationship between safe water handling and cholera prevention (χ^2 cal = 28.50 > 3.84, $p < 0.05$). 72.5% had good knowledge of hand washing and safe water handling and storage as cholera prevention (χ^2 cal = 10.42 > 3.84, df = 1, $p < 0.05$)

CONCLUSION:
The study concluded that knowledge and practice of personal hygiene significantly contribute to cholera prevention and control among residents of Osin Community, Ilorin West LGA, Kwara State.

RECOMMENDATIONS:
Government should provide pipe-borne water; Government and NGOs should intensify health education on personal hygiene; and community leaders should organize regular sanitation exercises for proper waste disposal.

Keywords: Knowledge, Practice, Personal Hygiene, Cholera, Prevention, Control

SOCIO-DEMOGRAPHIC VULNERABILITY AND HEALTHCARE ACCESS AMONG DIALYSIS PATIENTS: IMPLICATIONS FOR NEPHROTOXIC RISK IN OUARZAZATE PROVINCE, MOROCCO

El Houssain MAROUANI
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco; Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ouarzazate, Morocco.
ORCID ID: 0009-0007-8181-0783

Fatima ECHARHABILI
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Soad EL ABBDI
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Prof. Brahim EL HOUATE
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-7781-426X

Abdessamad MOUHSSINE
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Adnane HAKEM
Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, Ouarzazate, Morocco.

Prof. Abdelaati EL KHIAT
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco; Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ouarzazate, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-1492-1703

Prof. Omar EL HIBA
Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-0581-4164

Abstract
Chronic kidney disease (CKD) is a major global health condition, with mortality rates rising significantly. In Morocco's Ouarzazate province, structural challenges and delayed diagnosis create a 'window of exposure' where patients often turn to alternative treatments. This study aims to analyse the treatment pathways of 100 haemodialysis patients to identify how socio-demographic factors and traditional medicine contribute to environmental toxicological risks. Data collected through structured interviews revealed a mean age of 51.2 years and high socio-economic vulnerability, with 70% of patients being unemployed. Access to care is severely limited by an average geographical distance of 59.7 km and a low initial referral rate to nephrologists (9%). Consequently, 29% of patients use traditional medicine, primarily *Artemisia herba-alba* and *Origanum compactum*. A significant correlation was found between educational levels and the choice of specialist.

These barriers encourage the use of unregulated medicinal plants, increasing the risk of nephrotoxic substance accumulation in patients with impaired renal function. Strengthening doctor-patient communication and toxicological monitoring is urgent to prevent herbal medicine-related complications.

Keywords: Chronic kidney disease, Care pathway, Toxicology, Medicinal plants, Ouarzazate.

DEEP QEEG AS AN OBJECTIVE SUPPORT FOR TRANSDIAGNOSTIC DIFFERENTIAL ASSESSMENT ACROSS ANXIETY, BURNOUT, AND DEPRESSION: A PROPOSED FRAMEWORK AND VALIDATION PROTOCOL CROSS-REFERENCED AGAINST ESTABLISHED PSYCHOMETRICS

Viviane Dasilva
Department of Medicine and Surgery, University of Parma, 43126 Parma, Italy
ORCID (V. DaSilva): 0009-0002-4611-0101

Franciele Maftum
ChangeMinds.

Abstract
Anxiety, burnout, and depression frequently present with overlapping symptomatology, shared physiological substrates, and unstable diagnostic boundaries — a challenge that conventional categorical assessment struggles to resolve. Self-report instruments, while practical and widely validated, depend on three assumptions that fail systematically in the very populations that most require precise evaluation: that patients perceive their internal states with fidelity, possess adequate emotional vocabulary to describe them, and report without defensive or motivational bias. This paper proposes a transdiagnostic framework — not an empirical validation study — for deep quantitative EEG (qEEG) analysis, designed to map the neurophysiological continuum linking anxiety, burnout, and depression along three measurable axes — affective valence, activation sign, and regulatory reserve/trajectory — rather than treating them as discrete categories. We ground this continuum in two complementary dynamical concepts: Waddington's homeorhesis, describing depression as a canalised, resistant attractor, and McEwen's allostasis, describing anxiety and burnout as an active, cumulative process of regulatory load that precedes — rather than constitutes — a consolidated attractor state. Building on a previously published computational architecture integrating spectral biomarkers, nonlinear dynamics, and Bayesian composite scoring, we operationalise this continuum through a set of individualised, source-localised indices, disclosed here with their functional form, reading thresholds, and acquisition requirements; composite weights are stated as pending cohort calibration rather than withheld. We further propose a systematic cross-validation protocol against established psychometric instruments (GAD-7/STAI, PHQ-9/BDI-II, and the Maslach or Copenhagen Burnout Inventories), specifying, index by index, the subscale each is expected to converge with — reserve-related indices with burnout exhaustion, valence-related indices with depressive mood, activation-related indices with anxious hyperarousal — and outlining how trajectory-sensitive metrics (critical slowing down) could, in principle, anticipate symptomatic change ahead of self-report. The model is white-box at two levels: each index declares which signals enter it and how they are combined, and every index-to-instrument prediction is stated in advance together with the observation that would refute it — so that the framework can be independently implemented, tested, and falsified. We do not claim diagnostic thresholds, present clinical data, or claim qEEG as a replacement for psychometric assessment; rather, we offer this framework and its accompanying validation protocol as a structured, testable hypothesis intended to guide future transdiagnostic precision-psychiatry research.
Keywords: deep qEEG · transdiagnostic assessment · anxiety · burnout · depression · precision psychiatry · psychometric cross-validation · allostatic load

1. Introduction

Anxiety, burnout, and depression are conventionally treated as distinct diagnostic categories, yet clinical practice routinely encounters patients whose presentation defies clean categorical assignment: fatigue that could reflect depressive anergia or burnout exhaustion; hypervigilance that could indicate anxious arousal or the early phase of allostatic overload; a flattened affect that could be anhedonia, dissociative shutdown, or simple occupational depletion. This overlap is not incidental. The three conditions share physiological substrates — HPA-axis dysregulation, autonomic imbalance, disrupted large-scale cortical networks — that categorical diagnosis, by design, collapses into a single label. A shared

mechanism expressed through three different names offers clinicians a name, but not necessarily a mechanism to act on.

A parallel and compounding problem lies in how these conditions are typically assessed. Self-report instruments — the GAD-7 (Spitzer et al., 2006), PHQ-9 (Kroenke et al., 2001), BDI-II (Beck et al., 1996), and burnout inventories (Maslach et al., 1996; Kristensen et al., 2005) among them — remain the operational standard in clinical practice for good reason: they are inexpensive, scalable, and validated across large populations. Their accuracy, however, rests on assumptions that do not hold uniformly. A respondent must perceive their internal state with reasonable fidelity, possess the emotional vocabulary to describe it, and report it without significant defensive or motivational distortion. These assumptions are known to fail systematically in populations characterised by alexithymia, chronic symptom duration (which erodes the internal baseline needed for self-comparison), and dissociative or repressive coping styles — populations that overlap substantially with those presenting anxious, depressive, and burnout-related symptomatology in the first place. The result is a structural, not incidental, limitation: the instruments most relied upon for differential assessment are least reliable precisely where differential assessment is most needed.

Deep quantitative EEG (qEEG), particularly when combined with source estimation (sLORETA) and peripheral autonomic channels (HRV, EDA), offers a complementary form of evidence that does not depend on the respondent's introspective access. It does not replace self-report — the subjective experience of distress remains clinically indispensable — but it can anchor the assessment in a measure that is available even when introspection is not.

The move from category to circuit is not itself new. Williams (2016) proposed a neural-circuit taxonomy in which depression and anxiety are re-described as combinations of circuit-level biotypes — default mode, salience, attention, cognitive control, negative and positive affect — identified with functional MRI. The framework proposed here shares that dimensional logic but differs in two respects that matter for ordinary clinical practice. First, it is built on an instrument available in an outpatient consulting room rather than in an imaging centre, which is what determines whether a dimensional reading can be repeated often enough to be clinically useful. Second, it adds an explicitly temporal axis — how fast the system is moving, and in which direction — to the spatial question of which circuit is affected. Burnout in particular is poorly served by a purely spatial taxonomy, because what distinguishes it clinically is not the location of dysfunction but the trajectory of depletion.

This paper proposes a transdiagnostic framework that operationalises anxiety, burnout, and depression not as three discrete boxes but as positions within a shared, continuous physiological space, described along three measurable axes: affective valence (the direction of the system's motivational bias), activation sign (whether the system is hyper- or hypoactivated relative to its own window of tolerance), and regulatory reserve/trajectory (how much regulatory capacity remains, and whether the system is drifting toward a destabilising transition). Each axis is operationalised by one or more source-localised, individually calibrated indices, building on a previously published computational architecture for qEEG-based neurofeedback and clinical support. Critically, we propose that this framework be tested — not assumed — through systematic cross-referencing against the psychometric instruments already established in the field, specifying in advance which index is expected to converge with which subscale, and under what conditions the prediction would be considered falsified. The remainder of this paper presents the framework's index architecture (Section 2), the proposed validation protocol (Section 3), the falsifiable hypotheses that would confirm or disconfirm it (Section 4), and a discussion of its intended clinical role and current limitations (Section 5).

2. The Proposed Framework

The framework extends the qEEG-based computational architecture previously published by DaSilva et al. (2026), transposing it from its original domain — individualised sLORETA neurofeedback in mild cognitive impairment — to affective-circuit assessment. That architecture was itself presented as a theoretical and computational specification rather than an empirical validation, and the present paper inherits that status along with three of its design commitments: indices are defined on source-estimated cortical activity (sLORETA), not scalp electrodes; dysregulation is treated as a process unfolding over time, not a static state; and every comparison is made against the patient's own baseline (N-of-1), never a population norm. Indices are not intended to be read in isolation — each contributes one voice to a

composite profile ("chord") that, together, characterises the patient's position in the transdiagnostic space described below.

2.0 Theoretical grounding: homeorhesis and allostasis as distinct dynamical regimes

We propose that the three conditions do not merely differ in symptom content but occupy distinct *dynamical regimes*, drawing on two complementary frameworks from developmental biology and stress physiology.

Depression, particularly in its chronic or treatment-resistant presentation, is here framed through Waddington's concept of homeorhesis (Waddington, 1957) — the tendency of a developmental trajectory to return to a canalised path ("chreod") despite perturbation. Applied to affective dynamics, a consolidated depressive state resembles a deep, well-worn basin in the epigenetic landscape: the system does not merely sit in a low-activation state, it actively resists displacement from it, requiring disproportionate intervention to shift trajectory. This maps directly onto the basin-depth logic already embedded in the RCI/NRSI pair (Section 2.1): a low NRSI does not describe a momentary dip, it describes the depth and rigidity of an already-canalised attractor.

Anxiety and burnout, by contrast, are here framed through McEwen's concept of allostasis (McEwen, 1998) — the active, resource-consuming process of achieving stability through physiological change in response to ongoing demand. Unlike a canalised attractor, allostatic load is cumulative and dynamic: it describes a system still spending regulatory capacity to hold its position, with the cost of that expenditure rising until the system approaches a destabilising transition. This is precisely what the CSDI (critical slowing down) is designed to detect — not a fixed position, but the velocity of approach toward a new, not-yet-consolidated attractor.

The distinction is not merely descriptive; it motivates why the framework treats basin depth (RCI/NRSI) and approach velocity (CSDI) as distinct constructs rather than redundant measures of the same phenomenon. A patient can be carrying an active, still-forming allostatic load — a rising CSDI with regulatory reserve not yet depleted — without showing the deep canalisation characteristic of consolidated depression, in which NRSI is low but CSDI is quiescent precisely because the system has already settled into its attractor rather than travelling toward one. The framework predicts that these two configurations are dissociable in data, and not merely two points on a single severity continuum.

2.1 The Three Transdiagnostic Axes and Proposed Indices

The three axes are summarised in Table 1. Each answers a different clinical question: where the system is pointing (affective valence), how hard it is running relative to its own window of tolerance (activation sign; Siegel, 1999; Ogden et al., 2006), and how much regulatory capacity remains and in which direction the system is moving (reserve and trajectory). Two further indices are listed because they qualify the reading of the three axes rather than adding a fourth. ANSI distinguishes a genuinely low-arousal calm state from a decoupled or dissociative one — a distinction invisible to any measure of arousal magnitude alone. ICCI indexes the coherence between interoceptive signal and cortical processing, which is precisely the capacity that self-report presupposes and that Section 1 identified as unreliable in the populations of interest. All indices below are proposals of this research programme, read N-of-1 against the patient's own baseline; none is presented as an established measure, and their evidential status is stated in Section 5.

Axis	Index(es)	What it measures
Affective valence	FAVI (Frontal Affective Valence Index)	Frontal alpha asymmetry — approach/avoidance motivational bias
Activation sign	WTSI (Window of Tolerance State Index) + AArI (Affective Arousal Index)	Hyper- vs. hypoactivation relative to the window of tolerance; cortical + autonomic arousal
Regulatory reserve / trajectory	NRSI (Neural Reserve/Sensitivity Index) + CSDI (Critical Slowing Down Index)	Available regulatory reserve; critical slowing down as an early-warning signal of transition
Momentary regulatory capacity	RCI (Regulatory Capacity Index)	Vagal tone + top-down cortical regulation

Axis	Index(es)	What it measures
Safety / decoupling	ANSI	Autonomic-cortical coupling — distinguishes genuine calm from dissociative collapse
Body-cortex coherence	ICCI (Interoceptive-Cortical Coherence Index)	Alignment between interoceptive prediction and cortical processing («BUG»)

Table 1. The three transdiagnostic axes, their proposed indices, and the construct each is intended to measure.

2.2 Proposed Index-to-Psychometric-Instrument Mapping

Table 2 states, index by index, the psychometric subscale with which each index is expected to converge, together with the reason for the expectation. These mappings are declared before any data are collected so that they function as predictions rather than as post-hoc interpretations of whatever correlation matrix emerges. They are not, however, of uniform strength, and it would be misleading to present them as though they were. The NRSI–Exhaustion, FAVI–depressive-valence and AArI/WTSI–anxious-hyperarousal mappings follow directly from the construct definitions. The ANSI–Depersonalisation mapping is the weakest a priori in the set, because the MBI depersonalisation subscale measures an attitudinal stance toward one's work and clients rather than the perceptual-dissociative phenomenon ANSI is designed to detect; this asymmetry is stated here, and carried into Section 4 as a separately weighted hypothesis, so that a null result on the weakest mapping is not read as a failure of the framework as a whole — nor a chance correlation there as support for it.

FRM Index	Reference psychometric instrument(s)	Rationale for the mapping
FAVI	PHQ-9 / BDI-II (mood and anhedonia items)	Negative motivational bias — approach/avoidance — as a correlate of depressive valence
AArI + WTSI (positive sign)	GAD-7 / STAI (trait and state)	Cortical and autonomic hyperarousal as a correlate of anxiety
NRSI	Exhaustion subscale — MBI (Maslach Burnout Inventory) or CBI (Copenhagen Burnout Inventory)	Depleted regulatory reserve as an operational definition of exhaustion
ANSI	Depersonalisation subscale — MBI (exploratory only; see H8)	Safety gate for autonomic–cortical decoupling, not a dimensional symptom correlate; excluded from the confirmatory set
RCI	Personal Accomplishment subscale — MBI (inverse relationship expected)	Available top-down regulatory capacity vs. perceived low efficacy
CSDI	Longitudinal trajectory of MBI/PHQ-9/GAD-7 via EMA (ecological momentary assessment)	Anticipation of symptomatic transition ahead of the scale capturing it
ICCI	TAS-20 (Toronto Alexithymia Scale)	Interoceptive-cortical coherence as an objective correlate of the capacity to identify/describe internal states

Table 2. Proposed index-to-instrument mapping, with the rationale for each predicted convergence. Predictions are fixed in advance of data collection; falsification criteria for each are given in Section 4. *(Note: the TAS-20 also serves as a control covariate — patients with TAS-20 ≥ 61 tend to show lower self-report reliability, which is precisely the structural argument justifying the cross-referencing with qEEG.)*

2.3 Operational Definitions

Table 3 gives the functional form of each index: which signals enter it, how they are transformed, and how the result is read. Three things about that table determine what a reader can and cannot do with it. The consecrated components on which they draw carry their own literatures — frontal alpha asymmetry (Davidson, 1998; Allen et al., 2004), vagal tone and neurovisceral integration (Thayer & Lane, 2000), and the critical-slowing-down signatures (Scheffer et al., 2009; van de Leemput et al., 2014) — and the contribution claimed here is the composition, not the components. First, the forms are complete enough to reimplement — an independent group with the same acquisition can compute these quantities without

further information from us, which is the operational meaning of the white-box commitment. Second, the composite weights are written as w and are not numbers, because they are not yet numbers: they await calibration against a cohort, and no cohort has been collected. Publishing a weight vector fitted to nothing would give the appearance of precision without its substance. Third, the reading thresholds shown are a priori values drawn from the literature and are advisory, to be replaced by cohort percentiles; they are stated so that they can be tested as written, not so that they can be relied upon clinically. The operational definitions and index designations in Table 3 are disclosed publicly here for the first time, and are released for independent implementation and testing on the ordinary condition of attribution.

One component deserves its caveat in the main text rather than in a footnote. The autonomic term of the AArI uses the LF/HF ratio, which is contested as a measure of sympathovagal balance: it reflects a mixture of influences rather than a clean index of sympathetic tone (Billman, 2013). It enters as one weighted, normalised term among three and is never read alone. Two further vulnerabilities follow the same logic: gamma-band power is susceptible to muscle artefact, so an arousal reading inflated by jaw or neck tension is a standing risk, and the phase-synchrony term r is sensitive to epoch selection and requires clean recording. None of these invalidates the composite, but each is a reason the indices are specified as weighted composites read against the patient's own baseline rather than as single-channel thermometers.

Index	Functional form	Reading
FAVI	FAA = ln(α_F4) − ln(α_F3); FAVI = 50 + 50 · (FAA / ref)	Frontal alpha asymmetry rescaled about 50 against a reference. > 65 = approach pole; < 35 = avoidance pole.
AArI	AArI = 100 · [w_1·r + w_2·P_fast,z + w_3·(LF/HF)_z]	Three channels: phase synchrony (order parameter r, via PLV), fast cortical power (beta/gamma, normalised), autonomic balance. 0–100; high = hyperactivation.
WTSI	WTSI = sign(x) · |x|, x = f(cortical arousal, autonomic state) − window centre	Position relative to the patient's own tolerance window. The sign is the primary information: x > 0 hyperactivation, x < 0 hypoactivation or dissociation; magnitude gives distance from the window.
RCI	RCI = 100 · [w_1·HRV_vagal,z + w_2·θ_frontal-coherence,z]	Vagal tone (RMSSD / HF-HRV) with top-down regulation (frontal theta coherence). High = broad regulatory capacity.
NRSI	NRSI = 100 · [w_1·autonomic-reserve,z + w_2·Hurst-flexibility,z]	Autonomic reserve (SDNN, variability amplitude) with fractal flexibility (Hurst). High = wide margin before collapse; low = reserve exhausted.
CSDI	CSDI = 100 · [w_1·AR(1)_z + w_2·Var_z + w_3·τ_recovery,z]	The three critical-slowing-down signatures across the EMA series: day-to-day autocorrelation, sliding-window variance, recovery time after perturbation. The joint rise is the signal; one alone may be noise.
ICCI	ICCI = 100 · [w_1·coh_EDA–HRV + w_2·coh_body–cortex + w_3·(1 − return-latency_z)]	Interoception (EDA–HRV coherence), body–cortex alignment (autonomic envelope vs. FAA and fronto-limbic PAC), and recovery flexibility. Low =

		predictive mismatch in some domain.
ANSI	Autonomic–cortical decoupling alarm (gate, not a graded index)	Fires when autonomic and cortical activity decouple, separating genuine low-arousal calm from dissociative freezing. Read as a safety gate, not a dimensional score (see H8).

Table 3. Functional form of each index. Subscript z denotes normalisation against the patient's own baseline. Weights w await cohort calibration and are deliberately not given as numbers; thresholds shown are a priori and advisory.

3. Proposed Validation Protocol (no data collected — protocol specification only)

No participants have been recruited and no data have been collected under this framework; the protocol below is a specification for future validation, presented so that predictions are fixed in advance of any data collection.

Sample. A transdiagnostic sample, recruited by presenting complaint rather than pre-assigned categorical diagnosis — patients presenting with anxious, exhaustion-related, or depressive symptomatology, without requiring that they meet full criteria for a single DSM/ICD category before inclusion. This is deliberate: pre-filtering by diagnosis would reintroduce the categorical assumption the framework is designed to move past.

qEEG acquisition. Following the five-condition protocol of the parent architecture — eyes-closed and eyes-open resting baselines, an emotionally-activating task condition, a post-task recovery window, and a separate ecological-momentary-assessment (EMA) regime sampled across days for the CSDI, which cannot be derived from a single session. Concurrent HRV and EDA are acquired continuously; salivary cortisol is sampled at discrete points (basal and reactivity) where the HPA axis is of interest to the presenting complaint.

Psychometric battery. Administered on the same day as the qEEG session: GAD-7 (Spitzer et al., 2006) and/or STAI (Spielberger, 1983) for anxiety; PHQ-9 (Kroenke et al., 2001) and/or BDI-II (Beck et al., 1996) for depression; the MBI (Maslach et al., 1996) or CBI (Kristensen et al., 2005) for burnout (with subscale-level scoring retained, not only the composite); and the TAS-20 (Bagby et al., 1994), administered to every participant regardless of presenting complaint, both as a construct of interest (Section 2.2) and as a covariate flagging participants whose self-report may be structurally less reliable.

Statistical analysis. Each index–subscale pairing proposed in Table 2 is tested as a pre-specified, directional partial correlation, with TAS-20 score entered as a covariate and, where the hypothesis concerns discriminant rather than convergent validity, the competing symptom scale entered as a second covariate. Where the framework predicts a specific direction or threshold (e.g. NRSI below its a priori cut-off in relation to MBI-Exhaustion, Section 4), that threshold is tested as stated rather than selected after inspection of the data. Because the mappings in Table 2 are separate pre-registered predictions rather than a family of exploratory tests, each is evaluated against its own criterion; a false-discovery-rate correction (Benjamini & Hochberg, 1995; $q = .05$) is nevertheless reported alongside the uncorrected values, so that readers applying either standard can see what survives. The homeorhesis/allostasis dissociation proposed in Section 2.0 is tested by comparing the NRSI–CSDI correlation structure across presenting-complaint subgroups, as specified in H7 below.

Power and pre-registration. The primary predictions are correlational. Detecting a moderate association ($\rho = .40$) with 80% power at $\alpha = .05$, one-tailed, requires approximately $n = 37$ per test; the discriminant and moderation predictions (H1 and H5) are the more demanding, and require a sample of the order of $n = 120$ to be adequately powered for a partial correlation of $\rho = .25$ and for stratified comparison by TAS-20 level. A study falling below that range should be reported as a feasibility study and should not be presented as supporting or refuting the discriminant claims. The complete prediction table — index-to-subscale pairings, directions of effect, thresholds, covariates, and the falsification criterion for each hypothesis — is to be deposited in a public registry before the first participant is enrolled, so that the analysis reported can be compared against the analysis planned.

Position within the validation programme. The framework's validation is staged in four phases, each a precondition for the next: (1) component validation, establishing that the consecrated components —

frontal alpha asymmetry, PLV, DFA, vagal tone, cortisol rhythm — behave as expected within this acquisition montage and pipeline; (2) construct validation, establishing that each composite index correlates with the state or biotype it operationalises; (3) predictive validation, testing the dynamic and prognostic claims; and (4) clinical utility, testing whether profile-guided care improves outcomes over standard care in controlled trials. The protocol specified here sits at phase 2, with the CSDI prediction (H6) reaching into phase 3. It does not, and cannot, speak to phase 4. We state this explicitly because the most common failure in instrument validation is to claim clinical utility while skipping the demonstration that the instrument measures what it claims to measure.

4. Falsifiable Hypotheses

A framework earns the description "testable" only by stating, in advance, what would count against it. This section therefore expresses each claim as a directional prediction paired with the observation that would refute it. Three conventions apply throughout. The criterion is Popper's: what separates a scientific claim from a metaphysical one is not that it is true but that a possible observation would refute it (Popper, 1959), and the value of a prediction lies in how much it forbids — a point Meehl (1978) pressed by noting that a theory risking little is confirmed by little. Three conventions follow. First, every index is read against the patient's own baseline (N-of-1); where a numerical cut-off appears it is an a priori value taken from the literature and treated as advisory until replaced by percentiles derived from a calibration cohort — a hypothesis is not rescued by re-tuning its threshold after the result is known. Second, a prediction counts as falsified when the effect is absent or reversed in an adequately powered test under the stated conditions, not when it fails to reach significance in an underpowered one; a null result in a small sample is uninformative, not exculpatory. Third, the hypotheses do not carry equal weight. H1–H4 test whether the individual indices measure what they are claimed to measure; H5 tests the epistemic claim that motivates the entire framework; H6 and H7 test the dynamical model of Section 2.0; H8 is declared weak in advance. Failure of a single convergent mapping would revise the index concerned. Failure of H5 or H7 would undermine the framework itself.

Provenance of the declared criteria. The index-level criteria used below are not selected to fit the psychometric instruments they are tested against. Each was fixed as part of the specification of the index itself — against criteria drawn from neuroimaging classification, induced-state discrimination, and prospective symptom trajectories — before any criterion measure was chosen for the present protocol, and each is restated here in full so that the reader can check the prediction against the result rather than take the ordering on trust. Where a hypothesis below invokes a numerical threshold, that threshold belongs to the index, not to this study, and is not available for adjustment should the correlation disappoint. A framework that re-specifies its criteria for each new criterion measure is not accumulating evidence; it is accumulating opportunities to succeed.

H1 — Regulatory reserve and exhaustion. If the NRSI validly operationalises regulatory reserve, patients with lower NRSI will score higher on the Exhaustion subscale of the MBI or CBI, and the association will survive partialling out PHQ-9 and GAD-7 scores. This is an additional test of the NRSI, not a restatement of its primary criterion: the index is specified to predict a significantly higher rate of adverse response to activating interventions below its cut-off, with the diurnal cortisol slope flattening as reserve falls. Convergence with self-reported exhaustion is a further, independent way for the reserve interpretation to fail. **Falsified if** the partial correlation between NRSI and Exhaustion, controlling for depressive and anxious symptom load, is null or reversed in direction; or if NRSI's association with PHQ-9 total equals or exceeds its association with Exhaustion — in which case the index is tracking general distress, and "reserve" is a redescription of severity rather than a distinct construct.

H2 — Affective valence and depressive mood. If FAVI validly indexes motivational direction rather than general negative affect, it will correlate with the mood and anhedonia items of the PHQ-9/BDI-II in the predicted direction and at a magnitude consistent with the criterion declared for this index ($\rho \geq .40$), and will do so more strongly than with GAD-7 total. **Falsified if** the association falls consistently below that threshold; or if FAVI correlates with anxiety at least as strongly as with depression. The second outcome is the informative one: it would indicate that frontal alpha asymmetry, in this sample, indexes distress in general and cannot carry the valence axis, and FAVI would have to be demoted to a contributing voice in the profile rather than an axis of its own.

H3 — Activation sign, not activation magnitude. Two declared criteria converge here. For AArI, the multichannel composite must discriminate hyper- from hypoactivated states at AUC > 0.70 and must outperform each of its constituent terms taken alone. For WTSI, the sign of the index must classify clinical hyper- and hypoactivation independently of self-report. Applied to the present sample, signed activation together with AArI should separate anxious from depressive-anergic presentations, whereas the unsigned magnitude of deviation from baseline should not. **Falsified if** the AUC falls below the declared threshold; if any single channel equals the composite, in which case the multichannel synthesis is not adding what it promises; or if a model using signed activation classifies presenting complaint no better than one using unsigned deviation. The last is the prediction that distinguishes the framework from a severity scale with electrodes: if magnitude alone carries the information, the tolerance-window construct is decorative and should be dropped.

H4 — Interoceptive-cortical coherence and alexithymia. If ICCI validly indexes interoceptive-cortical coherence, it will relate inversely to TAS-20 total, most strongly to the Difficulty Identifying Feelings and Difficulty Describing Feelings subscales and more weakly to Externally Oriented Thinking. The primary criterion declared for this index is electrophysiological rather than psychometric — convergence of a low-coherence domain with an amplified, delayed P300 to neutral stimuli under laboratory-grade acquisition — and the two tests are complementary: TAS-20 asks whether the index tracks what the patient can report about interoception, P300 whether it tracks what the system does with it. **Falsified if** ICCI shows no relation to TAS-20, or relates uniformly across all three subscales — the latter indicating that the index tracks a general factor rather than interoceptive access specifically.

H5 — The structural claim: incremental information where self-report is weakest. This is the load-bearing hypothesis of the paper, and the psychometric form of the framework's composite-level claim: that the composite profile tracks clinical change and outperforms the PHQ-9/GAD-7 in predicting response. If the argument of Section 1 holds, the index profile will explain variance in clinician-rated severity over and above the self-report battery, and this incremental contribution will be significantly larger in the high-alexithymia stratum (TAS-20 ≥ 61) than in the low stratum. Stated equivalently: index–questionnaire divergence should increase as TAS-20 increases. **Falsified if** the index profile adds no incremental variance over self-report; or if it adds variance uniformly, with no moderation by TAS-20. The second outcome is the more instructive of the two. It would leave the indices potentially useful while refuting the paper's central argument, which is not that qEEG is generally superior to questionnaires but that it is differentially informative precisely where introspective report fails. If H5 fails in that way, the framework must be rewritten as a claim about added measurement in general, and the clinical rationale of Section 5 falls with it.

H6 — Critical slowing down as an early-warning signal. Critical slowing down is an established early-warning signature of approaching transitions in dynamical systems (Scheffer et al., 2009) and has been reported in mood time series (van de Leemput et al., 2014). The criterion declared for the CSDI is specific about timing: the joint rise of its signatures should precede episodes of affective dysregulation by a window of the order of 2 to 48 hours, anticipating the symptom scales. Applied here, a rise in CSDI within a patient's EMA series will precede measurable worsening on the subsequent MBI/PHQ-9/GAD-7 administration, with the cross-correlation between CSDI and symptom change peaking at a positive lag within that window. **Falsified if** the cross-correlation peaks at lag zero or at a negative lag — that is, if CSDI rises only concurrently with, or after, symptomatic change. In that case the index is a concurrent marker, not a precursor, and the application of critical-slowing-down theory to affective EEG must be revised rather than merely re-tuned. The prediction is separately falsified as a usable signal if its false-positive rate is indistinguishable from chance: CSDI rises not followed by deterioration at a rate no better than the base rate of deterioration in the sample. An early-warning signal that fires without discrimination has no clinical value even when its timing is correct.

H7 — Homeorhesis and allostasis as dissociable regimes. If the theoretical distinction of Section 2.0 holds, patients with consolidated depressive presentations will show low NRSI together with a stable, low CSDI — an already-canalised attractor with no active approach trajectory — whereas patients in acute anxiety or burnout presentations will show a rising CSDI with NRSI preserved or only recently declining, indicating allostatic load underway and an attractor not yet consolidated. The formal test is a presenting-complaint × index interaction, together with the factor structure of the index set. **Falsified if**

NRSI and CSDI collapse onto a single dimension across the whole sample ($|r| \geq .80$, or a one-factor solution fitting as well as a two-factor solution by conventional information criteria); or if the group × index interaction is null, indicating that the two presentations differ in degree along a single severity continuum rather than in dynamical regime. This is the prediction that carries the theoretical claim of the paper: if it fails, homeorhesis and allostasis remain useful metaphors but not independent measurable axes, and the framework should be reduced to a single severity dimension with an honest acknowledgement that the dynamical language was not earned.

H8 — ANSI is excluded from the confirmatory set, and why. Table 2 pairs ANSI with the MBI Depersonalisation subscale. We withdraw that pairing from the confirmatory analysis and record the reason, because it is a category difference rather than a weak effect. ANSI is not a dimensional correlate of a symptom: within the framework it is a safety gate — one of three doors, with the HEI and the reserve threshold, that must be open before any activating intervention proceeds — and it fires when autonomic and cortical activity decouple, distinguishing genuine low-arousal calm from dissociative freezing. Its falsification condition is correspondingly a utility condition, at phase 4 of the validation programme (Section 3): gate-based screening should reduce adverse events, and is refuted if it does not. Correlating a binary safety alarm with an attitudinal subscale measuring cynicism toward one's work would test neither claim. **Accordingly** the ANSI–Depersonalisation relation is reported as exploratory and excluded from the confirmatory set and from any count of the framework's hit rate. Where a perceptual-dissociative criterion is required, the appropriate instrument is a dissociation scale — the Dissociative Experiences Scale (Bernstein & Putnam, 1986) or the Cambridge Depersonalisation Scale (Sierra & Berrios, 2000) — and where such a scale can be added to the battery, it should be.

What would not count as falsification. To keep the framework from being rescued after the fact, we state in advance the defensive moves we forgo. A failed prediction will not be attributed post hoc to sample impurity, to threshold miscalibration, or to a patient's psychometric profile unless that attribution was declared beforehand as a covariate — TAS-20 is the only such covariate declared here. Indices will not be recombined into new composites after inspection of the correlation matrix and then reported as confirmatory; any such composite is exploratory and must be labelled so. Missing or unusable EMA series will be reported with their attrition rate rather than quietly excluded, since selective attrition would bias H6 in the direction of the prediction. And the framework will not be defended on the ground that qEEG measures something the questionnaires cannot capture: that proposition is not a premise available for defence, it is the claim under test in H5, and if H5 fails the argument fails with it.

5. Discussion

This framework does not propose that deep qEEG replace psychometric assessment in anxiety, burnout, or depression. Self-report captures dimensions of subjective experience — meaning, narrative, distress as lived — that no physiological measure can substitute. What we propose instead is a complementary, objective anchor, whose value is not uniform across patients but is concentrated precisely where self-report is structurally weakest: chronic presentations that have eroded the internal baseline needed for self-comparison, alexithymic or dissociative profiles with reduced introspective access, and occupational-exhaustion presentations where cultural or professional norms discourage acknowledging distress until it is severe. In these populations, a physiological measure that does not depend on introspective access adds information the questionnaire cannot, by design, capture.

The homeorhesis/allostasis distinction proposed in Section 2.0 carries a further clinical implication worth making explicit: if depression is better characterised as a canalised attractor (deep NRSI/RCI deficit, low CSDI signal) and anxiety/burnout as an active allostatic process (rising CSDI, more labile NRSI), the two states may call for different intervention logics — stabilisation and gradual widening of the basin for the former, load reduction and early interruption of the trajectory for the latter — rather than a single "regulate the nervous system" approach applied uniformly. This is offered as a clinical hypothesis to be tested against outcome data, not a validated treatment-selection rule.

Limitations. The framework inherits the limitations already documented for its constituent indices. sLORETA's spatial resolution is low by construction — on the order of centimetres at the cortical surface, degrading further with depth — and it does not reliably resolve subcortical sources (Pascual-Marqui, 2002); indices that depend on amygdala- or striatum-linked circuits (the negative-bias and threat-dysregulation biotypes in particular) should be read as proxy measures, not direct readouts, and

any correlation with fMRI-classified biotypes (Williams, 2016) is expected to be noisier for these than for cortical circuits (DMN, cognitive control, attention). The CSDI additionally requires dense, repeated ecological momentary sampling over days — it cannot be obtained from a single session, and any implementation that claims otherwise is not measuring what the index is defined to measure. A further limitation is internal to the indices as given here: the composite weights of Table 3 are uncalibrated. No cohort has been collected, and the thresholds quoted are a priori values carried as advisory until percentiles from a calibration cohort replace them. Any result obtained with provisional weights is therefore a test of the functional form and of the direction of effect, not of a tuned instrument — and a framework whose weights were fitted on the same data used to test it would be testing nothing. Finally, every index in this framework is intended to be read against the patient's own baseline (N-of-1), not against population norms; cross-sectional comparisons between patients should be interpreted with corresponding caution.

Ethical framing. Consistent with the broader ecosystem this framework belongs to, no automated system is intended to issue a diagnostic label from these indices. The proposed use is clinical decision support: the index profile is surfaced to a licensed clinician, who retains sole authority over interpretation and intervention. This is particularly relevant for burnout, where an index profile suggesting allostatic overload should prompt clinical judgment about occupational and contextual factors, not an automated classification.

Next steps. The validation protocol outlined in Section 3 is, to our knowledge, not yet executed. We present it here as a pre-registered-style specification — index-to-subscale predictions stated in advance, together with the conditions under which each would be falsified — so that this or an independent research group can test it directly, and so that any future report of correlational results can be evaluated against the predictions made before data collection, rather than against hypotheses constructed after the fact.

Availability and reuse. Table 3 releases the functional form of every index in this framework, together with its reading thresholds and acquisition requirements, so that any group with comparable acquisition can implement the indices and test the hypotheses of Section 4 without further information from the authors. What is not released, because it does not yet exist, is the calibrated weight vector for each composite: those weights await a calibration cohort, and any implementation using provisional weights should say so. The index designations (FAVI, AArI, WTSI, RCI, NRSI, CSDI, ICCI, ANSI) and their operational definitions originate with this framework; work that implements, extends, or tests them should cite this paper and the architecture paper it builds on.

References

(Listed alphabetically; final numbering and formatting to be adjusted to journal style.)

1. Allen, J. J. B., Coan, J. A., & Nazarian, M. (2004). Issues and assumptions on the road from raw signals to metrics of frontal EEG asymmetry in emotion. Biological Psychology, 67(1–2), 183–218.
2. Bagby, R. M., Parker, J. D. A., & Taylor, G. J. (1994). The twenty-item Toronto Alexithymia Scale — I. Item selection and cross-validation of the factor structure. Journal of Psychosomatic Research, 38(1), 23–32.
3. Beck, A. T., Steer, R. A., & Brown, G. K. (1996). Manual for the Beck Depression Inventory-II. San Antonio, TX: Psychological Corporation.
4. Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. Journal of the Royal Statistical Society: Series B, 57(1), 289–300.
5. Bernstein, E. M., & Putnam, F. W. (1986). Development, reliability, and validity of a dissociation scale. Journal of Nervous and Mental Disease, 174(12), 727–735.
6. Billman, G. E. (2013). The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance. Frontiers in Physiology, 4, 26.
7. DaSilva, V., Poli, D., & Pino, O. (2026). A Precision Computational Framework for sLORETA Neurofeedback in Mild Cognitive Impairment: Integration of qEEG Biomarkers and

Neuropsychological Metrics. International Journal of Environmental Research and Public Health, 23(5), 624. https://doi.org/10.3390/ijerph23050624

8. Davidson, R. J. (1998). Anterior electrophysiological asymmetries, emotion, and depression: conceptual and methodological conundrums. Psychophysiology, 35(5), 607–614.
9. Kristensen, T. S., Borritz, M., Villadsen, E., & Christensen, K. B. (2005). The Copenhagen Burnout Inventory: a new tool for the assessment of burnout. Work & Stress, 19(3), 192–207.
10. Kroenke, K., Spitzer, R. L., & Williams, J. B. W. (2001). The PHQ-9: validity of a brief depression severity measure. Journal of General Internal Medicine, 16(9), 606–613.
11. Maslach, C., Jackson, S. E., & Leiter, M. P. (1996). Maslach Burnout Inventory Manual (3rd ed.). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
12. McEwen, B. S. (1998). Protective and damaging effects of stress mediators. New England Journal of Medicine, 338(3), 171–179.
13. Meehl, P. E. (1978). Theoretical risks and tabular asterisks: Sir Karl, Sir Ronald, and the slow progress of soft psychology. Journal of Consulting and Clinical Psychology, 46(4), 806–834.
14. Ogden, P., Minton, K., & Pain, C. (2006). Trauma and the Body: A Sensorimotor Approach to Psychotherapy. New York: W. W. Norton.
15. Pascual-Marqui, R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology, 24(Suppl. D), 5–12.
16. Popper, K. R. (1959). The Logic of Scientific Discovery. London: Hutchinson.
17. Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W. A., Brovkin, V., Carpenter, S. R., Dakos, V., Held, H., van Nes, E. H., Rietkerk, M., & Sugihara, G. (2009). Early-warning signals for critical transitions. Nature, 461(7260), 53–59.
18. Siegel, D. J. (1999). The Developing Mind: How Relationships and the Brain Interact to Shape Who We Are. New York: Guilford Press.
19. Sierra, M., & Berrios, G. E. (2000). The Cambridge Depersonalisation Scale: a new instrument for the measurement of depersonalisation. Psychiatry Research, 93(2), 153–164.
20. Spielberger, C. D. (1983). Manual for the State-Trait Anxiety Inventory (STAI-Form Y). Palo Alto, CA: Consulting Psychologists Press.
21. Spitzer, R. L., Kroenke, K., Williams, J. B. W., & Löwe, B. (2006). A brief measure for assessing generalized anxiety disorder: the GAD-7. Archives of Internal Medicine, 166(10), 1092–1097.
22. Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2000). A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. Journal of Affective Disorders, 61(3), 201–216.
23. van de Leemput, I. A., Wichers, M., Cramer, A. O. J., Borsboom, D., Tuerlinckx, F., Kuppens, P., van Nes, E. H., Viechtbauer, W., Giltay, E. J., Aggen, S. H., Derom, C., Jacobs, N., Kendler, K. S., van der Maas, H. L. J., Neale, M. C., Peeters, F., Thiery, E., Zachar, P., & Scheffer, M. (2014). Critical slowing down as early warning for the onset and termination of depression. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(1), 87–92.
24. Waddington, C. H. (1957). The Strategy of the Genes: A Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology. London: Allen & Unwin.
25. Williams, L. M. (2016). Precision psychiatry: a neural circuit taxonomy for depression and anxiety. Lancet Psychiatry, 3(5), 472–480.

INCOMPLETE SURFACE ACQUISITION DURING EXTRAORAL SCANNING OF DENTAL IMPRESSIONS: CONTRIBUTING FACTORS AND CLINICAL RELEVANCE — A NARRATIVE REVIEW

With Illustrative Laboratory Observations

Diyana ZHELYAZKOVA
Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dental Medicine, Medical University-Plovdiv, Bulgaria
ORCID: 0009-0002-2728-4907

Dobromira SHOPOVA
Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dental Medicine, Medical University-Plovdiv, Bulgaria,
ORCID: 0000-0003-1287-930X

Svetlin ALEKSANDROV
Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dental Medicine, Medical University-Plovdiv, Bulgaria,
ORCID: 0000-0002-4319-6360

Maria HRISTOZOVA
Department of Prosthetic Dentistry, Faculty of Dental Medicine, Medical University-Plovdiv, Bulgaria,
ORCID: 0000-0001-9705-9604

Abstract

Background: Direct extraoral scanning of conventional dental impressions has become an important step in digital prosthodontic workflows. However, incomplete surface acquisition remains a frequently overlooked source of error that may compromise the reliability of digital models despite acceptable overall trueness and precision.

Objective: This narrative review aimed to summarize the current evidence regarding incomplete surface acquisition during direct extraoral scanning of dental impressions, identify the principal contributing factors, discuss their clinical significance, and present illustrative laboratory observations demonstrating the influence of impression positioning and targeted rescanning. This review proposes the systematic use of scan completeness as a complementary quality criterion alongside trueness and precision for evaluating direct extraoral impression scanning.

Materials and Methods: A narrative literature review was performed using PubMed/MEDLINE and Google Scholar, including studies addressing direct impression digitization, impression materials, optical scanning technologies, scanner-related factors, impression geometry, operator-dependent variables, and software processing. Published evidence was integrated with representative laboratory observations obtained during routine extraoral scanning procedures using a structured-light laboratory scanner to illustrate incomplete surface acquisition, optimization of impression positioning, and corrective rescanning strategies.

Results: Incomplete surface acquisition was identified as a multifactorial phenomenon influenced by the interaction between impression material properties, negative anatomical geometry, scanner characteristics, impression positioning, operator technique, and software processing. Optimization of impression orientation and targeted rescanning improved scan completeness in many regions. Nevertheless, clinically relevant defects persisted in narrow and deep preparations, particularly in premolar areas, despite optimized positioning. Software interpolation may improve visual continuity but cannot reliably replace directly acquired data in clinically critical regions such as finish lines, axial walls, occlusal anatomy, or implant scan bodies.

Conclusions: Scan completeness should be evaluated as an independent quality parameter complementary to trueness and precision. Careful impression positioning, systematic inspection of reconstructed surfaces, and targeted rescanning significantly improve the reliability of direct impression digitization, although they cannot completely eliminate acquisition defects in anatomically challenging

regions. Standardized quality-control protocols may enhance the predictability and clinical safety of digital prosthodontic workflows.
Keywords: extraoral scanning; dental impressions; scan completeness; incomplete surface acquisition; structured-light scanner; impression positioning; CAD/CAM; digital dentistry.

1. Introduction

Digital technologies have become an essential part of contemporary prosthetic dentistry, supporting computer-aided design and manufacturing, virtual treatment planning, and the fabrication of fixed and removable restorations. Despite the increasing use of intraoral scanners, conventional elastomeric impressions remain clinically relevant, particularly in complex prosthodontic cases and situations in which intraoral digitization is difficult or unavailable. Direct extraoral scanning of these impressions enables their conversion into digital datasets without first producing a gypsum cast. This approach may simplify the laboratory workflow, reduce processing time and material consumption, and avoid errors associated with stone model fabrication. However, the reliability of direct impression digitization depends not only on scanner accuracy but also on the properties of the impression material, the geometry of the recorded structures, scanning conditions, and operator technique.

Dental impressions represent negative anatomical geometry and are therefore more difficult to capture optically than positive stone models. Deep preparations, steep axial walls, narrow interdental spaces, undercuts, and areas positioned at unfavorable angles may restrict the access of projected light and the visibility of the surface to the scanner cameras. As a result, clinically relevant regions may remain partially reconstructed or completely unrecorded. In the present review, incomplete surface acquisition refers to the failure of an optical scanning system to capture and reconstruct all relevant areas of the impression surface. It may appear as missing data, open holes, discontinuous mesh regions, absent preparation margins or axial walls, scanning noise, or areas requiring repeated additional acquisition. This phenomenon should be distinguished from trueness and precision, because a digital model may show acceptable overall accuracy while still containing a localized and clinically significant acquisition defect. Software interpolation may also create a visually continuous surface without reproducing the actual geometry of the impression.

Most published studies on direct impression digitization focus primarily on trueness, precision, repeatability, and overall three-dimensional deviation, whereas scan completeness is less frequently evaluated as an independent outcome. The combined effects of material optical properties, impression geometry, scanner technology, spatial positioning, software processing, and operator-related factors also remain insufficiently integrated in the existing literature. Therefore, the aim of this narrative review is to summarize the available evidence concerning incomplete surface acquisition during extraoral scanning of dental impressions, identify the main contributing factors, and discuss their practical and clinical relevance. Representative laboratory observations from routine scanning procedures are additionally included to illustrate typical acquisition defects, the influence of impression positioning, and corrective rescanning procedures.

In the context of direct extraoral impression scanning, scan completeness may be regarded as a complementary quality parameter reflecting whether all clinically relevant anatomical surfaces have been successfully captured. Unlike trueness and precision, it focuses on the completeness of the acquired surface rather than the dimensional accuracy of the reconstructed model.

2. Literature Search Strategy

A focused narrative literature search was conducted in PubMed/MEDLINE and Google Scholar for publications available up to July 2026. The reference lists of relevant articles were also screened. Search terms included combinations of “dental impression scanning,” “extraoral scanning,” “laboratory scanner,” “direct impression digitization,” “elastomeric impression materials,” “incomplete surface acquisition,” “missing scan data,” “scanability,” “surface angle,” “optical properties,” “trueness,” “precision,” and “CAD/CAM.”

Original studies, methodological papers, reviews, and relevant standards published in English were included when they addressed direct digitization of dental impressions, material and surface properties, impression geometry, scanner technology, positioning, optical accessibility, repeatability, or three-

dimensional reconstruction. Studies unrelated to impression digitization, isolated case reports, and publications without sufficient methodological information were excluded. Because of the heterogeneity of the available evidence, the findings were synthesized narratively and organized according to material-, geometry-, scanner-, positioning-, software-, and operator-related factors.

3. Optical Principles of Extraoral Impression Scanning

3.1. Structured-Light and Blue-Light Scanning

Extraoral laboratory scanners acquire the three-dimensional geometry of dental objects using non-contact optical technologies. Structured-light systems project a predefined pattern of stripes or grids onto the object surface, while one or more cameras record the deformation of the projected pattern. Based on these images, the scanner calculates the spatial coordinates of the surface and reconstructs its three-dimensional geometry. Various optical principles have been applied in dental laboratory scanners, including structured-light projection, laser scanning, and optical triangulation. (Logozzo et al., 2011; Rudolph et al., 2007)

Blue-light scanners employ short-wavelength illumination that improves image contrast and minimizes interference from ambient light. These systems have demonstrated high repeatability during impression digitization and are widely used in contemporary laboratory scanners. Nevertheless, the final quality of the reconstructed dataset remains influenced by scanner technology and optical acquisition conditions. (Jeon et al., 2015; Park et al., 2026); (Fig. 2).

3.2. From Light Projection to STL Reconstruction

During scanning, a projector illuminates the impression with a sequence of structured light patterns that are recorded by calibrated cameras. Using triangulation, the software calculates the three-dimensional coordinates of millions of surface points, generating an initial point cloud that represents the visible areas of the scanned object.

Subsequently, multiple scans obtained from different orientations are aligned and merged into a common coordinate system. The point cloud is transformed into a polygonal mesh composed of triangular elements and exported as an STL file, which serves as the basis for CAD design and three-dimensional analysis. (Persson et al., 2009). (Figs. 1, 2).

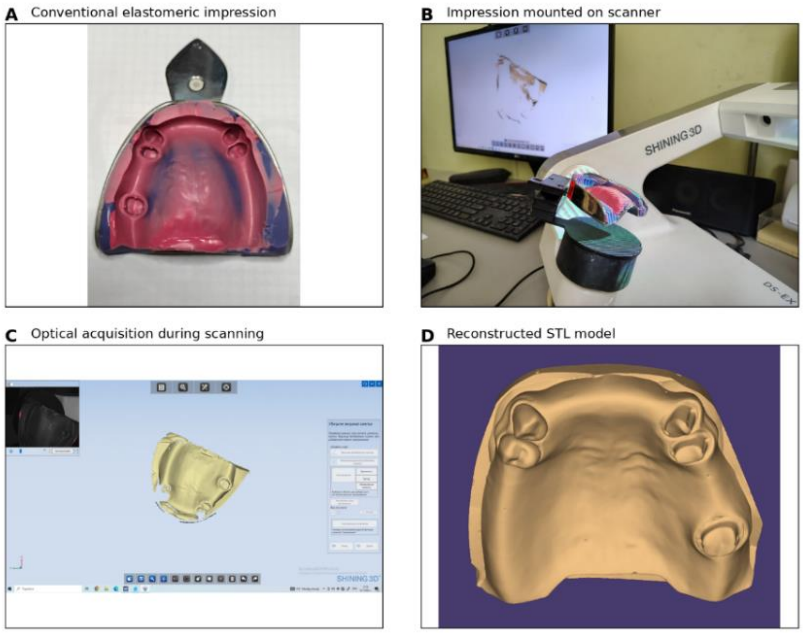


Figure 1. Workflow of the extraoral scanning procedure from impression acquisition to STL model generation.

3.3. Why Dental Impressions Are Difficult Objects to Scan

Unlike positive stone models, dental impressions reproduce anatomical structures as negative geometry. Deep preparations, narrow cavities, steep axial walls and undercuts limit optical accessibility and make complete surface acquisition more challenging. Increasing surface angulation has also been shown to reduce scanning performance. (DeLong et al., 2001). Furthermore, optical shadowing caused by impression walls, adjacent structures or the tray may obstruct either the projected light or the reflected signal reaching the cameras. Consequently, clinically important areas such as preparation margins or deep axial walls may be more difficult to reconstruct than readily visible surfaces. (García-Martínez et al., 2021)

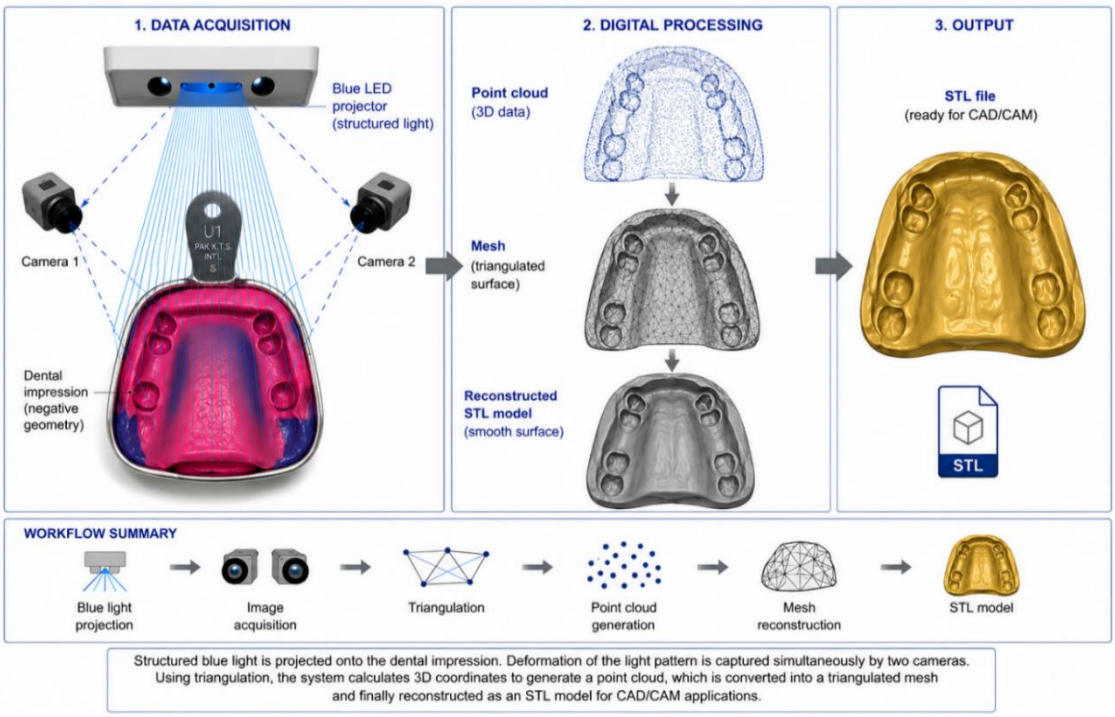


Figure 2. Optical principle of structured-light acquisition and STL reconstruction during direct impression scanning.

4. Factors Contributing to Incomplete Surface Acquisition

Incomplete surface acquisition during extraoral scanning of dental impressions is unlikely to result from a single isolated cause. It is more appropriately understood as the consequence of interactions among the optical properties of the impression material, the geometry of the recorded structures, the characteristics of the scanning system, the spatial position of the impression, operator decisions, and software-based data processing. The relative importance of each factor may vary according to the material–scanner combination and the complexity of the clinical geometry.

4.1. Impression Material

During direct extraoral scanning, an impression material functions not only as a negative reproduction of the clinical anatomy but also as an optical surface. Its color, opacity, translucency, gloss, surface roughness, pigmentation, and filler composition may influence the absorption, scattering, and reflection of projected light. Consequently, materials with similar conventional dimensional accuracy may demonstrate different levels of optical scanability.

Rodriguez et al. (2009) examined impression materials and dental stones using non-contact laser profilometry and identified material-dependent differences in optically measured surface roughness. Darker or more transparent impression materials tended to produce higher roughness values, suggesting that color and transparency can influence how the optical system interprets the scanned surface.

Their findings support the concept that the visible appearance of an impression material may reflect a broader optical profile relevant to scanning.

More recently, Park et al. (2026) evaluated the digitization of elastomeric impression materials with a blue-light laboratory scanner. Although three-dimensional reconstruction was possible for most of the tested materials, one material could not be reconstructed successfully. The authors associated the observed differences with material color and spectral reflection properties, demonstrating that scan completeness may depend on the interaction between the projected wavelength and the optical behavior of the material.

Pigments, opacifying agents, and inorganic fillers may modify opacity, translucency, gloss, and spectral reflectance. Their effect should not, however, be reduced to visible color alone. Two materials with a similar color may differ substantially in composition, light scattering, surface microtexture, and reflectivity. Color may therefore be interpreted as a clinically visible indicator of material optical behavior rather than as an isolated causal factor.

Runkel et al. (2020) demonstrated that the accuracy of impression digitization with desktop scanners depended on both the impression material and the particular scanning device. Polyether and some vinyl polysiloxane materials performed more favorably than other tested silicones, indicating that scanability is determined by a material–scanner interaction rather than exclusively by the nominal accuracy of the equipment.

The interaction between material properties and surface orientation was established earlier by DeLong et al. (2001). The authors found that the optical scanning performance of vinyl polysiloxane materials was strongly influenced by material type and surface angle. The better-performing materials remained comparable with the die-stone control at moderate angulations, but all tested impression materials failed at a surface angle of 60 degrees. These findings indicate that unfavorable geometry may intensify material-related optical limitations.

4.2. Geometry of the Impression

Dental impressions reproduce anatomical structures as negative forms. The optical system must therefore capture the internal surfaces of cavities corresponding to teeth, preparations, interdental areas, finish lines, and occlusal anatomy. Deep preparations, steep axial walls, narrow spaces, and undercuts may restrict the projected light or prevent the reflected signal from reaching the scanner cameras.

The difficulty of acquisition generally increases when the depth of a negative structure is large relative to its width. Even when the coronal portion of an impression is clearly visible, the deeper axial walls or finish line may remain outside an adequate optical line of sight. The scanner may consequently reconstruct the peripheral surface while leaving clinically important internal areas incomplete.

Jeon et al. (2013) reported high repeatability during white-light scanning of silicone impressions of prepared teeth but observed differences according to tooth morphology. Long and narrow premolar forms demonstrated greater variation, and the authors emphasized that further improvement was needed for deep and slender impression geometries.

In a subsequent investigation, Jeon et al. (2014) evaluated the trueness and precision of three-dimensional white-light scanning and found the largest deviations in molar regions. The authors related this result to the more complex posterior anatomy and steep axial surfaces, further supporting the influence of geometry on optical acquisition.

Persson et al. (2009) similarly demonstrated that the exactness of digitized simulated clinical impressions was influenced by the form of the prepared tooth. Although both impressions and stone replicas could be digitized with high repeatability, the resulting accuracy varied according to anatomical geometry.

Finish lines deserve particular attention because they define the virtual boundary used during restoration design. Luthardt et al. (2006) identified the preparation margin as one of the most vulnerable areas during qualitative three-dimensional evaluation of dental impressions. A peripheral acquisition defect outside the treatment area may have limited significance, whereas a missing or artificially reconstructed finish line may directly affect virtual die definition and marginal adaptation.

4.3. Scanner-Related Factors

The completeness of surface acquisition is also influenced by the technical characteristics of the laboratory scanner. Relevant variables include the light source, wavelength, optical resolution, camera number and configuration, depth of field, calibration status, acquisition mode, and reconstruction software. These factors determine which surfaces can be illuminated, viewed, registered, and converted into a stable digital mesh.

The spatial arrangement of the cameras is particularly important. For successful reconstruction, a surface must not only receive projected light but also be visible to at least one camera from a suitable angle. Increasing the number of cameras or changing their orientation may improve surface coverage, but no configuration can completely eliminate optical limitations in deep negative structures.

Sampaio-Fernandes et al. (2022) compared silicone impressions and corresponding stone models digitized with two laboratory scanners. The authors found that the resulting discrepancies depended on both the silicone system and the scanner used. Their findings demonstrate that different scanners may not perform identically when acquiring the same impression material and geometry.

The influence of the light source was examined by Jeon et al. (2015), who compared the repeatability of white- and blue-light scanners during digitization of conventional impressions of prepared teeth. Blue-light scanning demonstrated more favorable repeatability under the tested conditions, although the largest discrepancies remained concentrated in molar regions. The study therefore indicates that scanner technology may improve acquisition performance without completely overcoming geometry-related limitations.

Calibration is another essential component of scanner performance. The triangulation process relies on a precisely defined spatial relationship among the projector, cameras, and scanning platform. Inaccurate or outdated calibration may affect point localization and the alignment of consecutive views. Calibration should therefore be verified before differences are attributed to the impression material, geometry, or operator.

4.4. Positioning of the Impression During Scanning

The position of the impression within the scanner determines its working distance, inclination, orientation relative to the projected light, and visibility to the cameras. A complete-arch impression contains regions positioned at different distances from the optical system; therefore, a single initial orientation may not provide equally favorable acquisition conditions for all areas.

García-Martínez et al. (2021) reported improved trueness with a scannable impression material in preparation margins and axial walls, particularly in regions where the scanner light was not obstructed. This observation highlights the importance of optical access and indicates that positioning is not merely a mechanical step for securing the impression but an active component of the acquisition strategy. (Figs. 3, 4).

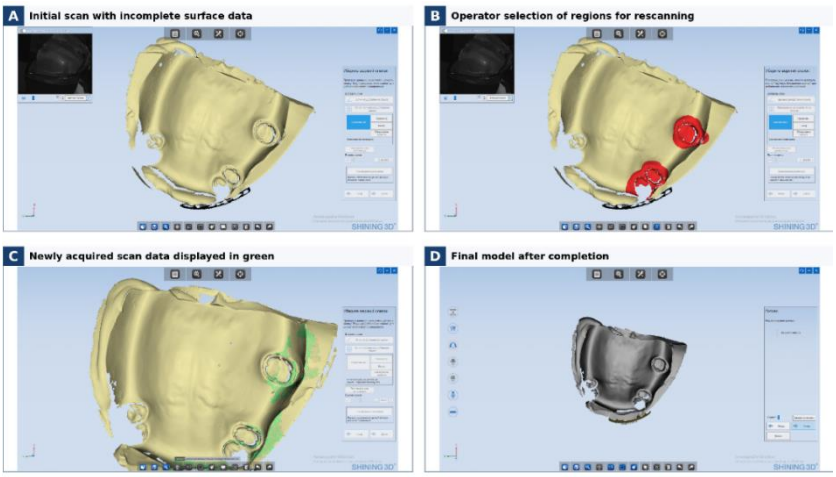


Figure 3. Representative sequence demonstrating correction of incomplete surface acquisition by targeted rescanning.

The rescanning procedure illustrates that many acquisition defects can be corrected without repeating the impression when the missing area becomes optically accessible.

Illustrative Laboratory Observations

Representative photographs obtained during routine laboratory procedures illustrate different spatial positions of an impression relative to the scanner cameras and projected light. The images demonstrate variations in inclination, working distance, and orientation of the negative tooth forms. They also show that the central, posterior, and peripheral areas of a complete-arch impression cannot always be positioned at the same distance from the optical system.

The accompanying software screenshots demonstrate incomplete acquisition after the initial automated scan and the gradual addition of data through manually guided rescanning. Areas that were initially absent from the digital reconstruction became more accessible after changing the position or orientation of the impression. (Fig. 4).

Figure 4. Sequential optimization of impression positioning during extraoral scanning.

Optimization of impression positioning improved scan completeness but did not eliminate acquisition defects, which remained most evident in narrow premolar preparations (Fig. 5).

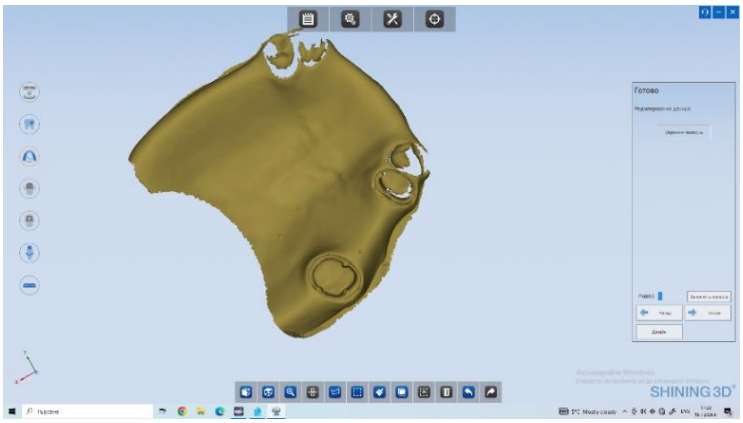


Figure 5. Residual incomplete surface acquisition in premolar preparations despite optimized impression positioning.

4.5. Operator-Dependent Factors

The operator influences every stage of the acquisition procedure, beginning with initial positioning and continuing through data inspection, additional scanning, trimming, alignment, and final acceptance of the digital model. An unfavorable initial orientation may increase optical shadowing, whereas deliberate positioning of critical negative structures toward the cameras may reduce the extent of missing data.

Kim et al. (2015) identified insufficiently scanned data and incorrect scanner positioning among the common errors affecting digital impressions obtained with an LED blue-light CAD/CAM system.

Although their study concerned an in-office scanning system, the findings are relevant to the broader principle that acquisition quality depends substantially on operator technique and not only on scanner specifications.

After the initial scan, the operator must inspect the digital model and determine whether the missing regions are peripheral or clinically critical. Corrective rescanning may require changing the impression inclination, rotating the object, or adding targeted views. The newly acquired data must contain sufficient overlap with the existing surface to permit reliable alignment.

The addition of multiple views should not be regarded as automatically beneficial. Poorly oriented or insufficiently overlapping acquisitions may introduce noise, duplicated surfaces, or unstable registration. The operator must therefore balance the need for additional data against the risk of complicating the existing digital reconstruction.

Trimming also requires careful judgment. Excess impression material or peripheral tray areas may be removed from the working dataset, but trimming should not eliminate anatomy required for model orientation, occlusal analysis, or restoration design. In the same way, a clinically critical defect should not be concealed by merely deleting the affected region.

Before exporting the STL file, the operator should verify the preparation margins, axial walls, occlusal anatomy, interdental spaces, and other functional surfaces. When a critical area has not been directly acquired, repositioning and rescanning—or, when necessary, repeating the impression—may be more appropriate than accepting software-generated geometry.

4.6. Software-Related Factors

The scanner software transforms individual optical images into a unified three-dimensional surface through registration, stitching, surfacing, and mesh generation. Consecutive views are aligned by identifying common geometric features and overlapping areas. The quality of this process depends on the amount, distribution, and reliability of the shared surface information.

Rudolph et al. (2007) emphasized that dental CAD/CAM accuracy is influenced not only by digitization but also by subsequent surfacing procedures and the geometry of the scanned object. Their work demonstrates that data processing should be considered an integral part of the acquisition chain rather than a neutral step following optical capture.

Stitching errors may arise when consecutive scans have insufficient overlap, when the surface contains repetitive morphology, or when the acquired data include excessive noise. These errors may appear as local deformation, duplicated surfaces, discontinuities, or incorrect alignment between separate views.

When optical data are absent, the software may leave an open hole or attempt to create a continuous surface through interpolation, automatic hole filling, smoothing, or mesh repair. Such procedures can improve the visual appearance and technical usability of the STL model, but they do not necessarily reproduce the true geometry recorded in the impression.

This distinction is particularly important in critical areas. A mathematically interpolated peripheral tray surface may be irrelevant, whereas interpolation along a preparation margin or axial wall may affect restoration design. Software-generated surface continuity should therefore not be interpreted automatically as evidence of complete optical acquisition.

Automated correction may also conceal the original extent of the defect. For this reason, scan completeness should preferably be evaluated before extensive smoothing and mesh repair. Ideally, scanner software should distinguish between directly acquired data, newly added rescanning data, and computationally generated geometry.

4.7. Interaction Between Contributing Factors

The contributing factors described above rarely act independently. A material with less favorable optical behavior may still be scanned adequately when the geometry is simple and the surface is positioned close to the effective acquisition region. Conversely, even a material specifically designed for optical scanning may demonstrate localized missing data when the preparation is deep, the surface angle is unfavorable, and camera visibility is restricted.

The highest risk of incomplete acquisition is likely to occur when several unfavorable conditions coexist, such as a translucent or glossy impression material, deep negative geometry, excessive distance, optical

shadowing, limited camera access, and insufficiently directed rescanning. Operator decisions and software processing may either reduce the defect or create a visually acceptable model that continues to contain unreliable geometry.

Incomplete surface acquisition should therefore be regarded as the outcome of an interconnected system involving the impression material, geometry, scanner, positioning, operator, and software. This multifactorial interpretation provides the basis for developing practical quality-control procedures and standardized acceptance criteria for direct extraoral impression digitization. (Table 1).

The representative laboratory observations presented in this review support this multifactorial concept. Changing only the impression position improved scan completeness in many regions, whereas narrow premolar preparations still demonstrated localized acquisition defects.

Table 1. Summary of the main factors contributing to incomplete surface acquisition during direct extraoral scanning of dental impressions.

Contributing factor	Mechanism affecting scan completeness	Typical manifestation	Possible preventive measures
Impression material	Optical properties (color, translucency, gloss, fillers and reflectance) influence light reflection and scattering.	Missing data; incomplete reconstruction of selected regions.	Select materials with favorable optical properties; ensure a clean and dry surface.
Impression geometry	Deep preparations, steep axial walls, undercuts and narrow spaces reduce optical accessibility.	Incomplete finish lines; missing axial walls; shadowed areas.	Modify scanning angle; perform targeted rescanning.
Scanner-related factors	Camera configuration, light source, calibration, optical resolution and acquisition mode affect data capture.	Localized acquisition defects; incomplete reconstruction.	Regular calibration; appropriate acquisition settings.
Impression positioning	Working distance, inclination and orientation determine visibility of critical areas.	Optical shadowing; inaccessible surfaces.	Reposition and rotate the impression during scanning.
Operator-dependent factors	Initial positioning, rescanning strategy, trimming and final inspection influence data quality.	Undetected defects; insufficient rescanning; alignment errors.	Continuous inspection of the digital model and targeted rescanning.
Software-related factors	Registration, stitching, interpolation and mesh repair may conceal missing data.	Artificially reconstructed surfaces; false geometry.	Evaluate scan completeness before hole filling or mesh smoothing.

Table 1 summarizes the principal factors that may contribute to incomplete surface acquisition during direct extraoral scanning of dental impressions, together with their mechanisms, typical manifestations, and possible preventive strategies.

5. Clinical Relevance of Incomplete Surface Acquisition

The clinical significance of incomplete surface acquisition depends not only on the size of the missing area but also on its anatomical location and functional importance. (Table 2). Small defects located outside the region of interest may have little or no influence on the final restoration. In contrast, even a

localized acquisition defect involving a preparation margin, axial wall, occlusal surface, or implant connection may compromise the subsequent digital workflow and ultimately affect the fit and function of the prosthetic restoration.

Table 2. Clinical significance of incomplete surface acquisition according to the affected anatomical region.

Anatomical region	Type of acquisition defect	Clinical impact	Can software interpolation compensate?	Recommended action
Finish line	Missing or incomplete margin	Critical	No	Mandatory rescanning
Axial wall	Partial surface loss	High	Limited	Targeted rescanning
Occlusal anatomy	Missing cusps or fossae	Moderate–High	Limited	Rescan if functional areas are affected
Implant scan body	Incomplete geometry	Critical	No	Mandatory rescanning
Peripheral tray area	Missing peripheral surface	Low	Usually acceptable	No rescanning unless required

5.1. Missing Preparation Margin (Finish Line)

The preparation margin represents the most critical reference for the design of fixed prosthetic restorations. If the finish line is incompletely captured or reconstructed through software interpolation rather than direct optical acquisition, the virtual margin may be positioned incorrectly. This may result in marginal discrepancies, overextended or underextended restoration margins, inadequate cement space, and reduced marginal adaptation. Since the finish line determines the boundary of the definitive restoration, even a small localized acquisition defect may have greater clinical consequences than a larger defect located elsewhere.

5.2. Missing Axial Wall

Incomplete acquisition of axial walls may influence the calculation of the path of insertion, internal adaptation, and the geometry of the restoration. Missing or poorly reconstructed axial surfaces may alter the virtual die preparation and affect the design of the internal surface of crowns or fixed partial dentures. In addition, insufficient information from axial walls may reduce the accuracy of superimposition procedures used for quality control or digital comparison.

5.3. Missing Occlusal Anatomy

Occlusal morphology provides essential information for virtual articulation and restoration design. If cusps, fossae, or occlusal grooves are incompletely reconstructed, the resulting restoration may require extensive occlusal adjustment after fabrication. Localized defects affecting functional cusp inclines or occlusal contacts may compromise occlusal stability and increase chairside adjustment time.

5.4. Missing Implant Connection or Scan Body Geometry

In implant-supported restorations, complete acquisition of the scan body or implant connection geometry is essential for accurate implant position transfer. Missing or distorted surface information may influence the calculated implant axis, depth, and rotational orientation, potentially resulting in framework misfit or inaccuracies in the definitive prosthesis. Although implant scan bodies are generally designed to facilitate optical acquisition, incomplete surface registration remains a potential source of digital error whenever critical reference surfaces are not fully reconstructed.

5.5. Clinical Decision-Making

Not every acquisition defect requires repetition of the scanning procedure. The decision should depend primarily on the clinical relevance of the affected region rather than on the overall appearance of the

digital model. Missing data located on peripheral tray areas or other non-functional regions may not influence the final restoration. Conversely, any defect involving preparation margins, axial walls, occlusal anatomy, implant-related structures, or other critical reference surfaces should prompt additional scanning or, when necessary, a new impression.

From a clinical perspective, scan completeness should therefore be considered together with conventional measures of trueness and precision. A digital model with excellent overall dimensional accuracy may still be unsuitable for CAD/CAM fabrication if clinically important regions have not been directly acquired. Consequently, evaluation of scan completeness should become an integral part of quality control before STL export and restoration design.

6. Practical Recommendations for Clinicians and Dental Technicians

Incomplete surface acquisition can often be reduced by applying a structured quality-control protocol before, during, and after scanning. The objective is not merely to obtain a visually complete digital model, but to ensure that all clinically relevant surfaces have been directly and reliably acquired. (Fig. 6).

6.1. Before Scanning

The impression should first be inspected under adequate lighting. Areas with tears, bubbles, folds, incomplete reproduction of the preparation margin, or separation between impression viscosities should be identified before digitization. Defects already present in the impression cannot be corrected by the scanner and may be concealed after mesh repair.

The surface should be clean and dry. Saliva, disinfectant residues, water droplets, dust, or detached material may alter light reflection and create noise or localized acquisition defects. Excess material that blocks access to relevant structures may be carefully trimmed, provided that clinically important anatomy is preserved.

Scanner calibration and optical cleanliness should also be verified. The impression should then be secured in a stable holder and positioned so that preparation margins, deep cavities, and other critical structures are directed toward the cameras and projected light.

6.2. During Scanning

The initial position should provide the shortest practical working distance without placing the impression outside the scanner's effective acquisition region. Deep negative structures should be oriented to maximize direct optical access and minimize shadowing from the tray, adjacent tooth forms, or steep impression walls. DeLong et al. showed that increasing surface angulation can reduce scanning performance, while García-Martínez et al. emphasized the importance of unobstructed scanner light around preparation margins and axial walls. **(DeLong et al., 2001; García-Martínez et al., 2021).**

The operator should observe the digital reconstruction throughout the acquisition process rather than waiting until the scan is complete. Missing surfaces, open holes, unstable edges, or areas repeatedly rejected by the software should be identified immediately. Particular attention should be paid to narrow premolar preparations, where incomplete surface acquisition appears more frequently even after rescanning.

When additional acquisition is required, the impression should be rotated or tilted so that the missing area becomes visible from a different angle. New views should overlap sufficiently with previously acquired surfaces to support reliable alignment. The number of additional scans should be limited to those necessary for completing critical regions, because excessive or poorly oriented views may introduce noise or stitching errors.

Kim et al. identified incorrect scanner positioning and insufficiently acquired data among common operator-related errors in digital scanning, supporting the need for active inspection and controlled rescanning during the procedure. **(Kim et al., 2015).**

6.3. After Scanning

Before STL export, the entire digital mesh should be evaluated systematically. Particular attention should be paid to:

- preparation margins;
- axial walls;

- occlusal contacts and functional cusps;
- interdental areas;
- implant scan bodies or connection geometry;
- regions that required repeated rescanning.

The operator should distinguish between directly acquired surfaces and areas completed through software interpolation or automatic hole filling. A visually smooth surface is not necessarily an anatomically reliable surface. Interpolation may be acceptable in peripheral non-functional regions, but it should not be used to replace missing data at a finish line, axial wall, occlusal contact, or implant reference surface.

When a critical defect remains, targeted rescanning should be performed. If the region cannot be reliably acquired after repositioning, the digital model should be rejected and the impression reassessed. In some situations, repeating the impression may be safer than continuing with an incomplete or artificially reconstructed dataset.

Rudolph et al. emphasized that digitization and subsequent surfacing both contribute to CAD/CAM accuracy, which means that final mesh inspection should be considered part of the acquisition procedure rather than a separate software step. **(Rudolph et al., 2007).**

Proposed Practical Algorithm

The final acceptance decision should be based on the **clinical importance of the missing area**, not only on the overall visual appearance of the digital model.

The proposed practical algorithm summarizes the principal quality-control steps before, during, and after extraoral scanning of dental impressions. Dataset acceptance should be based on the direct acquisition of all clinically critical surfaces rather than solely on the apparent continuity of the reconstructed mesh.

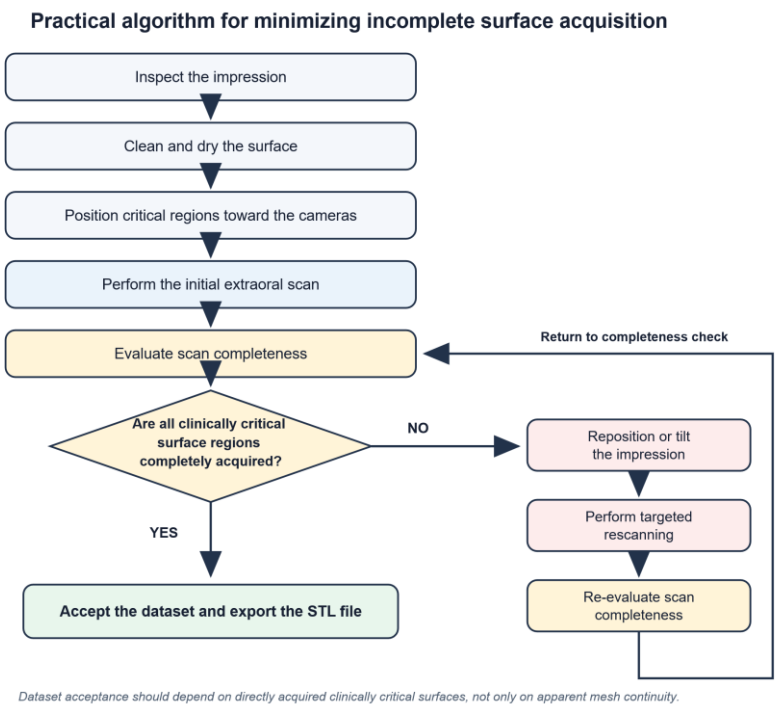


Figure 6. Proposed practical algorithm for minimizing incomplete surface acquisition during direct extraoral scanning of dental impressions.

The proposed algorithm integrates the principal factors affecting scan completeness into a practical workflow for routine laboratory application.

7. Future Perspectives

Future developments in extraoral impression scanning are expected to focus on improving not only scanning accuracy but also the completeness and reliability of surface acquisition. Artificial intelligence may support automatic defect detection, real-time identification of incompletely scanned regions, and guidance for targeted rescanning. Future software could automatically recognize clinically critical areas, such as preparation margins, axial walls, and implant reference surfaces, and alert the operator when additional acquisition is required.

Another promising direction is the development of standardized quality-control tools, including a **scan completeness score** based on the extent of directly acquired surface data, the presence and location of missing areas, and the amount of interpolated geometry. The development of new impression materials with optical properties specifically optimized for laboratory scanning may also improve acquisition completeness. Park et al. (2026) demonstrated that the digitization of elastomeric impression materials with a blue-light laboratory scanner was influenced by material color and spectral reflection properties; one of the tested materials could not be successfully reconstructed. These findings suggest that compatibility with optical scanning systems should be considered in the future development and evaluation of impression materials.

Future research should investigate the combined influence of impression material, geometry, scanner technology, positioning, operator technique, and software processing under standardized conditions. Establishing objective criteria for scan completeness may contribute to more reliable digital workflows and improved quality control in CAD/CAM prosthodontics.

8. Conclusions

Incomplete surface acquisition during extraoral scanning of dental impressions is a multifactorial phenomenon influenced by the optical properties of the impression material, the geometry of the recorded structures, scanner technology, spatial positioning, operator technique, and software processing. Although direct impression digitization can provide clinically acceptable results, localized missing data may remain undetected when evaluation is based only on overall trueness or precision. Particular attention should therefore be paid to preparation margins, axial walls, occlusal anatomy, and implant reference surfaces, where even small acquisition defects may compromise restoration design and fit.

Reliable scanning requires systematic inspection of the impression before digitization, appropriate positioning within the scanner, real-time identification of missing areas, and targeted rescanning when clinically critical regions are incomplete. Software interpolation and mesh repair may improve visual continuity but should not replace directly acquired data in functionally important areas. Future developments should focus on automated defect detection, standardized quality-control criteria, objective assessment of scan completeness, and impression materials optimized for optical digitization. Scan completeness may serve as a complementary quality parameter alongside trueness and precision when evaluating extraoral impression scans.

Funding: This work was supported by Medical University of Plovdiv, Bulgaria, Grant No. NO-27/2025.

References

1. DeLong, R., Pintado, M. R., Ko, C. C., Hodges, J. S., & Douglas, W. H. (2001). Factors influencing optical 3D scanning of vinyl polysiloxane impression materials. Journal of Prosthodontics, 10(2), 78–85. doi: 10.1111/j.1532-849X.2001.00078.x
2. Jeon, J.-H., Lee, K.-T., Kim, H.-Y., Kim, J.-H., & Kim, W.-C. (2013). White light scanner-based repeatability of 3-dimensional digitizing of silicon rubber abutment teeth impressions. Journal of Advanced Prosthodontics, 5(4), 452–456. doi: 10.4047/jap.2013.5.4.452
3. Persson, A. S. K., Andersson, M., Odén, A., & Sandborgh-Englund, G. (2009). Digitization of simulated clinical dental impressions: Virtual three-dimensional analysis of exactness. Dental Materials, 25(7), 929–936. doi: 10.1016/j.dental.2009.01.100
4. Persson, A., Andersson, M., Oden, A., Sandborgh-Englund, G., & Persson, M. (2006). A three-dimensional evaluation of a laser scanner and a touch-probe scanner. *Journal of Prosthetic Dentistry*, *95*(3), 194–200.

5. Rudolph, H., Graf, M. R. S., Kuhn, K., Rupf-Köhler, S., Eirich, A., Edelmann, C., Quaas, S., & Luthardt, R. G. (2015). Performance of dental impression materials: Benchmarking of materials and techniques by three-dimensional analysis. Dental Materials Journal, 34(5), 572–584.
6. Rudolph, H., Luthardt, R. G., & Walter, M. H. (2007). Computer-aided analysis of the influence of digitizing and surfacing on the accuracy in dental CAD/CAM technology. Computers in Biology and Medicine, 37(5), 579–587.
7. Luthardt, R. G., Kühmstedt, P., Walter, M. H., & Rudolph, H. (2006). Qualitative computer aided evaluation of dental impressions in vivo. *Dental Materials*, *22*(1), 69–76.
8. Park, J., Kihara, T., Ikawa, T., Shigeta, Y., Ito, M., Shigemoto, S., & Ogawa, T. (2026). Accuracy of digitizing elastomeric impression materials using a dental laboratory scanner. Journal of Prosthodontic Research, 70(1), 151–158. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_24_00146
9. García-Martínez, I., Cáceres-Monllor, D., Solaberrieta, E., Ferreiroa, A., & Pradíes, G. (2021). Accuracy of digitization obtained from scannable and nonscannable elastomeric impression materials. Journal of Prosthetic Dentistry, 125(2), 300–306. doi: 10.1016/j.prosdent.2020.01.002
10. Rodriguez, J. M., & Bartlett, D. W. (2011). The dimensional stability of impression materials and its effect on in vitro tooth wear studies. Dental Materials, 27(3), 253–258.
11. Rodriguez, J. M., Curtis, R. V., & Bartlett, D. W. (2009). Surface roughness of impression materials and dental stones scanned by non-contacting laser profilometry. Dental Materials, 25(4), 500–505. doi: 10.1016/j.dental.2008.10.003
12. Kim, Jae-Hong, et al. "Quantitative evaluation of common errors in digital impression obtained by using an LED blue light in-office CAD/CAM system." *Quintessence international* 46.5 (2015)
13. Runkel, Cornelius, et al. "Digital impressions in dentistry—accuracy of impression digitalisation by desktop scanners." *Clinical oral investigations* 24.3 (2020): 1249-1257.
14. Sampaio-Fernandes, M. A. F., Pinto, R., Sampaio-Fernandes, M. M., Sampaio-Fernandes, J. C., Marques, D., & Figueiral, M. H. (2024). Accuracy of silicone impressions and stone models using two laboratory scanners: A 3D evaluation. International Journal of Prosthodontics, 37(1), 109. doi: 10.11607/ijp.8074
15. Logozzo, Silvia, et al. "A comparative analysis of intraoral 3D digital scanners for restorative dentistry." *Internet Journal of Medical Technology* 5 (2011): 0-0.

FACE-GUIDE DIGITAL DIAGNOSTIC WAX-UP FOR INDIVIDUALIZED AESTHETIC PROSTETIC REHABILITATION

Dr. Mariya Hristozova
Medical University-Plovdiv, Faculty of Dental medicine, Prosthetic Dentistry Department, Plovdiv Bulgaria
ORCİD: ID/0000-0001-9705-9604

Dr. Diyana Zhelyazkova
Medical University-Plovdiv, Bulgaria Faculty of Dental medicine, Prosthetic Dentistry Department, Plovdiv Bulgaria
ORCİD: ID/0009-0002-2728-4907

Assoc. Prof. Dr. Dobromira Shopova, PhD
Medical University-Plovdiv, Bulgaria, Faculty of Dental medicine, Prosthetic Dentistry Department, Plovdiv Bulgaria
ORCİD: ID/ 0000-0003-1287-930X

ABSTRACT

Face-guided digital diagnostic wax-up is an innovative approach for personalized planning of aesthetic rehabilitations in restorative dentistry. The design of the proposed smile is generated virtually utilizing 3D dedicated dental or open-source CAD software. Personalized treatment plan is designed in accordance with the unique patient's face anatomy and proportions, soft-tissue references and smile dynamics by incorporating facial scans and intraoral scans and creating a 3D virtual patient. The aesthetic outcome is visualized and assessed before any invasive procedures on the dentition are undertaken. This article represents a protocol for face-guided digital diagnostic wax-up created with dedicated dental CAD software – Dental Designer Studio (3 Shape Denmark).

INTRODUCTION

Comprehensive esthetic rehabilitation in dental treatment requires an organized and systematic approach to facial analysis for the assessment, diagnosis, and resolution of esthetic concerns. As physical attractiveness plays an important role in social and professional life, an attractive smile is essential for self-confidence and social interaction (Beall, 2007) (Klages et al, 2004) (Davis, 2007) (Venete et al, 2017) (Zotti et all, 2023). Aesthetic prosthetic interventions in the visible anterior dentition have a tremendous emotional significance for the patient.

The design of aesthetic restorations is guided by objective scientific principles and artistic concepts to create a balanced smile (McLaren & Cao, 2009) (Bhuvaneswaran, 2010) (Alrizqi et al, 2015) (Davis, 2007) (Garber & Salama, 1996) (Sheth, 2017). The goal is a harmonious integration of the complex of beautiful teeth and healthy periodontium into the dynamic facially expressive region (Ралев, 1993) (Hue, 2008).

Digital diagnostic wax-up is an alternative to the analog wax-up, that is well established technique in aesthetic dental treatment (Elias-Ortiz et al, 2026). The planning in virtual environment saves time and manual labor. It provides accurate transfer of the virtual design to both provisional and definitive restorations (Hassan et al, 2017a) (Hassan et al, 2017b) (Piedra-Cascón et al, 2019b) (Sancho-Puchades et al, 2015).

A face-driven digital diagnostic wax-up is a virtual treatment-planning procedure that integrates intraoral and 3D facial scans to create a virtual patient using dental or open-source CAD software (Joda & Galluci, 2015) (Piedra-Cascón et al, 2019a) (Park et al, 2019) (Hassan et al, 2017a) (Hassan et al, 2017b) (Macris et al, 2025).

Face-driven digital diagnostic wax-up provides opportunities for comprehensive facial analysis, precise treatment planning and individualized smile design. 3D digital design facilitates the assessment of existing anatomical and functional limitations, integrating the patient's esthetic expectations into the

planning process. 3D visualization of the anticipated treatment outcome enhances patient–clinician communication, assists informed decision making, contributes to more predictable esthetic rehabilitation. (Alharkan, 2024) (Chitlange et al, 2023) (Farzana et al, 2024) (Yue et al, 2025) (Bodkhe et al, 2026).

RESEARCH AND FINDINGS

Digital analysis and integration of all anatomical structures of the facial soft-tissue framework of the smile with the digital diagnostic wax-up require the digitization of both the dentition and the facial references.

Facial scanners are used for the digitization of the patient's face. One possible device of choice is the Face Camera by Bellus3D (Bellus3D), connected to a Huawei MediaPad M3 BTV-W09 tablet (Huawei) (Fig. 1).

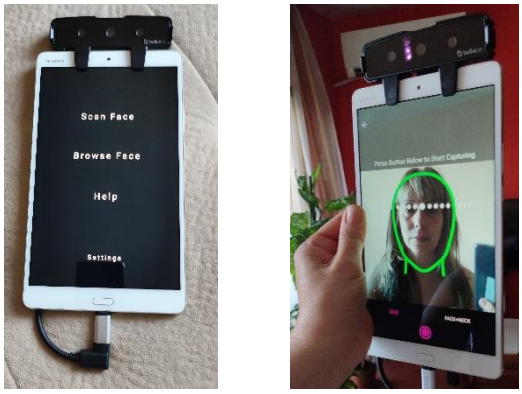


Fig. 1. Face Camera Bellus3D (Bellus3D), connected to a Huawei MediaPad M3 BTV-W09 **table**t.

The Face Camera Bellus3D digitizer consists of two laser projectors that emit structured infrared light and three sensors: two infrared sensors positioned in the lateral sections of the device and one color sensor located centrally. The image acquisition technology is single-shot, non-contact, and based on stereophotogrammetry, with an exposure time of approximately 17 seconds.

Image acquisition is performed under artificial lighting and in standard dental office conditions, with the portable device freely handheld at an arm's length distance (approximately 35–40 cm) from the patient's face. It is recommended that facial scanning be performed with the patient displaying a maximum smile and using a lip retractor (Fig. 2).

Fig.2. Facial scan of a patient with a maximally expressed smile and with a retracted smile.

The facial camera software enables 3D facial scans to be exported in .OBJ, .STL, and .PLY formats. For the purposes of digital diagnostic wax-up in Dental Designer Studio (3Shape, Denmark), the .PLY format is used. The .STL format encode only the surface geometry of the three-dimensional object, while the .OBJ and .PLY formats carry additional information regarding color and texture and are among the most commonly used file formats generated by facial scanners (Влахова & Златев, 2021) (Joda & Gallucci 2015) (Piedra-Cascón et al, 2019)

Digitization of the dentition can be achieved either through intraoral scanning or through laboratory scanning of diagnostic gypsum casts poured from conventionally taken impressions (preferably two-layer, two-step silicone impressions). For the laboratory scanning, the maxillary and mandibular casts must be scanned in their correct occlusal relationship. This requires intraoral recording of the occlusion using silicone bite registration keys.

The protocol for creating a 3D simulation image – virtual patient in Dental Designer Studio (3Shape, Denmark) begins with the creation of an order for digital diagnostic wax-up. The patient's name is entered, and if any clinical photographs taken, can be added in the "Clinical Photos" section (Fig.3 a). The teeth that should be digitally modified are selected, and the type of object to be used is specified, if it will be an intraoral scan – "Digital Impression" or a gypsum cast for scanning – "Model" (Fig. 3b). The software also requires specification of the type of the opposing arch, indicating whether it is a digital impression or a gypsum cast (Fig. 3 b). If working with a scanned gypsum cast, the "Unsectioned" option is selected from the drop-down menu in the "Neighborhood Scan" section in order to avoid the scanning of removable dies from the software workflow. In the "Anatomy" section (Fig.3 c), the type of prosthetic simulation is selected "Temporary on Prepared Model".

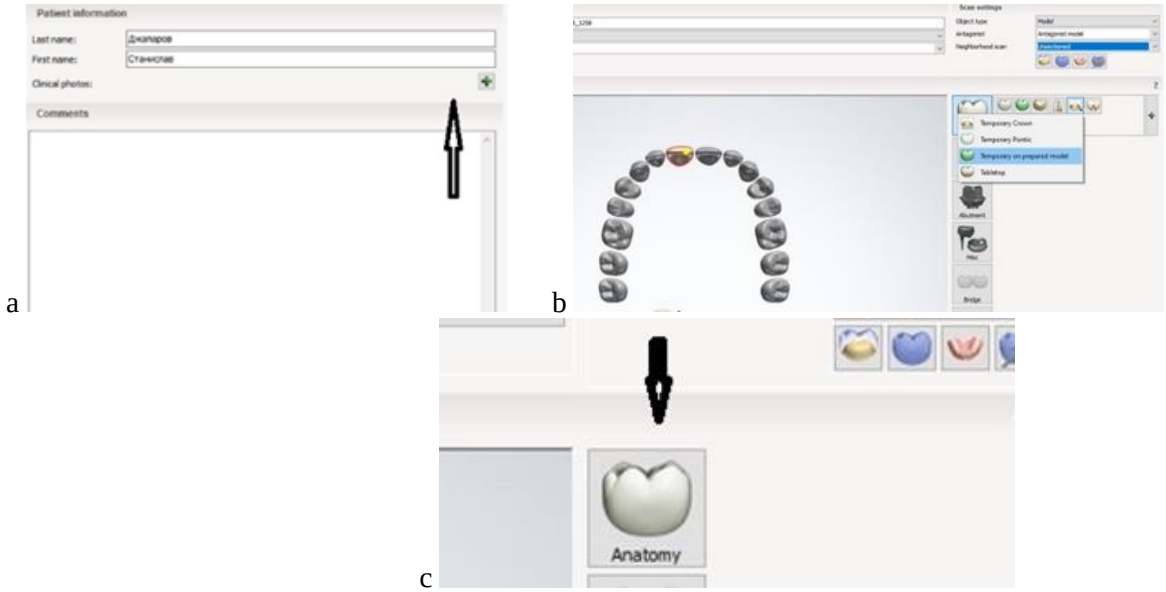


Fig.3. Patient data entry: (a) patient name, additional photographs, and notes; (b) selection of the tooth for digital wax-up, specification of the object to be used, and selection of the type of prosthetic procedure; (c) the "Anatomy" section and the icon for importing additional scans in .PLY or .STL format.

This function allows the existing teeth undergoing digital diagnostic modification, to be preserved, while the virtual representation of the new crown is superimposed onto it (Fig.4).

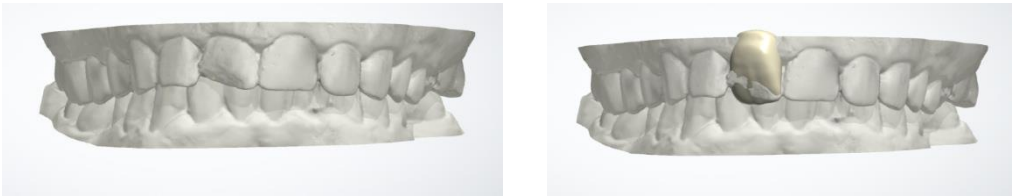


Fig. 4. 3D digital model of the dentition with new crown image superimposed on the tooth chosen for wax-up.

In cases of severely dislocated teeth, whose position is rather incompatible with the new one in the digital wax-up, the tool of choice is a "Temporary pontic", which will be followed by digital extraction of the indicated teeth in an inappropriate position (Fig. 5).

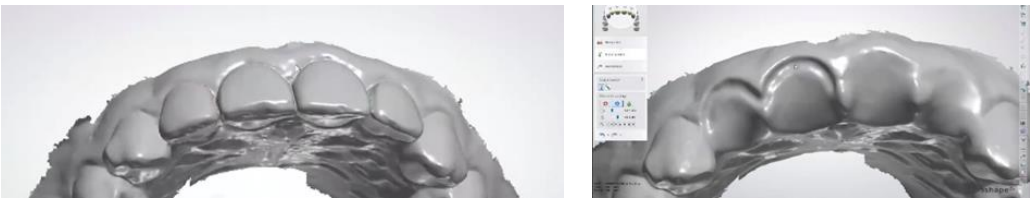


Fig. 5. Digital extraction in Dental Designer Studio.

In cases of working with intraoral scan of the working and antagonist side, the creation of a model from the "Model builder section" can be specified when placing the order. The third option from the menu is indicated – "Unsectioned model". This is followed by mandatory confirmation of the order and its saving.

Next step of the workflow is scanning of the working casts or entering the intraoral scans in .STL format. After the laboratory scanning or uploading of the intraoral scans is complete, the available information is managed by the design software – Dental Designer Studio.

An important step in the digital workflow is the proper alignment of the virtual occlusal plane with the digital model of the maxillary arch. The working toolbar, located on the left side of the screen, includes the „Occlusal Alignment", „Sculpt Upper Jaw", and „Sculpt Lower Jaw sections" (Fig. 6). Each sculpting section is accompanied by "Wax Knife" tool.

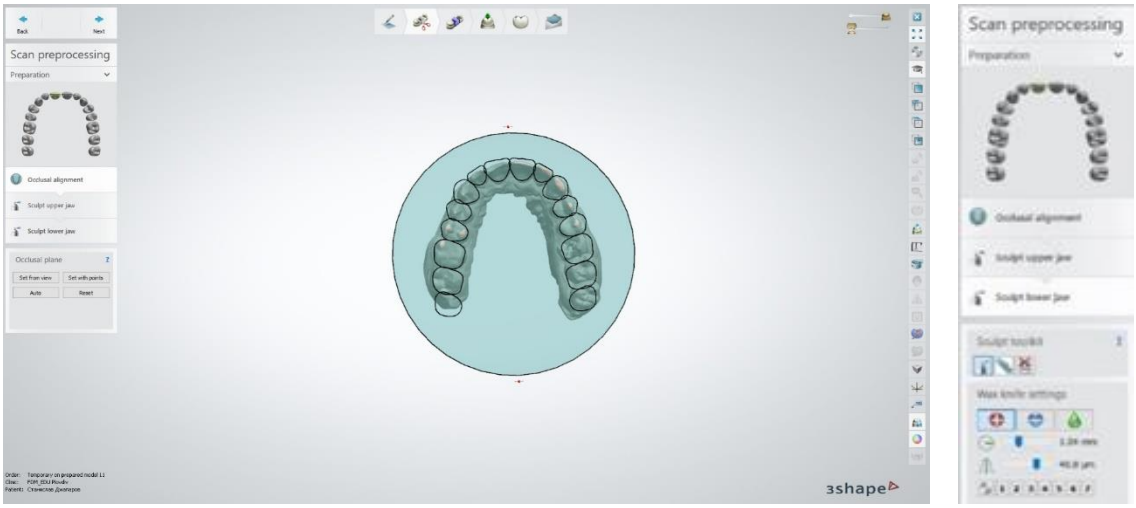


Fig. 6. Occlusal alignment in the "Occlusal Alignment" section and the toolbar with available tools.

The digital wax knife enables virtual modification of the digital model by performing various adjustments as removing positive artifacts (Fig. 7), removing hard dental tissues through subtractive modeling (Fig. 8), and virtually extending the clinical crown by removing a portion of the gingival tissue.

Fig. 7. Digital removal of positive artifacts on tooth 32.

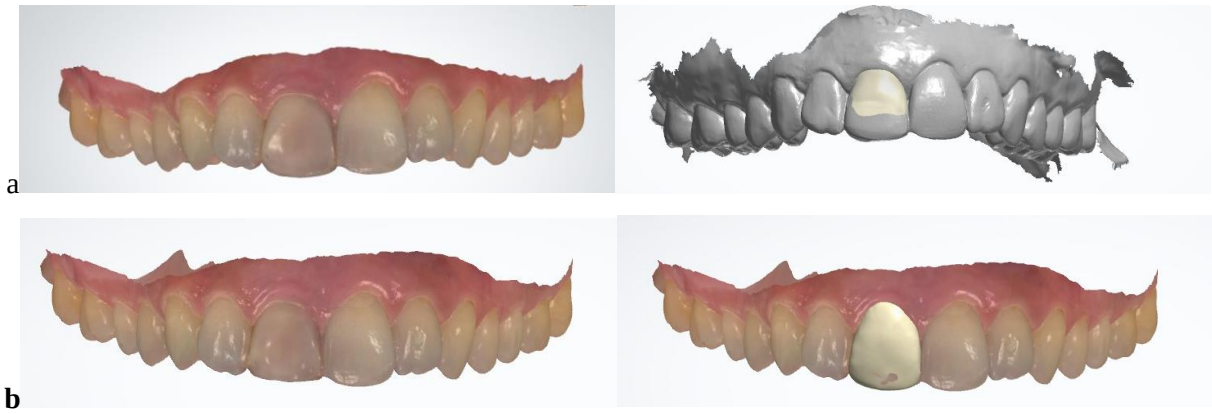


Fig. 8. Digital subtractive waxing: a) tooth 11 before digital crown lengthening with hard dental tissue prominent through digital diagnostic waxing; b) after digital removal of the gingiva and over-contoured vestibular surface of toothv11.

Subtractive modeling is generally performed during the modeling stage. To carry out this procedure, it is necessary to return from the toolbar at the top of the screen to the Pre-processing stage of the scan (Fig.9).

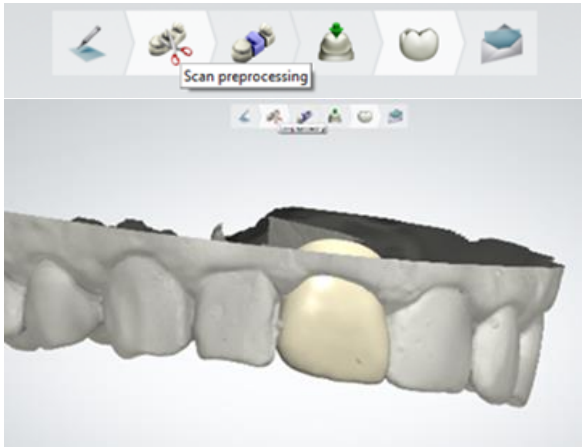


Fig.9. Switch from "Anatomy design" stage to "Scan preprocessing" for virtual cutting.

The "Segmentation" and "Insertion Direction" stages follow, as shown in Fig. 10. They are not particularly important in the digital diagnostic wax-up and only need to be completed by clicking the "Next" button in the upper-left corner of the screen.

Fig.10. Digital diagnostic wax-up protocol steps – "Segmentation" and "Insertion direction".

This concludes the preparation of the digital models, and the "Anatomical Design" stage is then initiated, as indicated by the corresponding icon in the toolbar at the top of the screen (Fig. 11).

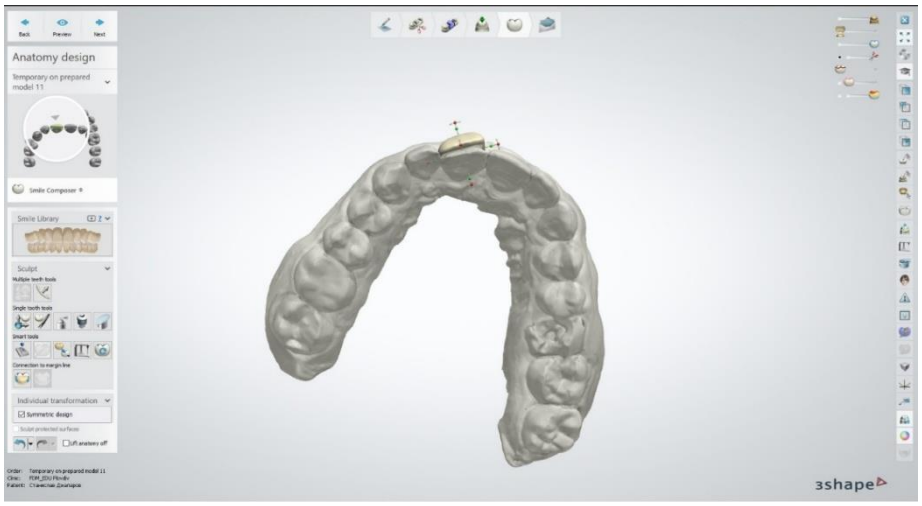


Fig. 11. The interface of Dental Designer Studio – "Anatomical Design" stage.

The software, incorporating artificial intelligence (AI) automatically proposes a crown design with characteristics closely corresponding to those of the teeth selected for digital waxing. The operator can himself manually select an appropriate design from the available templates in the software library (Fig. 12).

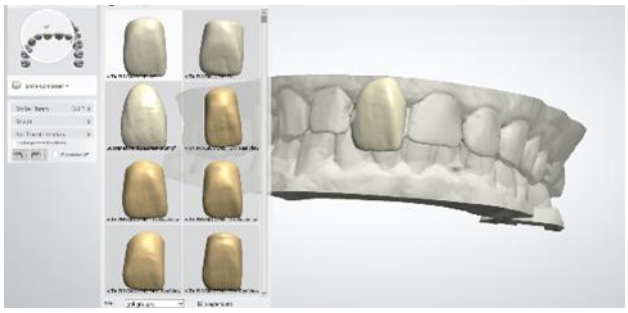


Fig.12. Template selection from the integrated library.

The next step involves the use of appropriate tools and the simulation of the prosthetic correction. In cases where modification of the occlusal plane is not required, only the vestibular surface of the selected teeth is modified.

To harmonize the dentogingival architecture with patient's individual facial references, facial scans must be imported and the diagnostic wax-up digitally aligned with them. It is recommended to be done before any subtractive corrections of the initial digitized models, for more accurate comparison and merging of their images with the facial scans.

Facial scans (.PLY format) with a maximum smile and with retracted dentition are imported as additional scans into the diagnostic wax-up order created in Dental Designer Studio (3Shape, Denmark), Fig. 13.

a b

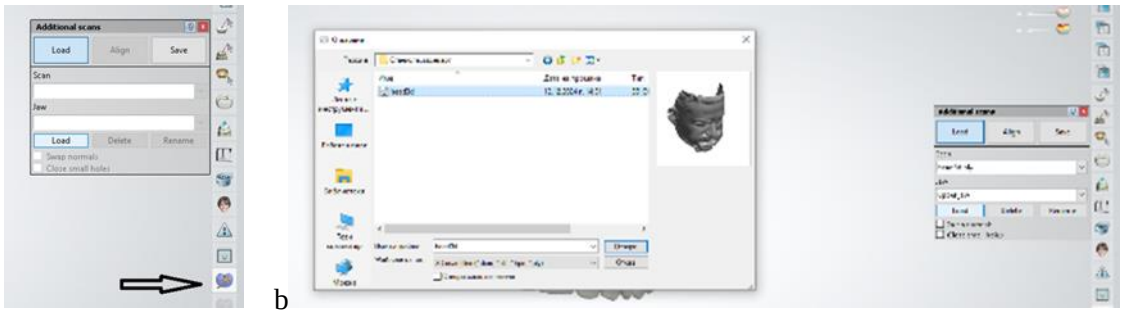


Fig. 13. Importing additional scans into Dental Designer Studio: a) icon for importing scans and drop-down menu with available tools; b) selection of the folder containing the additional scan files.

To merge the different image datasets into one coordinate system, three-point alignment and the "Move" function are used. The protocol involves aligning the two facial scans to one another. For the three-point alignment, the pupils of both eyes were used as fixed reference points. The third reference point is selected in the upper facial third, due to soft tissue deformations from the retractors. According to Hassan et al (2017a), in elderly patients, with deep facial wrinkles, the forehead area deforms too when smiling and compromise accurate alignment (Fig. 14).

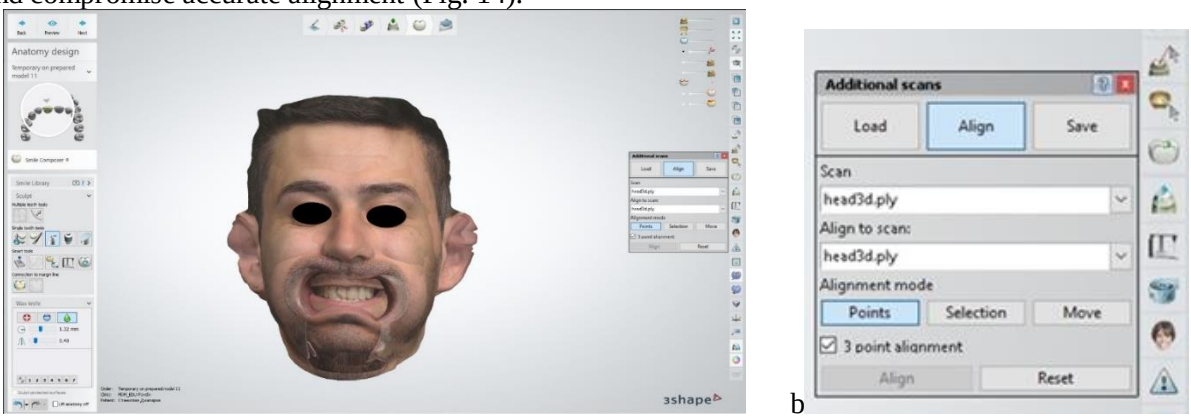


Fig. 14. Merging facial scans with maximum smile and retracted smile and their alignment in one coordinate system using three-point alignment: a) three-point alignment; b) tools for merging image datasets in different formats in Dental Designer Studio: "Points"- marked in blue.

Both facial scans should be independently aligned with the digital dentition (.STL files). For the alignment, reference points from the dentition visible on the facial scans are used (Fig. 15). Using the sliders on the icons of each image, located in the upper-right corner of the screen, the transparency of each image can be progressively reduced until it completely disappears (Fig. 15). This function is indispensable for verifying the accuracy of the image merging.

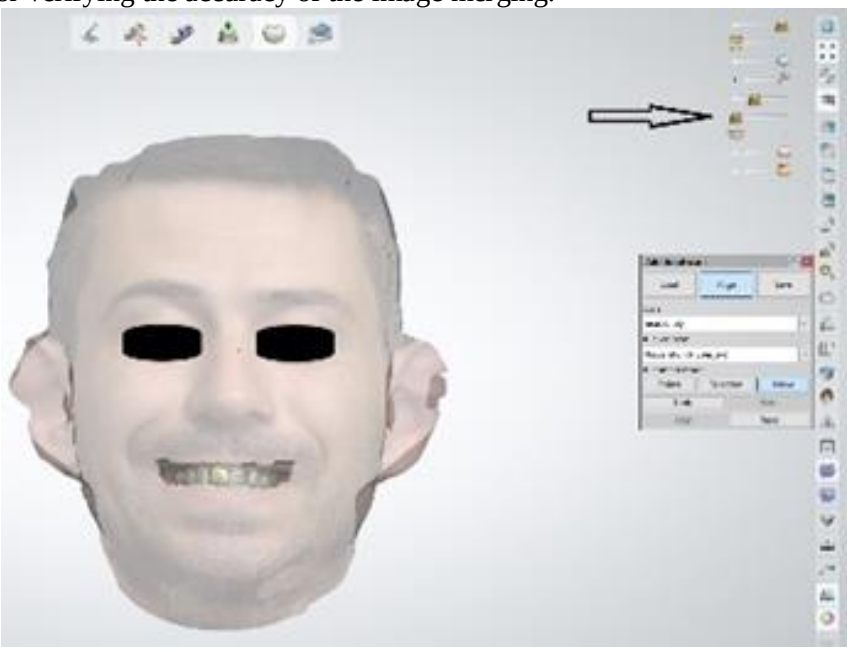


Fig.15. Virtual three-dimensional craniofacial simulation model – 3D virtual patient. Anatomically accurate merging of images in different formats: facial scan (semi-transparent layer) and scanned dentition, arrow indicating the transparency sliders for the respective image datasets.

For anatomically correct superposition of the images in three dimensions and all viewing angles, the "Move" tool is used (Fig. 16). Activating the "Move" tool allows the head of the digital avatar to move

and rotate three-dimensionally relative to the digitized dentition. These movements are facilitated by three red circles located in 3 mutually perpendicular planes.

Fig.16. Merged facial scan and dentition, red sphere in the horizontal plane of the three-dimensional simulation, correct anatomical positioning of the two superimposed scans, "Move" tool marked in blue.

The next step involves the digital designing of the teeth specified for prosthetic modification (Fig. 17). The procedure is performed using the tools available in Dental Designer Studio.

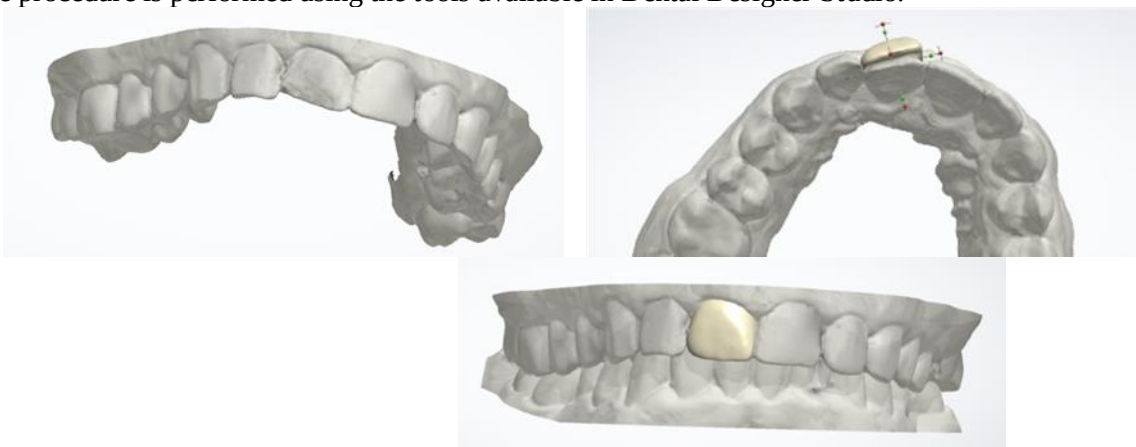


Fig. 17. Digital wax-up.

"Mirror Image" tool is an efficient instrument. It enables the transfer of an anatomical morphology from one tooth to another. This function can be particularly useful in the digital designing of contralateral teeth of the same type, allowing the anatomical characteristics of one tooth to be reproduced accurately on its counterpart (Fig. 18).

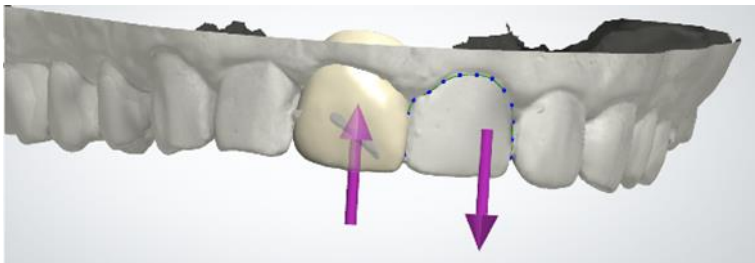


Fig. 18. Digital wax-up – reproducing the anatomical morphology of tooth 12 on its counterpart 11 using the "Mirror" tool.

It's worth noticing that in complex or asymmetrical aesthetic cases manual design refinements are indispensable (Bodkhe et al., 2026) (Buduru et al., 2024) (Kaushik et al., 2025).
The created avatar allows the diagnostic wax-up to be designed according the patient's facial framework and to be observed and evaluated three-dimensionally—from the frontal view, 12 o'clock position, and profile, both with the lips retracted and with a smile (Fig. 19).

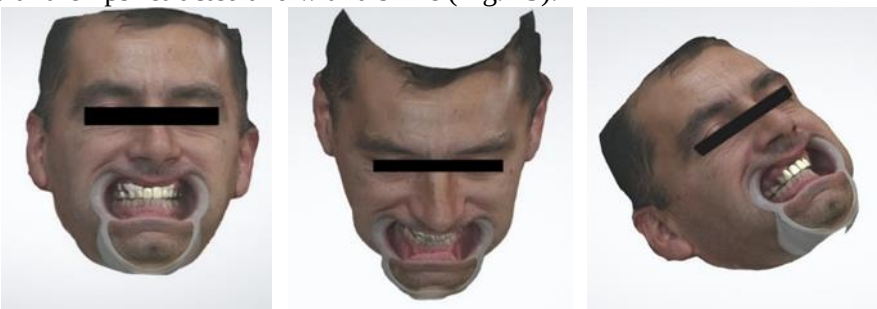


Fig.19. Different viewing angles for assessment of aesthetic correction during three-dimensional avatar rotation.

If the preliminary design is approved by the patient, the clinical stages of treatment can follow.

CONCLUSION

Combining a facial scan with a digitized dentition is sufficient for simulating the treatment outcome. This non-invasive approach eliminates the need for exposure to ionizing radiation to provide reliable visualization and precise documentation. It helps clarify the patient's expectations and anatomical limitations, while improving communication among the patient, the interdisciplinary team and the dental laboratory.
Face-guided approach is particularly valuable in aesthetic prosthetic rehabilitation involving modifications to the visible anterior dentition, which may have profound emotional significance for the patient.
Within a fully digital workflow, this approach allows accurate transfer of the digital diagnostic wax-up to provisional and definitive restorations.

REFERENCES

Alharkan H. M. (2024). Integrating digital smile design into restorative Dentistry: A narrative review of the applications and benefits. The Saudi dental journal, 36(4), 561–567. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.12.014

Alrizqi, A., Mohammed, Y. H., & Albounni, R. (2015). Smile design: Assessment and concept. International Journal of Current Research, 7(12), 24746–24750.

Beall A. E. (2007). Can a new smile make you look more intelligent and successful?. Dental clinics of North America, 51(2), 289–vii. https://doi.org/10.1016/j.cden.2007.02.002

Bhuvaneswaran M. (2010). Principles of smile design. Journal of conservative dentistry : JCD, 13(4), 225–232. https://doi.org/10.4103/0972-0707.73387

Bodkhe, R., Sabane A., Patil, A.A., Vijayraghavan, V., & Gachake, A. Artificial intelligence–driven smile design in prosthodontics: A systematic review and meta-analysis of data modalities, validation and clinical utility. (2026). Dentistry Review, 100437. https://doi.org/10.1016/j.dentre.2026.100437

Buduru, S., Cofar, F., Mesaroș, A., Tăut, M., Negucioiu, M., & Almășan, O. (2024). Perceptions in Digital Smile Design: Assessing Laypeople and Dental Professionals' Preferences Using an Artificial-Intelligence-Based Application. Dentistry Journal, 12(4), 104. https://doi.org/10.3390/dj12040104

Chitlange, P. M., Madhu, P. P., & Reche, A. (2023). Digital smile design—An overview of 3D digital workflow. Journal of Clinical and Diagnostic Research, 17(1), ZE01–ZE05. https://doi.org/10.7860/JCDR/2023/61467.17386

Davis N. C. (2007). Smile design. Dental clinics of North America, 51(2), 299–vii. https://doi.org/10.1016/j.cden.2006.12.006

Elias-Ortiz, P., Toro-Chacón, C. E., Veneri-Rodríguez, N., Rodríguez Briceño, N. G., Ruiz-de-Gopegui, J., Vásquez-Ramos, S., & Gómez-Polo, M. (2026). A digitally guided workflow integrating tooth preparation and restoration positioning for minimally invasive veneer and partial-coverage restorations: A dental technique. The Journal of prosthetic dentistry, S0022-3913(26)00527-5. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2026.06.037

Farzana, H., Rathna Piriyanga, R. S., & Priyadarshini, S. (2024). Workflow and efficiency in smile designing: Digital vs. traditional methods. Shanlax International Journal of Arts, Science and Humanities, 12(S2-Oct), 21–26. https://doi.org/10.34293/sijash.v12iS1.8509

Garber, D. A., & Salama, M. A. (1996). The aesthetic smile: diagnosis and treatment. Periodontology 2000, 11, 18–28. https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.1996.tb00179.x

Hassan, B., Gimenez Gonzalez, B., Tahmaseb, A., Greven, M., & Wismeijer, D. (2017a). A digital approach integrating facial scanning in a CAD-CAM workflow for complete-mouth implant-supported rehabilitation of patients with edentulism: A pilot clinical study. The Journal of prosthetic dentistry, 117(4), 486–492. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2016.07.033

Hassan, B., Greven, M., & Wismeijer, D. (2017b). Integrating 3D facial scanning in a digital workflow to CAD/CAM design and fabricate complete dentures for immediate total mouth rehabilitation. The Journal of Advanced Prosthodontics, 9(5), 381–386. https://doi.org/10.4047/jap.2017.9.5.381

Hue, O. (2008). Le sourire en prothèse ou l'éloge du sourire. Actualités Odonto-Stomatologiques, 242, 129–141. https://doi.org/10.1051/aos:2008011

Joda, T., & Gallucci, G. O. (2015a). The virtual patient in dental medicine. Clinical oral implants research, 26(6), 725–726. https://doi.org/10.1111/clr.12379

Joda, T., Brägger, U., & Gallucci, G. (2015b). Systematic literature review of digital three-dimensional superimposition techniques to create virtual dental patients. The International journal of oral & maxillofacial implants, 30(2), 330–337. https://doi.org/10.11607/jomi.3852

Kaushik, K., Sales, A., & Rodrigues, S. J. (2025). Comparative analysis of facial aesthetics in AI generated versus conventionally crafted digital smile designs—a cross-sectional study. BDJ Open, 11, Article 79. https://doi.org/10.1038/s41405-025-00367-z

Klages, U., Bruckner, A., & Zentner, A. (2004). Dental aesthetics, self-awareness, and oral health-related quality of life in young adults. European journal of orthodontics, 26(5), 507–514. https://doi.org/10.1093/ejo/26.5.507

Macris, A., Drafta, S., Martiniuc, Ș., & Petre, A. E. (2025). Comparative Usability Evaluation of Three Digital Smile Design Software Tools Using the System Usability Scale. Dentistry journal, 13(9), 418. https://doi.org/10.3390/dj13090418

Mclaren, E., & Cao, P.T. (2009). Smile Analysis and Esthetic Design: "In the Zone". https://insidedentistry.net/2009/08/esthetics-smile-analysis-and-esthetic-design-in-the-zone/

Park, J. M., Oh, K. C., & Shim, J. S. (2019). Integration of intraoral digital scans with a 3D facial scan for anterior tooth rehabilitation. The Journal of prosthetic dentistry, 121(3), 394–397. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.03.018

Piedra-Cascón, W., Hsu, V. T., & Revilla-León, M. (2019a). Facially driven digital diagnostic waxing: New software features to simulate and define restorative outcomes. Current Oral Health Reports, 6(4), 284–294. https://doi.org/10.1007/s40496-019-00233-6

Piedra-Cascón, W., Ruiz de Gopegui, J., & Revilla-León, M. (2019b). Facially generated and additively manufactured baseplate and occlusion rim for treatment planning a complete-arch rehabilitation: A dental technique. The Journal of Prosthetic Dentistry, 121(5), 741–745. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.07.009

Sancho-Puchades, M., Fehmer, V., Hämmerle, C., & Sailer, I. (2015). Advanced smile diagnostics using CAD/CAM mock-ups. The international journal of esthetic dentistry, 10(3), 374–391.

Sheth, K. (2017). An analysis of the components of a human smile. Journal of Community & Public Health Nursing, 3(4), 202. https://doi.org/10.4172/2471-9846.1000202

Venete, A., Trillo-Lumbreras, E., Prado-Gascó, V. J., Bellot-Arcís, C., Almerich-Silla, J. M., & Montiel-Company, J. M. (2017). Relationship between the psychosocial impact of dental aesthetics and

perfectionism and self-esteem. Journal of clinical and experimental dentistry, 9(12), e1453–e1458. https://doi.org/10.4317/jced.54481

Yue, Z., Luo, Z., Hou, J., & Zhang, H. (2025). Application of 3D digital smile design based on virtual articulation analysis in esthetic dentistry: A technique. The Journal of prosthetic dentistry, 133(1), 24–30. https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.11.014

Zotti, F., Marchesini, F., Lanzaretti, G., Bottonelli, J., Cominziolli, A., & Malchiodi, L. (2023). Traditional, 2D and 3D Workflows: What Is Better for Aesthetic Rehabilitation of Superior Anterior Teeth? Applied Sciences, 13(10), 6205. https://doi.org/10.3390/app13106205

Влахова, А., & Златев, С. (2021). CAD/CAM технологии в протетичната дентална медицина. Българи.

Ралев, Р. Д. (1993). Естетика на съзъбието: Анфас. Quintessence BG.

ENZYMATIC STRATEGIES IN MEAT PROCESSING: FROM TENDERIZATION TO BYPRODUCT VALORIZATION

Bogdan-Catalin Serban

National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5645

Matei-Gabriel URSACHESCU
National College "B. P. Hasdeu", Buzau, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7641-5808

Vlad DIACONESCU
University of Medicine and Pharmacy "Carol Davila", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6683-3279

Caterina ZETU
International Theoretical High School of Computer Science, Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0405-248X

Maria Ruxandra SALAGEAN
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Diana DUMITRAȘCU
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Octavian BUIU
National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5713-4304

Marius BUMBAC
Valahia University of Târgoviște, Faculty of Science and Arts, Department of Science and Advanced Technologies, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7568-0931

Abstract
Enzymes have become valuable biotechnological tools in meat processing because they enable targeted modification of texture, flavour, colour, stability, and nutritional value under relatively mild operating conditions. Proteolytic enzymes such as papain, bromelain, ficin, and microbial proteases are widely used for meat tenderization through the controlled hydrolysis of myofibrillar proteins and connective-tissue components. However, excessive proteolysis must be avoided because it may produce an undesirably soft or pasty texture. Microbial transglutaminase is particularly important in the manufacture of restructured meat products, where it catalyses covalent crosslinking between protein chains, thereby improving binding strength, elasticity, water-holding capacity, and processing yield. Lipases, proteases, peptidases, and aminopeptidases contribute to flavour development in fermented and dry-cured products by generating fatty acids, peptides, amino acids, and other aroma precursors. Enzymatic systems also participate in colour formation and stabilization. Nitrate reductases produced by starter cultures promote the conversion of nitrate into nitrite, supporting the formation of the characteristic cured-meat colour, while catalase limits oxidative damage to pigments and lipids. In addition, antimicrobial enzymes and enzyme systems, including lysozyme, glucose oxidase, and

lactoperoxidase, can contribute to microbial control and shelf-life extension. Enzymatic hydrolysis is also applied to low-value meat fractions and processing by-products for the production of protein hydrolysates, bioactive peptides, flavouring ingredients, and nutritional supplements. Their specificity supports more reproducible and sustainable manufacturing. Overall, enzyme-assisted meat processing offers opportunities for improving product quality, reducing processing severity, increasing resource efficiency, and developing cleaner-label formulations, provided that enzyme type, dosage, pH, temperature, and treatment time are carefully controlled.
Keywords: meat processing; proteolytic enzymes; transglutaminase; meat tenderization; flavour development; food preservation

CONJUGATED MICROPOROUS POLYMERS: SYNTHESIS, PROPERTIES AND EMERGING APPLICATIONS

Bogdan-Catalin Serban

National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5645

Matei-Gabriel URSACHESCU
National College "B. P. Hasdeu", Buzau, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7641-5808

Vlad DIACONESCU
University of Medicine and Pharmacy "Carol Davila", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6683-3279

Caterina ZETU
International Theoretical High School of Computer Science, Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0405-248X

Maria Ruxandra SALAGEAN
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Diana DUMITRAȘCU
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Octavian BUIU
National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5713-4304

Marius BUMBAC
Valahia University of Târgoviște, Faculty of Science and Arts, Department of Science and Advanced Technologies, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7568-0931

Abstract
Conjugated microporous polymers (CMPs) are a versatile class of permanently porous organic materials that combine extended π-conjugated networks with high surface areas, structural tunability, and chemical robustness. This presentation discusses the main synthetic strategies, characteristic properties, and emerging applications of CMPs. Their preparation commonly involves metal-catalyzed cross-coupling reactions, including Sonogashira–Hagihara, Suzuki–Miyaura, Yamamoto, and Buchwald–Hartwig polymerizations, as well as oxidative coupling, cyclotrimerization, and Schiff-base condensation. Careful selection of rigid multifunctional monomers allows control over pore size, conjugation length, heteroatom content, and electronic structure. CMPs generally exhibit permanent microporosity, low framework density, high thermal and chemical stability, and efficient light absorption across the visible region. The presence of delocalized π-electrons promotes charge transport, while incorporation of nitrogen, sulfur, boron, or electron-donor and electron-acceptor units enables precise adjustment of polarity, band gap, and adsorption affinity. These features support a broad range of applications. CMPs have been investigated for gas storage and separation, especially for hydrogen, methane, and carbon dioxide, as well as for the adsorption of organic pollutants and toxic ions from

water. Their photophysical and semiconducting properties make them promising materials for photocatalytic hydrogen evolution, carbon dioxide reduction, organic transformations, light-emitting devices, batteries, supercapacitors, and chemical sensors. Functionalized CMPs also show potential in heterogeneous catalysis, biomedical imaging, drug delivery, and antimicrobial systems. Modular design also facilitates integration into membranes and electrodes. Current challenges include limited processability, incomplete structural order, scale-up, and the need for greener synthetic methods. Overall, CMPs represent a highly adaptable platform for advanced energy, environmental, sensing, and catalytic technologies.
Keywords: conjugated microporous polymers; drug delivery; gas storage and separation

POLYSACCHARIDES IN COSMETOLOGY: NATURAL MATERIALS FOR ADVANCED AND SUSTAINABLE FORMULATIONS

Bogdan-Catalin Serban

National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5645

Matei-Gabriel URSACHESCU
National College "B. P. Hasdeu", Buzau, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7641-5808

Vlad DIACONESCU
University of Medicine and Pharmacy "Carol Davila", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6683-3279

Caterina ZETU
International Theoretical High School of Computer Science, Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0405-248X

Maria Ruxandra SALAGEAN
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Diana DUMITRAȘCU
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Octavian BUIU
National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5713-4304

Marius BUMBAC
Valahia University of Târgoviște, Faculty of Science and Arts, Department of Science and Advanced Technologies, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7568-0931

Abstract
Polysaccharides have become essential ingredients in modern cosmetology due to their biocompatibility, biodegradability, structural diversity, and multifunctional performance. Derived from plants, algae, microorganisms, and animal tissues, these natural macromolecules include hyaluronic acid, cellulose derivatives, starch, chitosan, alginates, carrageenans, pectins, dextran, pullulan, xanthan gum, and β-glucans. Their numerous hydroxyl, carboxyl, or amino groups enable strong interactions with water, proteins, lipids, and active molecules, making them valuable as moisturizers, film-forming agents, thickeners, stabilizers, emulsifiers, and delivery matrices.
In skin-care formulations, hyaluronic acid improves hydration and viscoelasticity, while β-glucans and chitosan provide soothing, antimicrobial, and wound-healing effects. Alginates, carrageenans, and cellulose derivatives control rheology and enhance the sensory properties of creams, gels, masks, and serums. Polysaccharide-based hydrogels, nanoparticles, micelles, and microcapsules can encapsulate vitamins, antioxidants, fragrances, sunscreens, and anti-aging compounds, protecting them from degradation and enabling controlled or targeted release.

Chemical modification, such as esterification, etherification, oxidation, grafting, or crosslinking, further improves solubility, stability, adhesion, and compatibility with cosmetic ingredients.

Beyond performance, polysaccharides support the development of sustainable and environmentally responsible cosmetics by replacing petroleum-derived polymers and reducing microplastic use. Their natural origin, mild processing conditions, and compatibility with sensitive skin make them particularly attractive for clean-label and multifunctional products. However, variability in source, molecular weight, purity, and microbiological stability remains a formulation challenge. Recent research also explores marine and microbial polysaccharides as bioactive materials with antioxidant, anti-inflammatory, anti-pollution, and skin-barrier-restoring properties in advanced formulations.

Keywords: polysaccharides; cosmetology; hyaluronic acid; chitosan; hydrogels; controlled release; skin care

BEYOND NUTRITIONAL VALUE: TOXIC COMPOUNDS IN MUSHROOMS AND THEIR RISKS TO HUMAN HEALTH

Bogdan-Catalin Serban

National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4524-5645

Matei-Gabriel URSACHESCU
National College "B. P. Hasdeu", Buzau, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-7641-5808

Vlad DIACONESCU
University of Medicine and Pharmacy "Carol Davila", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-6683-3279

Caterina ZETU
International Theoretical High School of Computer Science, Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0405-248X

Maria Ruxandra SALAGEAN
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Diana DUMITRAȘCU
National College "Saint Sava", Bucharest, Romania
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-1059-3417

Octavian BUIU
National Institute for Research and Development in Microtechnologies–IMT Bucharest, Voluntari, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5713-4304

Marius BUMBAC
Valahia University of Târgoviște, Faculty of Science and Arts, Department of Science and Advanced Technologies, Romania
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7568-0931

Abstract
Mushrooms are widely appreciated for their nutritional value, distinctive flavors, and content of proteins, fibers, vitamins, minerals, and bioactive compounds. However, beyond these benefits, many species contain potent natural toxins that may cause severe or fatal poisoning. The most dangerous compounds include amatoxins, gyromitrin, orellanine, muscarine, ibotenic acid, muscimol, coprine, and gastrointestinal irritants. Amatoxins, produced by several *Amanita*, *Galerina*, and *Lepiota* species, inhibit RNA polymerase II, leading to delayed hepatic failure and high mortality. Gyromitrin is metabolized to monomethylhydrazine, a highly reactive compound associated with neurotoxicity, hepatotoxicity, and carcinogenic concern. Orellanine primarily damages renal tissue and may produce irreversible kidney failure after a long symptom-free interval. Muscarine causes cholinergic syndrome, whereas ibotenic acid and muscimol affect the central nervous system, producing confusion, hallucinations, seizures, or coma. Some toxins are heat-stable and remain active after cooking, drying, or freezing, making traditional preparation methods unreliable. In addition, edible mushrooms may accumulate heavy metals, pesticides, radionuclides, or environmental contaminants from soil and air. Accurate species identification is therefore essential, because toxic and edible mushrooms may exhibit

very similar morphological features. Clinical diagnosis is often complicated by delayed symptoms, uncertain ingestion histories, and the absence of specific antidotes for several major toxin classes, requiring supportive treatment and emergency organ transplantation. Public education, toxicological surveillance, improved analytical methods, and rapid clinical intervention are crucial for reducing mushroom-related morbidity and mortality. Understanding mushroom toxins is important not only for food safety, but also for pharmacology, forensic toxicology, environmental chemistry, and the development of effective antidotal strategies.
Keywords: mushrooms; natural toxins; amatoxins; gyromitrin; orellanine; muscarine; food poisoning; food safety

VENOM PEPTIDOME OF ANDROCTONUS MAURITANICUS AND NAJA HAJE: LC-MS/MS PROTEOMIC PROFILING, ANTIPROLIFERATIVE AND ANTIMIGRATORY ACTIVITIES, AND TRANSCRIPTIONAL REGULATION OF ION CHANNELS IN HUMAN GLIOBLASTOMA CELL LINES

Reda Chahir
Pasteur Institute of Morocco, Laboratory of Venoms and Toxins, Casablanca, Morocco
Hassan I University, Faculty of Sciences and Techniques (FSTS), Laboratory of Agri-Food and Health, Settat, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-8693-6130

Océane Pertegaz
INSERM UMR 1069 N2COx "Niche, Nutrition, Cancer and Oxidative Metabolism", Faculty of Medicine, 10 Boulevard Tonnellé, BP 3223, 37032 Tours Cedex 01, France

Salma Chakir
Pasteur Institute of Morocco, Laboratory of Venoms and Toxins, Casablanca, Morocco
Hassan I University, Faculty of Sciences and Techniques (FSTS), Laboratory of Agri-Food and Health, Settat, Morocco

Noureddine Hammani
Pasteur Institute of Morocco, Laboratory of Venoms and Toxins, Casablanca, Morocco

Hinde Aassila
Hassan I University, Faculty of Sciences and Techniques (FSTS), Laboratory of Agri-Food and Health, Settat, Morocco

Marie Potier-Cartereau
INSERM UMR 1069 N2COx "Niche, Nutrition, Cancer and Oxidative Metabolism", Faculty of Medicine, 10 Boulevard Tonnellé, BP 3223, 37032 Tours Cedex 01, France

Naoual Oukkache
Pasteur Institute of Morocco, Laboratory of Venoms and Toxins, Casablanca, Morocco

ABSTRACT
Animal venoms represent an underexplored source of structurally diverse bioactive peptides with significant potential for pharmaceutical development. Motivated by a dual objective of valorizing Moroccan biodiversity and advancing the discovery of novel antitumor compounds, the present study investigates the peptide composition and biological properties of venoms from two medically relevant North African species: the scorpion *Androctonus mauritanicus* and the elapid snake *Naja haje*. Venom fractionation by reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC), coupled with comprehensive peptide identification via liquid chromatography-tandem mass spectrometry (LC-MS/MS), enabled the systematic mapping of a rich repertoire of neurotoxic peptides with molecular masses ranging from 2 to 5 kDa. The cytotoxic potential of the isolated fractions was evaluated through in vitro proliferation and migration assays performed on human glioblastoma cell lines, revealing potent and selective antiproliferative and antimigratory effects for specific venom components. Furthermore, RT-PCR-based transcriptomic profiling demonstrated that exposure to active venom fractions induces significant alterations in the expression of genes encoding ion channels, implicating channelopathy-related mechanisms in the observed oncostatic effects. Taken together, these results underscore the pharmacological value of venomous fauna and support the development of toxin-derived scaffolds as promising leads in the search for innovative anticancer therapeutics targeting refractory tumors.
Keywords: Venom peptidome, Scorpion toxins, Snake venom, Glioblastoma, Ion channel gene expression, Antiproliferative activity, Natural product oncology

NUTRITION-MENTAL HEALTH AWARENESS AND SCHOOL-BASED SUPPORT AMONG ALBANIAN ADOLESCENTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY

Msc. Bukurie Hysenı
Central Directorate, Operator of Health Care Services, University of Medicine, Tirana, NAPH
Tirana, Albania

Prof. Asoc. Adrian HOXHA
University of Medicine, Tirana, NAPH,
Tirana, Albania

Abstract
Adolescence is a critical period for dietary behaviors and emotional well-being. Schools are important settings for health education and prevention, yet adolescents' awareness of the relationship between nutrition and mental health and their access to professional guidance remain insufficiently explored in Albania. The objective of this study was to assess awareness of the nutrition-mental health relationship, sources of nutrition information, school-based health education, and help-seeking for emotional concerns among Albanian adolescents. A school-based cross-sectional study was conducted from January to December 2025 in nine lower-secondary schools. The analysis included 663 students aged 13-16 years from urban and rural/peri-urban areas. An anonymous structured questionnaire assessed nutrition-related knowledge and perceptions, information sources, school-based education and counseling, and previous use of professional support for emotional concerns. Overall, 57.0% had heard about the relationship between nutrition and mental health, while only 26.7% believed that diet could influence emotional state. School-based educational activities on healthy eating were reported by 47.8%. Nearly half (47.9%) had never received dietary advice from a school doctor, and 22.3% had received it only rarely. Social media (49.2%) and parents or relatives (42.8%) were the most frequently reported sources of nutrition information, whereas only 11.3% identified teachers or health professionals. Nevertheless, 66.4% believed that improving their diet could benefit physical and emotional health. Only 10.1% reported ever consulting a psychologist or physician for mental health concerns. Gaps were observed between exposure to nutrition-mental health information, adolescents' understanding of this relationship, and access to professional school-based guidance. Integrated school-health approaches combining nutrition education, mental health awareness, and accessible professional support may strengthen preventive health promotion among adolescents.
Keywords: adolescents; nutrition education; mental health awareness; school health; help-seeking; Albania

THE EFFECT OF INFILL PATTERN ON THE COMPRESSIVE STRENGTH, ABSORBED ENERGY AND SURFACE HARDNESS OF ADDITIVELY MANUFACTURED PLA SAMPLES

DOLGU DESENİNİN, EKLEMELİ İMALAT YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ PLA NUMUNELERİN BASINÇ DAYANIMI, EMİLEN ENERJİ VE YÜZEY SERTLİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi İsmail Aykut KARAMANLI
Yozgat Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu
ORCID: 0000-0002-6725-2662

ABSTRACT

As additive manufacturing technologies have become more widespread, improving the mechanical performance of manufactured parts has become increasingly important. In this study, the effects of different infill patterns on the compressive strength, energy absorption (EA) and surface hardness of PLA specimens produced using the Fused Filament Fabrication (FFF) method were investigated experimentally. The study utilized five different filling patterns: grid, gyroid, triangular, tri-hexagonal and honeycomb. Cubic specimens were produced with a 40% infill density, a layer thickness of 0.2 mm and a printing temperature of 200 °C. The produced specimens were subjected to compression tests in accordance with the ASTM D1621-16 standard, and shore D hardness measurements were also carried out. The maximum compressive stress and absorbed energy values were calculated using the stress-strain curves obtained from the compression tests. The results revealed that the infill pattern had a significant effect on all mechanical properties. The highest maximum compressive stress (164.22 MPa), energy absorption (1200.56 J) and surface hardness (76.8 SDH) were obtained in specimens with a honeycomb infill pattern. In contrast, the tri-hexagon pattern specimens exhibited the lowest compressive strength (52.07 MPa) and energy absorption (205.86 J) values. The triangular, grid and gyroid patterns, meanwhile, demonstrated average performance. The results indicate that honeycomb geometry offers advantages over other infill patterns in terms of load transfer, energy absorption capacity and structural rigidity. Consequently, the honeycomb infill pattern may be considered an important alternative for lightweight structural components, protective systems and engineering applications requiring energy absorption.

Keywords: Mechanical Properties, Additive Manufacturing, Fused Filament Fabrication, Infill Pattern, Compression Test, Surface Hardness

ÖZET

Eklemeli imalat teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla birlikte, üretilen parçaların mekanik performanslarının geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Ergimiş Filament ile Üretim (FFF) yöntemi kullanılarak üretilen PLA numunelerde farklı dolgu desenlerinin basma dayanımı, enerji absorpsiyonu (AE) ve yüzey sertliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada grid, gyroid, üçgen, tri-hexagon ve bal peteği olmak üzere beş farklı dolgu deseni kullanılmıştır. Numuneler %40 doluluk oranı, 0.2 mm katman kalınlığı ve 200 °C baskı sıcaklığında kübik numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler ASTM D1621-16 standardına uygun olarak basma testlerine tabi tutulmuş, ayrıca shore D sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Basma testlerinden elde edilen gerilim-gerinim eğrileri kullanılarak maksimum basma gerilmesi ve emilen enerji değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar, dolgu deseninin tüm mekanik özellikler üzerinde belirgin etkisi olduğunu göstermiştir. En yüksek maksimum basma gerilmesi (164.22 MPa), enerji absorpsiyonu (1200.56 J) ve yüzey sertliği (76.8 SDH) bal peteği dolgu desenine sahip numunelerde elde edilmiştir. Buna karşılık, tri-hexagon desenli numuneler en düşük basma dayanımı (52.07 MPa) ve enerji absorpsiyonu (205.86 J) değerlerini göstermiştir. Üçgen, grid ve gyroid desenleri ise orta düzey performans sergilemiştir. Elde edilen bulgular, bal peteği geometrisinin yük aktarımı, enerji sönümleme kapasitesi ve yapısal rijitlik açısından diğer dolgu desenlerine göre daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bal peteği dolgu deseninin hafif yapısal bileşenler, koruyucu sistemler ve enerji absorpsiyonu gerektiren mühendislik uygulamaları için önemli bir alternatif olduğu değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Mekanik Özellikler, Eklemeli İmalat, Eriyik Filament Üretimi, Dolgu Deseni, Basma Testi, Yüzey Sertliği

INTRODUCTION

Additive manufacturing is a non-traditional manufacturing method that is becoming increasingly widespread due to its ability to enable the layered deposition of materials, offering design flexibility (Sivalingam et al., 2025), rapid prototyping (Zeng et al., 2021), and personalized production (Jariwala et al., 2015) and is one of the non-traditional manufacturing methods that is becoming increasingly common. The most common of these methods is Fused Filament Fabrication (FFF), due to its low equipment costs and wide availability (Zurnacı, 2023). The FFF additive manufacturing process involves melting a thermoplastic filament within a controlled-temperature extruder and depositing it in layers along a path defined by G-code (Tichý et al., 2021; Zeng et al., 2021). One of the most commonly used filaments in FFF printing is polylactic acid (PLA) (Güdür et al., 2023; Karamanlı & Tahnal, 2024). The mechanical and thermal performance of parts produced through the increasing adoption of 3D printing has become a key consideration. Among the factors that most influence mechanical and thermal performance, printing parameters are at the forefront (Daly et al., 2023; Öz & Öztürk, 2023). Rismalia et al. investigated the effect of changes in infill pattern and density on the tensile strength of PLA specimens produced using FFF. According to their findings, an increase in infill density also increases tensile strength. Furthermore, changes in the infill pattern have an impact on the results (Rismalia et al., 2019). Another study has stated that layer height changes affect mechanical properties and that a reduction in layer height increases surface hardness and tensile strength (Ganesan et al., 2025). Palaniyappan et al., found that changes in nozzle temperature affect the compressive strength of Triply Periodic Minimal Surface (TPMS) structures produced using FFF (Palaniyappan et al., 2022).

The absorption energy (AE) capacity and properties are of critical importance, particularly for automotive components requiring impact and shock resistance (Nagarjun et al., 2020), parts used in the aerospace industry (Shahan et al., 2024) and biomedical applications such as implants (Jonnala et al., 2025). The production of components using additive manufacturing is also becoming increasingly common in these sectors (Demircioğlu & Öztürk, 2025; Y. Li et al., 2020). In a study investigating the effect of lattice structures produced using additive manufacturing, Seek et al. stated that lattice topology has an impact on AE (Seek et al., 2022). In another study, it was found that an increase in infill density also increases AE (Sankineni & Ravi Kumar, 2022). Previous studies have demonstrated that printing parameters have a significant effect on AE.

As the infill pattern directly influences the distribution of the load acting on the structure, it has a direct effect on its mechanical properties. Studies conducted on regular geometries such as honeycomb, triangular and grid patterns have shown that these patterns provide more rigid load transfer and that strength values increase due to high unit cell stability (Gibson & Ashby, 2014; Sood et al., 2010). Meanwhile, such as gyroid topological patterns with continuous curved surfaces have been found to have a higher energy absorption capacity and to exhibit more controlled deformation under impact loads (Y. Li et al., 2025; Maskery et al., 2018). Infill pattern changes also affect surface hardness. In their study on PLA and cPLA filaments capable of withstanding higher temperatures, Yeoh et al. found that specimens with a grid infill pattern exhibited high surface hardness. He stated that the lowest surface hardness values were observed in specimens with concentric patterns (Yeoh et al., 2020).

In a significant part of the studies in literature, multiple production parameters have been modified simultaneously, and the combined effects of these parameters have been investigated. In contrast, research into the effect of the infill pattern on mechanical and energy absorption properties is quite limited. In this study, cubic specimens were produced using FFF with different infill patterns in PLA material. The infill patterns investigated in the study were grid, gyroid, triangular, tri-hexagonal and honeycomb. Hardness measurements were taken from the surfaces of the specimens, and the specimens were subjected to compression tests. The maximum forces and absorbed energy were calculated as a result of the compression tests. The aim of the study is to investigate, on a comparative approach, the effects of different infill patterns on compressive strength, absorbed energy and hardness.

MATERIALS AND METHODS

Cubic specimens with dimensions of 50×50×50 mm were designed for compression tests and hardness measurements. The specimens were sliced using the Creality Print software and printed using a Creality K1 3D printer. The printing parameters are given in Table 1. The production material used was 1.75 mm

thick PLA (ESUN, PLA+) filament. The prints were produced using six different infill patterns: grid, gyroid, triangle, tri-hexagon and honeycomb. At least three specimens were produced for each pattern. To minimize the effect of the infill density on the results, the infill density was set to 40%.

Table 1. Specimen manufacturing parameters.

Parameter	Value
Infill Density (%)	40
Layer Thickness (mm)	0.2
Printing Temperature (°C)	200
Heat Bed Temperature (°C)	65
Printing Speed (mm/s)	150
Number of Perimeters	3

Hardness measurements were carried out using a Shore D hardness device (DASQUA 1804-1045). The device has a sensitivity of 0.5 Shore D hardness. Measurements were taken by taking five measurements from the upper and lower surfaces of each specimen. The results were obtained by calculating the averages for each infill pattern. The infill patterns investigated, the produced specimens and the test procedures are illustrated in Figure 1.

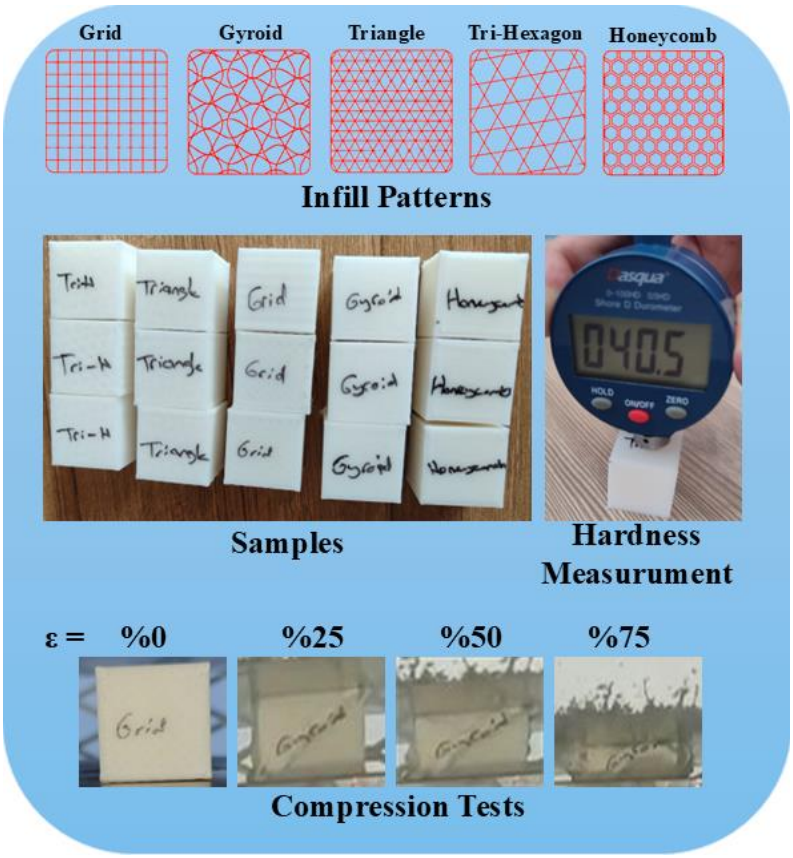


Figure 1. Infill patterns, specimens and workflow process.

The compression tests were carried out in accordance with ASTM D1621-16. The compression speed was 5 mm/min, which is 10% of the specimen length (American Society for Testing and Materials, 2016). The tests were carried out up to 37.5 mm, which is 75% of the specimen length. The reason for ending the tests at this point is that, as noted in previous studies, specimens enter a densification phase after 60-75% of the compression length and begin to behave like rigid, non-porous materials (Guo et al., 2023; Lal Lazar et al., 2023). Stress-strain (σ-ε) curves were obtained from the compression tests. The maximum forces and absorbed energy (AE) values were calculated using these curves. The equation used to calculate the absorbed energy is given in Equation (1) (Pehlivan et al., 2025).

$$AE = \int_0^{\varepsilon_d} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (1)$$

here, ε_d denotes the onset of the densification phase and refers to the point at which the stress-strain curve begins to rise rapidly without any decrease (Song et al., 2024)

FINDINGS AND DISCUSSION

The data obtained from compression tests and hardness measurements are presented in Table 2. According to the results, the change in infill pattern influenced all the results. The highest maximum compressive stress values were achieved with specimens featuring a honeycomb infill pattern. The specimens with a honeycomb infill pattern exhibited a compressive stress of approximately 164 MPa. This result may indicate that the honeycomb infill pattern distributes the load more uniformly across the cell walls and by preventing stress concentrations, enables higher strengths to be achieved (Siva Reddy et al., 2024; Zeng et al., 2021). Meanwhile, triangle and grid infill pattern specimens exhibited average performance with compressive strengths exceeding 100 Mpa. The gyroid and Tri-Hexagon specimens, on the other hand, had relatively lower compressive strengths. The gyroid structural topology, with its continuously repeating curved structure, could lead to the formation of bending (Karamanli & Temiz, 2025; Maskery et al., 2018). Bending deformations may cause loads to be transmitted in specific directions and lead to stress concentrations (Maskery et al., 2018). It may have had a decreasing effect on the maximum compressive stress. The low compressive strengths exhibited by the Tri-Hexagon specimens could be explained by discontinuities in load transfer caused by the junctions between the triangular and hexagonal structures, and by the fact that the voids in the central region of the hexagonal structure cannot be supported uniformly due to the triangular edges. Furthermore, the triangular junctions on the outer perimeter of the hexagonal cellular structures may have forced the structure to bend. The high compressive performance of another hexagonal structure, the honeycomb, is further evidence that the edge regions, unlike those in tri-hexagonal structures, are perfectly aligned and mutually supportive, and that these structural differences influence this outcome. In line with these findings, Rismalia et al. also reported that specimens with a tri-hexagonal structure exhibited low mechanical performance at infill densities of 25% and 50% (Rismalia et al., 2019).

Table 2. Maximum compressive stress, absorbed energy and surface hardness results.

Infill Pattern	Maximum Compressive Stress (Mpa)	Absorbed Energy (J)	Shore D Hardness
Grid	116.51 ±12.73	418.19 ±24.43	68.3 ±5.91
Gyroid	77.18 ±8.97	348.36 ±21.58	56.6 ±4.94
Triangle	100.96 ±7.74	451.35 ±29.17	52.7 ±12.78
Tri-Hexagon	52.07 ±6.12	205.86 ±17.64	60.6 ±7.74
Honeycomb	164.22 ±14.53	1200.56 ±114.17	76.8 ±3.77

The stress-strain curves obtained from the compression tests are shown in Figure 2. According to these results, the specimens with a honeycomb infill pattern reached their first peak at a compressive force of approximately 90 Mpa. This was followed by a long plateau phase. The length of the plateau phase may also indicate the high AE value (Karamanli & Temiz, 2025). After a strain value of approximately 50%,

the structure entered the densification phase. The strain at the onset of the densification phase was relatively high. This has the effect of increasing the AE. The specimens with a honeycomb infill pattern stood out favorably from the other specimens in terms of all these characteristics. For the other infill patterns, the first peak and plateau phases were similar. Specimens with triangular and grid infill patterns exhibited densification characteristics earlier than those with other structures. These specimens entered the densification phase at approximately 40-45% strain. This is an indication of the early deformation and collapse occurring in the structures (Q. M. Li et al., 2006; Song et al., 2024). Gyroid specimens, different from other specimens, exhibited wavy densification phases. This difference may be due to the curved gyroid structures influencing the orientation of the structure and the formation of collapse-type deformations. On the other hand, tri-hexagonal structures exhibited stable but low stress characteristics. This also indicates that their AE performance was low.

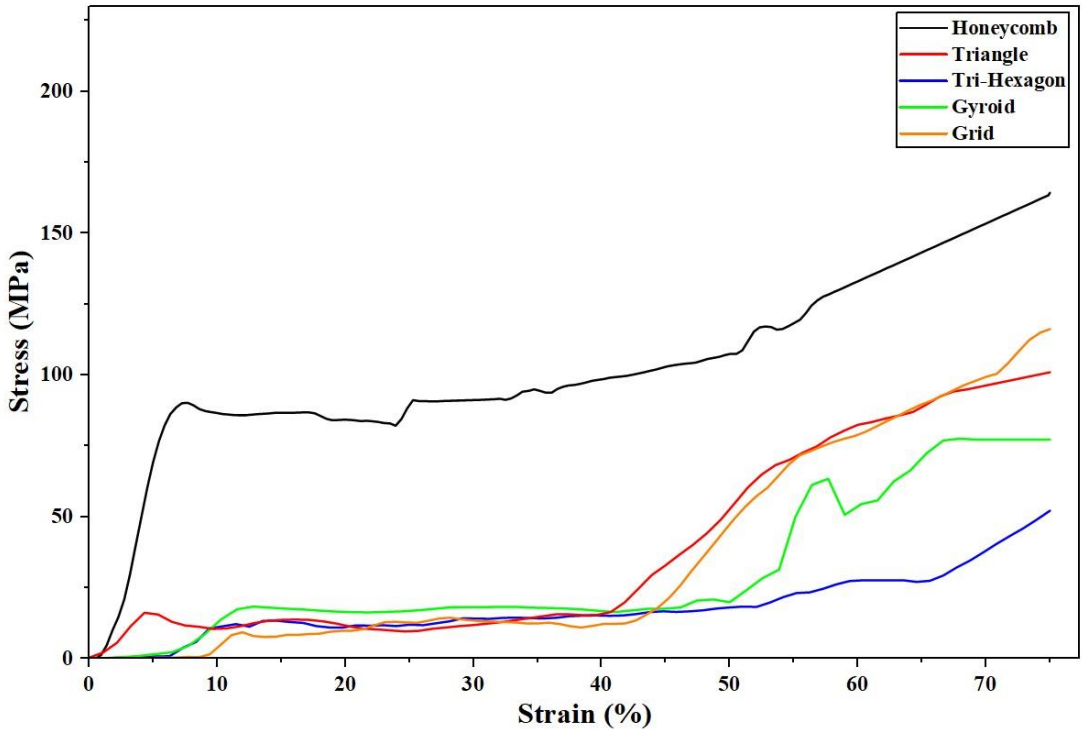


Figure 2. Stress-strain curves according to infill pattern.

The results also clearly demonstrate the effect of the infill pattern on energy absorption capacity as evaluated by AE (Table 2). The highest AE value, approximately 1200 J, was achieved in the specimens with a honeycomb infill pattern. The stress-strain curve of this specimen, which rises rapidly in the early strain region and remains at a high stress level for an extended period, demonstrates that it was able to withstand high loads throughout the test and absorb a significant amount of energy. It outperforms the other specimens in this respect. Meanwhile, the grid, gyroid and triangle specimens performed at similar levels, with average results. However, the Tri-Hexagon specimens exhibited a very low AE value of 205 J. In this case, as previously mentioned, asymmetric cell connections and the resulting stress accumulations may have been effective (Rismalia et al., 2019).

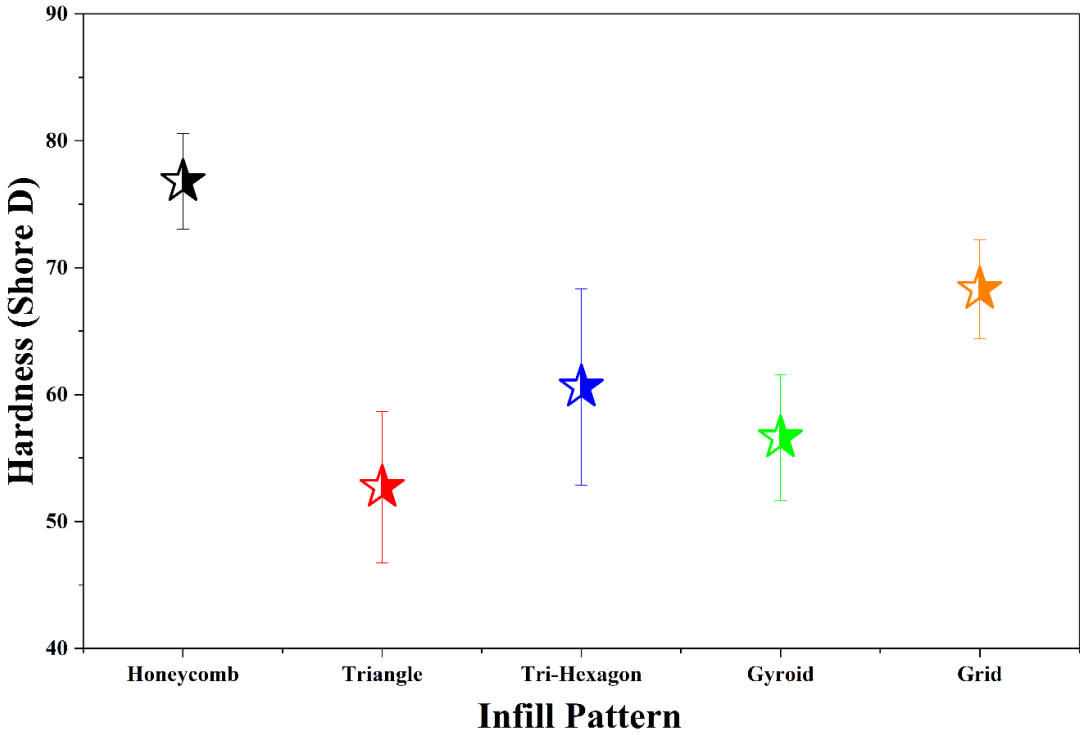


Figure 3. Change in surface hardness according to the infill pattern.

The changes in surface hardness according to the infill pattern are presented in Figure 3. The highest surface hardness values were observed in the honeycomb specimens with 76.8 shore D hardness. This may indicate that specimens with a honeycomb infill pattern exhibit more rigid behavior and may be preferable for applications where wear performance is particularly important. Grid specimens were another type of specimen with high surface hardness. The Tri-Hexagon and gyroid specimens had surface hardnesses of 60.6 and 56.6 shore D, respectively. The specimens with a triangle infill pattern, however, had the lowest surface hardness at 52.7 shore D. These differences also demonstrate the effect of the infill pattern structure on surface hardness and accordingly, on wear performance.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

In this study, the effects of different infill patterns on the compressive strength, absorbed energy (AE) and surface hardness of samples produced from PLA using the Fused Filament Fabrication (FFF) method were investigated experimentally. Grid, gyroid, triangle, tri-hexagonal and honeycomb infill patterns were produced under the same manufacturing parameters and compared.

The results obtained have demonstrated that the infill pattern has a significant effect on all the mechanical properties investigated. Among the structures tested, the highest compressive strength was achieved in the specimens with a honeycomb infill pattern. Specimens with a tri-hexagonal filling pattern, however, exhibited the lowest compressive strength. This could be explained by discontinuities in load transfer within the structure and stress concentrations forming at the cell connection areas.

A similar trend was observed in terms of absorbed energy. The highest absorbed energy value was obtained with the honeycomb. The long plateau region observed in the stress-strain curves and the high densification strain enabled these structures to dissipate more energy during compression. The triangle, grid and gyroid patterns exhibited moderate energy absorption performance, whilst the tri-hexagon structures had the lowest energy absorption capacity.

The surface hardness results also supported the influence of the infill pattern on mechanical behavior. The highest surface hardness value was obtained in the honeycomb specimens. The lowest hardness value, however, was found in the triangular specimens. These results demonstrate that the internal structure geometry affects not only the load-bearing capacity but also the strength of local surface deformations and wear performance.

The honeycomb infill pattern has demonstrated the best performance in terms of compressive strength, energy absorption and surface hardness. It could be stated that the honeycomb geometry is therefore a suitable alternative for lightweight structural components, protective elements, parts requiring impact resistance and energy absorption applications that demand high strength, energy dissipation and rigidity.

THANKS AND INFORMATION NOTE

This work was supported by the Yozgat Bozok University Scientific Research Projects Coordination Unit. Project Number: FED-2025-1875. The support is gratefully acknowledged.

REFERENCES

American Society for Testing and Materials. (2016). Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D1621-16

Daly, M., Tarfaoui, M., Chihi, M., & Bouraoui, C. (2023). FDM Technology and the Effect of Printing Parameters on the Tensile Strength of ABS Parts. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 126(11–12), 5307–5323. https://doi.org/10.1007/s00170-023-11486-y

Demircioğlu, C., & Öztürk, F. H. (2025). Optimization of energy absorption in bio-inspired cylindrical lattice structures: an experimental investigation with Box–Behnken design. Rapid Prototyping Journal. https://doi.org/10.1108/RPJ-03-2025-0117

Ganesan, G., Gupta, N. K., Siddhartha, S., Karade, S. R., Zeidler, H., Narasimhan, K., & Karunakaran, K. P. (2025). Effect of Varying Layer Thickness by Interlayer Machining on Microstructure and Mechanical Properties in Wire Arc Additive Manufacturing. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 9(4), 135. https://doi.org/10.3390/jmmp9040135

Gibson, L. J., & Ashby, M. F. (2014). Cellular solids: Structure and properties, second edition. In Cellular Solids: Structure and Properties, Second Edition (2nd ed.). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139878326

Güdür, C., Türkoğlu, T., & Eren, İ. (2023). Effect of Lattice Design and Process Parameters on the Properties of PLA, ABS And PETG Polymers Produced by Fused Deposition Modelling. Journal of Materials and Mechatronics: A, 4(2), 561–570. https://doi.org/10.55546/jmm.1357217

Guo, X., Ding, J., Li, X., Qu, S., Hsi Fuh, J. Y., Lu, W. F., Song, X., & Zhai, W. (2023). Interpenetrating phase composites with 3D printed triply periodic minimal surface (TPMS) lattice structures. Composites Part B: Engineering, 248, 110351. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110351

Jariwala, S. H., Lewis, G. S., Bushman, Z. J., Adair, J. H., & Donahue, H. J. (2015). 3D Printing of Personalized Artificial Bone Scaffolds. 3D Printing and Additive Manufacturing, 2(2), 56–64. https://doi.org/10.1089/3dp.2015.0001

Jonnala, U. K., KumarY, R., Gibson, I., & Panwisawas, C. (2025). Effect of gradient direction on the compressive and energy absorption characteristics of Ti-6Al-4V metamaterials. Materials \& Design, 259, 114938. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2025.114938

Karamanli, İ. A., & Temiz, A. (2025). Tailoring the compressive strength of the triply periodic minimal surface lattice with nozzle temperature grade. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, 47(3), 146. https://doi.org/10.1007/s40430-025-05456-6

Karamanlı, İ. A., & Tahnal, K. (2024). Optimization of Printing Parameters of PLA and ABS Produced by FFF. Journal of Materials and Mechatronics: A, 5(2), 286–302. https://doi.org/10.55546/jmm.1566700

Lal Lazar, P. J., Subramanian, J., Natarajan, E., Markandan, K., & Ramesh, S. (2023). Anisotropic structure-property relations of FDM printed short glass fiber reinforced polyamide TPMS structures under quasi-static compression. Journal of Materials Research and Technology, 24, 9562–9579. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2023.05.167

Li, Q. M., Magkiriadis, I., & Harrigan, J. J. (2006). Compressive Strain at the Onset of Densification of Cellular Solids. Journal of Cellular Plastics, 42(5), 371–392. https://doi.org/10.1177/0021955X06063519

Li, Y., Feng, Z., Hao, L., Huang, L., Xin, C., Wang, Y., Bilotti, E., Essa, K., Zhang, H., Li, Z., Yan, F., & Peijs, T. (2020). A Review on Functionally Graded Materials and Structures via Additive Manufacturing: From Multi-Scale Design to Versatile Functional Properties. Advanced Materials Technologies, 5(6), 1900981. https://doi.org/10.1002/admt.201900981

Li, Y., Wang, X., Li, X., Dai, X., Wang, Z., Shi, Y., Zhou, Y., Wen, S., & Shi, Y. (2025). Gyroid lattice structure with excellent mechanical properties and heat exchange properties fabricated by L-PBF. Journal of Materials Research and Technology, 36, 4366–4382. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.04.115

Maskery, I., Sturm, L., Aremu, A. O., Panesar, A., Williams, C. B., Tuck, C. J., Wildman, R. D., Ashcroft, I. A., & Hague, R. J. M. (2018). Insights into the mechanical properties of several triply periodic minimal surface lattice structures made by polymer additive manufacturing. Polymer, 152, 62–71. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.11.049

Nagarjun, J., Praveen Kumar, A., Yamini Reddy, K., & Ponraj Sankar, L. (2020). Dynamic crushing and energy absorption performance of newly designed multitubular structures. Materials Today: Proceedings, 27, 1928–1933. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.103

Öz, Ö., & Öztürk, F. H. (2023). Yazdırma Açısının 3B Yazıcıda Üretilen PLA Numunenin Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi TT - Investigation of the Effects of Printing Angle on Mechanical Properties of PLA Specimen Fabricated with 3D P. Politeknik Dergisi, 26(2), 529–540. https://doi.org/10.2339/politeknik.882313

Palaniyappan, S., Veeman, D., Sivakumar, N. kumar, & Shanmugam, R. (2022). Optimization of compressive property for the development of triply periodic minimal surface lattice structure on polylactic acid polymeric material. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 07316844221099582. https://doi.org/10.1177/07316844221099582

Pehlivan, F., Karamanlı, İ. A., Temiz, A., Öztürk, F. H., & Karaca, M. M. (2025). Hierarchical cellular structures based on TPMS mimicking cancellous bone. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 168, 107037. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2025.107037

Rismalia, M., Hidajat, S. C., Permana, I. G. R., Hadisujoto, B., Muslimin, M., & Triawan, F. (2019). Infill pattern and density effects on the tensile properties of 3D printed PLA material. Journal of Physics: Conference Series, 1402(4), 044041. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044041

Sankineni, R., & Ravi Kumar, Y. (2022). Evaluation of energy absorption capabilities and mechanical properties in FDM printed PLA TPMS structures. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 236(7), 3558–3577. https://doi.org/10.1177/09544062211039530

Seek, C. Y., Kok, C. K., Lim, C. H., & Liew, K. W. (2022). A Novel Lattice Structure for Enhanced Crush Energy Absorption. International Journal of Technology, 13(5), 1139. https://doi.org/10.14716/ijtech.v13i5.5829

Shahan, H. T., Zainuddin, S., Ahmed, G. M. S., & Harry, R. (2024, April 29). a Comprehensive Study on Optimizing 3D Printing Parameters for Improved Mechanical Properties of Pla and Abs Polymer. Proceedings of ASME 2024 Aerospace Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, SSDM 2024. https://doi.org/10.1115/SSDM2024-121323

Siva Reddy, B. V., Shaik, A. M., Sastry, C. C., Krishnaiah, J., Bhise, C. A., & Ramakrishna, B. (2024). Machine learning approaches for predicting mechanical properties in additive manufactured lattice structures. Materials Today Communications, 40, 109937. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2024.109937

Sivalingam, S., Bhuvaneswari, V., Rajeshkumar, L., & Balaji, D. (2025). Additive Manufacturing of Metal-Infilled Polylactic Acid-Based Sustainable Biocomposites—A Review of Methods, Properties and Applications Abetted with Patent Landscape Analysis. Polymers, 17(11), 1565. https://doi.org/10.3390/polym17111565

Song, J., Wang, M., Li, D., & Zhang, J. (2024). Deformation and Energy Absorption Performance of Functionally Graded TPMS Structures Fabricated by Selective Laser Melting. Applied Sciences, 14(5), 2064. https://doi.org/10.3390/app14052064

Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. Materials & Design, 31(1), 287–295. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.016

Tichý, T., Šefl, O., Veselý, P., Dušek, K., & Bušek, D. (2021). Mathematical Modelling of Temperature Distribution in Selected Parts of FFF Printer during 3D Printing Process. Polymers, 13(23), 4213. https://doi.org/10.3390/polym13234213

Yeoh, C. K., Cheah, C. S., Pushpanathan, R., Song, C. C., Tan, M. A., & Teh, P. L. (2020). Effect of infill pattern on mechanical properties of 3D printed PLA and cPLA. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 957(1), 012064. https://doi.org/10.1088/1757-899X/957/1/012064

Zeng, C., Liu, L., Bian, W., Leng, J., & Liu, Y. (2021). Compression behavior and energy absorption of 3D printed continuous fiber reinforced composite honeycomb structures with shape memory effects. Additive Manufacturing, 38, 101842. https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.101842

Zurnacı, E. (2023). Optimization of 3D Printing Parameters to Mechanical Strength Improvement of Sustainable Printing Material Using RSM. International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry, 7(1), 38–46. https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1231076

FDM SÜRECİNİN DİJİTAL İKİZ TABANLI ÇOKLU FİZİK İZLENMESİ

DIGITAL TWIN-BASED MULTIPHYSICS MONITORING OF THE FDM PROCESS

Sevil DURSUN
Yüksek Makine Mühendisi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Doktora Programı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Oyak Renault Otomobil Fabrikaları, Araştırma Geliştirme Departmanı, Ürün Geliştirme Pilotluğu
ORCID: 0000-0003-1309-9727

ÖZET

Fused Deposition Modeling (FDM), işlevsel polimer bileşenlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan bir eklemeli imalat yöntemi olmasına rağmen, süreç değişkenliği ve termal–reolojik–mekanik etkileşimlere yüksek bağımlılığı nedeniyle yük taşıyan uygulamalarda hala sınırlamalar göstermektedir. Dijital ikiz teknolojilerindeki son gelişmeler, çoklu fizik simülasyonların sensör tabanlı veri akışlarıyla bütünleştirilmesi yoluyla FDM sürecinin gerçek zamanlı olarak modellenmesi, izlenmesi ve öngörülmesi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Bu derleme çalışması, FDM sürecine uygulanan dijital ikiz yaklaşımlarını sentezlemekte; özellikle termal gradyanların, eriyik akış reolojisinin, soğuma dinamiklerinin ve gerilme evriminin baskı sürecinin sanal kopyaları aracılığıyla nasıl yakalanabildiğini, güncellenebildiğini ve doğrulanabildiğini incelemektedir. Gerçek zamanlı parametre takibi, anomali tespiti ve yapısal performans tahmini için mevcut yöntemler eleştirel bir bakışla değerlendirilmiş; yapısal tutarlılığın artırılması, kusurların azaltılması ve FDM'in metal-ikame uygulamalarında kullanılabilirliğinin geliştirilmesi açısından potansiyelleri tartışılmıştır. Ayrıca, fiziksel alanlar arasındaki sınırlı etkileşim modellemesi, gerçek zamanlı veri füzyonundaki eksiklikler ve standartlaştırılmış doğrulama protokollerinin yokluğu gibi temel araştırma boşlukları belirlenmiş; gelecekte tam entegre, yüksek doğruluklu dijital ikiz ekosistemlerinin geliştirilmesine yönelik araştırma yönleri sunulmuştur. Bu çalışmada, çoklu fizik dijital ikiz modellerinin FDM sürecindeki termal, reolojik ve mekanik etkileşimleri yüksek doğrulukla temsil ederek süreç kararlılığını artırma potansiyelini incelemektedir. Bu bağlamda, hibrit dijital ikiz yaklaşımlarının FDM uygulamalarında model güncelleme doğruluğunu artırarak metal-ikame parçaların yapısal güvenilirliğini iyileştirme potansiyeli tartışılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Eriyik Yığma Modelleme (FDM), Dijital İkiz, Çoklu Fizik Modelleme, Gerçek zamanlı süreç izleme, Metal ikame polimerler

ABSTRACT

Fused Deposition Modeling (FDM) has become a widely adopted additive manufacturing technique for producing functional polymer components; however, its inherent process variability and strong dependence on thermal–rheological–mechanical interactions continue to limit its reliability in load-bearing applications. Recent advances in digital-twin technologies offer a transformative opportunity to model, monitor, and predict the behavior of FDM processes in real time by integrating multiphysics simulations with sensor-driven data streams. This review synthesizes the current state of digital-twin frameworks applied to FDM, with a particular focus on how thermal gradients, melt-flow rheology, cooling dynamics, and stress evolution can be captured, updated, and validated through virtual replicas of the printing process. Existing approaches to real-time parameter tracking, anomaly detection, and predictive performance assessment are critically examined, highlighting their potential for improving structural consistency, reducing defects, and enabling the use of FDM in metal-replacement applications. The paper also identifies key research gaps—including limited coupling between physics domains, insufficient real-time data fusion, and the lack of standardized validation protocols—and outlines future directions for fully integrated, high-fidelity digital-twin ecosystems capable of supporting next-generation FDM process optimization. This study examines the potential of multiphysics digital twin models to enhance process stability by accurately representing the thermal, rheological, and mechanical interactions within the FDM process. In this context, the potential of hybrid digital twin approaches to improve model-updating accuracy and thereby enhance the structural reliability of metal-replacement parts in FDM applications is discussed.

Keywords: Fused Deposition Modeling (FDM), Digital Twin, Multiphysics Modeling, Real-Time Process Monitoring, Metal-Replacement Polymers

GİRİŞ

Ürün geliştirme bağlamında, çeşitli endüstrilerde bir parçanın nihai olarak piyasaya sürülmeden yani dijital bir modelden hızlı bir şekilde temsili modelinin (fiziksel prototip) oluşturulmasını tanımlamak için "hızlı prototipleme" terimi kullanılmıştır. Bu terim doğrudan parçanın kendisini de elde edebildiğimiz günümüzde yetersiz kalmış ve yeni bir terminolojinin benimsenmesi gerektiği konusunda ASTM bünyesinde kurulan teknik komiteyi "eklemeli imalat" teriminin kullanımı konusunda uzlaştırmıştır (ASTM,2021). Bu terim, parçaların katmanlar halinde malzeme eklenerek üretilmesinden gelmektedir. Her bir katman, bilgisayar destekli tasarım verilerinden türetilen parçanın ince bir kesitidir. Bugüne kadar ticarileşmiş tüm eklemeli imalat makineleri katman temelli yaklaşım sunmakla birlikte, kullanılan malzeme, katmanların oluşturulma şekli ve katmanların birbirine nasıl bağlandığına göre temel farklılıklara sahiptir (Gibson,2021). Eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan FDM (Fused Deposition Modeling), ABD'de Stratasys tarafından geliştirilip üretilen ekstrüzyona dayalı bir teknolojidir (Stratasys,n.d.). İlk FDM patenti, Stratasys'ın kurucusu Scott Crump tarafından 1989 yılında alınmıştır (Crump vd., 1991). Eklemeli imalatta tasarımdan ürüne dönüşüm süreci tamamen veri odaklı adımlardan oluşmaktadır. Eklemeli imalata uygun tasarım, destek yapılarının oluşturulması ve yönelimine karar verilmesi, makine kodu oluşturulması, üretim süreci, son işlem, test gibi adımların hepsi veri ile yönetildiği için bu adımlar arasında bilgi akışını sağlamak elde edilecek ürünlerin güvenilirliğini ve kalitesini etkilemektedir (Kim vd., 2015). Genel ifade ile üretim adımlarına değinecek olursak, eklemeli imalat ile üretilecek parçanın geometrisini tanımlayan dosya ilk olarak hazırlanır. Burada uygun yönelim ve destek yapıları gibi üretim ile alakalı faktörler tasarıma eklenir. Sonrasında seçilen makineye göre planlama yapılır, zira her üretici kendi özel tariflerini kullanmaktadır. Bir başka deyişle, FDM üretim yöntemi aynı olsa bile, farklı makine üreticileri bu yöntemi kendi geliştirdikleri özel ayarlar, parametreler ve yazılım algoritmaları ile uygulamaktadır (Witherell vd., 2016). Bir ürünün yaşam döngüsü boyunca bahsi geçen bu adımlardaki tüm verileri birbirine bağlayan dijital bilgi akışı "dijital izlek (digital thread)" tir. Dijital ikiz (Digital twin) bu verilerle beslenen, gerçek varlığın sanal kopyasıdır. Yani izlek (thread) veri omurgasıdır, ikiz (twin) ise bu verilerle yaşayan modeli tanımlamaktadır. 20. yüzyılın ikinci yarısında fiziksel nesneden bilgiyi ayırıp dijital ortama aktarma fikri gelişmiş ve dijital ikiz kavramı doğmuştur. Başlangıçta CAD modelleriyle basit bir temsili ifade ederken bu tanım, zamanla statik bir model temsili değil, üzerine kuvvetler uygulandığında davranışı simüle eden dinamik ve eyleme dönük bir sistem halini almıştır (Grieves vd., 2016). Sanal versiyonları tasarlamak, test etmek ve üretim öncesinde hataları görmek zaman, maliyet ve güvenlik açısından avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada, çoklu fizik dijital ikiz modellerinin FDM sürecindeki termal, reolojik ve mekanik etkileşimleri yüksek doğrulukla temsil ederek süreç kararlılığını artırma potansiyelini incelemektedir.

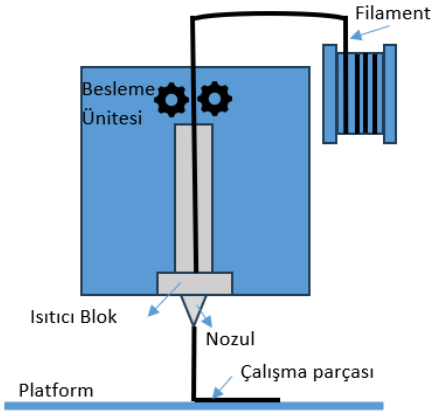
ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR

Eklemeli İmalatta FDM Sürecinin İncelenmesi: Çoklu Fizik Etkileşimleri

FDM 'nin ticari kullanımı 1990'larda başlamış olup, ısıtıcı başlığın filamenti yarı sıvı hale getirerek, nozuldan baskı alanına katmanlar halinde aktarmasıdır. FDM süreci basitliği, düşük maliyeti ve yüksek baskı hızları ile avantajlı olup süreçteki parametrelerin karmaşıklığı ve literatürde bu parametrelerin tümünü kapsayan analizlerin yetersizliği sebebi ile bazı sınırlamaları içinde barındırmaktadır (Sheoran vd., 2020).

FDM ile üretilen parçaların özellikleri; katman yüksekliği, baskı yönelimi, raster açısı, doluluk oranı, dolgu deseni, hava boşluğu, baskı hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, nozul çapı, raster genişliği ve kontur sayısı/kalınlığı gibi üretim parametrelerinden etkilenmektedir. Örneğin, baskı yönelimi; parçanın çekme ve basma dayanımını, katman yüksekliği; eğilme ve darbe özelliklerini, raster açısı ve dolgu deseni ise moleküllerin gerilme eksenine hizalanması ve zayıf ara bağlar oluşmasını doğrudan etkilemektedir. Hava boşluğu ve doluluk oranı parçanın yoğunluğunu ve mukavemetini belirlerken, baskı hızı artık gerilme ve deformasyon riskini arttırabilmektedir. Ekstrüzyon sıcaklığı ve nozul çapı ise akışkanlık, yüzey kalitesi ve geometrik doğruluk üzerinde kritik rol oynamaktadır (Solomon vd., 2021).

Sürecin anlaşılması açısından kritik bir boyut olan FDM'deki termal davranışların ve çoklu fizik etkileşimlerinin ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir. Çoklu fizik, bir sistemde aynı anda gerçekleşen birden fazla fiziksel alanın veya fenomenin etkileşimli olarak modellenmesi ve simülasyonu anlamına gelmektedir (Liu, 2018). Bu kavram özellikle mühendislik ve sayısal simülasyonlarda, farklı fiziksel süreçlerin birbirine bağlı şekilde çözülmesini ifade etmektedir. Bu çalışmada bahsi geçen FDM sürecinin dijital ikiz tabanlı izlenmesi, yalnızca tekil parametrelerin değil; ısı transferi, akışkan dinamikleri ve yapısal gerilmelerin etkileşimli çözümünü içeren çoklu fizik yaklaşımı ile ele alınmaktadır. Bu yöntem, sürecin gerçekçi ve bütüncül bir şekilde modellenmesini mümkün kılmaktadır. FDM sürecinin çok-fizikli doğası, baskı sırasında ortaya çıkan termal gradyanlar, eriyik akışın reolojik davranışı, katmanlar arası soğuma dinamikleri ve malzeme içi gerilme evrimi gibi temel bileşenlerin birlikte değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir yapı sergilemektedir. Bu çalışma kapsamında, söz konusu bileşenlerin her birinin süreç davranışını nasıl şekillendirdiğini, üretim kalitesini hangi mekanizmalar üzerinden etkilediğini ve dijital ikiz tabanlı modelleme yaklaşımlarında nasıl temsil edildiği ele alınacaktır. FFF sürecini modellemek için yaygın olarak kullanılan iki temel simülasyon yöntemi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) ve Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) önemli katkılar sunmaktadır (Awenlimobor vd., 2024). Burada bahsi geçen Fused Filament Fabrication (FFF), literatürde yaygın olarak kullanılan Fused Deposition Modeling (FDM) teriminin teknik karşılığı olup, her iki ifade aynı katmanlı imalat teknolojisini tanımlayan eşdeğer kavramlar olarak kabul edilmektedir. CFD genellikle polimerlerin akış ve ısı transferi davranışını incelemek için kullanılırken, FEA artık gerilmeleri, yer değiştirme ve şekil değiştirme dağılımını ve baskı sonrası performansı değerlendirmek için tercih edilir. Bu yaklaşımların entegrasyonu, daha doğru tahmin modellerinin geliştirilmesini sağlayarak süreç kontrolü ve parça optimizasyonuna katkıda bulunmuştur (Enriconi vd., 2025).

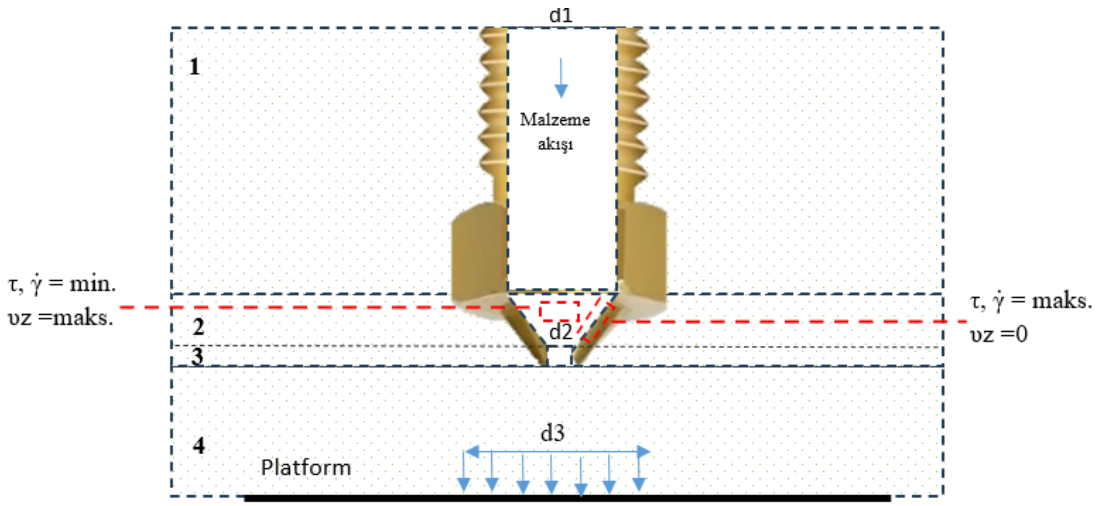


Şekil 1. FFF'de yaygın kullanılan kurulumun şematik gösterimi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Mevcut literatür, FFF süreçlerinin çoklu fizik etkileşimleri, malzeme davranışı ve doğrulama eksiklikleri nedeniyle hala önemli sınırlamalar içerdiğini göstermektedir. CFD ve FEA tabanlı modellerin eriyik akışı, soğuma davranışı ve gerilme birikimi gibi temel süreçlerin öngörülmesinde kayda değer ilerlemeler sağlamasına rağmen, fiber takviyeli kompozitler ve karmaşık akışkan–yapı etkileşimleri için daha bütüncül ve yüksek doğrulukta yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Enriconi vd., 2025). Literatürdeki bu mevcut durum, standartlaştırılmış deneysel doğrulama protokollerinin yokluğunun model güvenilirliğini sınırladığını ve FFF simülasyonlarının gerçek proses koşullarıyla uyumunu güçleştirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. FDM eklemeli imalat yönteminde kullanılan polimer malzeme grupları (termoplastik) ve özellikleri sınırlıdır. Bu sebeple bu sınırlandırmaları aşmak amacıyla polimer matrisli kompozit çalışmalarına ağırlık verilmiştir. Malzemenin gerilme kuvvetleri etkisi altında gösterdiği deformasyon ve akış özellikleri reoloji bilim dalının inceleme alanlarındandır. FDM'de kullanılan polimerler (PLA, ABS, PETG, PA, PC) eriyik haldeyken viskoelastik davranış gösteren

termoplastiklerdir. Bu nedenle reolojik yapı, viskoelastik davranış, kayma incelmesi, zaman bağımlı viskozite, sıcaklık bağımlı akış özellikleriyle tanımlanmaktadır. FDM polimerleri (PLA, ABS, PETG, PA, PC) hem viskoz hem elastik bileşenler içermektedir. Bu yapı, nozul içindeki akış ve katman füzyonu sırasında zincir hareketliliğini belirlemektedir. Nozul içinde kayma hızı arttıkça viskozite düşmektedir. Bu durum akışı kolaylaştırır ve baskı stabilitesini artırmaktadır. Polimer eriyikleri sıcaklığa son derece duyarlıdır; sıcaklık arttıkça viskozite üstel olarak azalmaktadır. Zincirlerin gevşeme zamanı, katmanlar arası bağ oluşumunu ve mekanik dayanımı belirlemektedir. Power-Law (Ostwald–de Waele) modeli kayma incelmesi davranışını temsil etmek için, Carreau–Yasuda modeli ise nozul içindeki viskozite değişimini temsil etmek için kullanılmaktadır. Arrhenius sıcaklık bağımlılığı denklemi polimer eriyiklerinin sıcaklıkla değişen viskozitesini tanımlamaktadır. Polimer zincirlerinin zamanla gevşemesini ve katmanlar arası bağ oluşumunu temsil etmek ve katman füzyonu ve soğuma davranışını açıklamak için ise Maxwell viskoelastik modeli kullanılmaktadır.

Şekil 1'de gösterilen FFF yönteminde filament halindeki malzeme, makaralar aracılığı ile filament besleme tüpüne oradan da baskı öncesi malzemenin eriyik hale getirildiği ısıtıcı bloka çekilmektedir (Agarwala vd., 1996). Filamentin basma elastik modülü, basma yükünü taşıyabilme kapasitesini belirlemektedir. Ekstrüzyon basıncının bu basma yükünü aşması durumunda filament burkulmasına yol açmakta ve hata meydana gelmektedir. Eriyiğin ekstrüzyonu için gereken basınç, hem malzemenin reolojik özelliklerinden hem de nozulun geometrik parametrelerinden etkilenmektedir (Venkataraman vd., 2000). Şekil 2'de gösterilen d1 nozulun giriş çapı, d2 çıkış çapını simgelemektedir (Turner vd., 2014). Kanalın merkezinde kayma gerilmesi (τ) ve kayma hızı (γ) minimum seviyedeyken, eksenel hız (υz) maksimumdur. Tüp duvarlarında ise durum tersine kayma gerilmesi ve kayma hızı maksimuma ulaşırken eksenel hız sıfıra düşmektedir (Schramm, 1994). Bu durum, kesit boyunca kayma derecesine bağlı olarak moleküler yönelimin değiştiği bir kayma gradyanı oluşturmaktadır. Duvara yakın bölgelerde moleküller daha fazla hizalanırken, merkezdeki moleküller daha düzensiz bir yapıda kalmaktadır (Manrich, 2005).



Şekil 2. Nozul'un geometrik ve reolojik özelliklerinin şematik gösterimi (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Bölge 1'den sonra erimiş polimer, kesit değişimi nedeniyle akışın uzamalı hale geldiği yakınsak kanala (bölge 2) girmektedir. Bu davranış, geleneksel bir ekstrüzyon kalıbının giriş bölgesine benzemektedir. Bölge 3'te akış yeniden basınç kontrollü hale gelir, ancak daha küçük çap nedeniyle hız artmaktadır. Nozulu terk ettiğinde (bölge 4), polimer ortam basıncına girdiği ve gevşeme yaşadığı için ekstrüdat çapı artar; bu durum viskoelastik bir olgu olan ekstrüdat şişmesi (D3/D2 oranı) olarak bilinmektedir. (Stavropoulus vd., 2021). Erimiş polimerin nozulu geçerken eksenel simetrik bir daralma yaşadığı kabul edilir (Topart vd., 2026). Nozul giriş bölgesindeki silindirik hacim uzar ve çapı küçülür; Yakınsak kanalı geçtikten sonra, nozul çıkışında çap yeniden artar ve bu durum akış hacminin kısalarak uzunluğunun

azalmasına neden olur.Bu akışın mekanik davranışı, akış koşulları altında gerilme ve deformasyonla ilişkili yukarıda bahsi geçen temel reolojik denklemlerle tanımlanabilmektedir.

Eklemeli İmalatta FDM için Dijital İkiz Yaklaşımı

Bir ürünün, sürecin veya sistemin sürekli olarak sensörlerden ve simülasyondan gelen verilerle güncellenen dinamik sanal temsili dijital ikiz (DT) olarak tanımlanmaktadır. Eklemeli imalatta bu temsil bir makine, parça veya tüm üretim hattını temsil edebilmektedir (Grieves ve Vickers, 2016).

Eklemeli imalat için dijital ikiz 3 temel katmandan oluşmaktadır. İlk katman, ergime havuzu pirometreleri, kameralar, katman görüntüleme sistemleri, toz yatağı profilometreleri, akustik sensörler ve araştırma amaçlı X-ray gibi yüksek bant genişliğine sahip sensörler kullanılarak sürecin durumunu ve parçanın geometrisi ile alakalı veri eldesini içermektedir. İkinci katman, sensör verilerinin farklı ölçeklerdeki modellerle birleştirildiği aşamadır. Bu modeller, indirgenmiş fizik modelleri (hızlı tahmin amacı ile), kusur tespiti amacı ile yapay zeka modelleri ve istatistiksel modelleri ifade etmektedir. Hibrit yaklaşımlar, makine öğrenmesi modellerine fiziksel kısıtlar ekleyerek yorumlanabilir ve güvenilirliği arttırmaya yönelik katkılar sunmaktadır. Üçüncü katman ise karar ve eylem katmanıdır. Aslında kural tabanlı müdahaleler, optimizasyon rutinleri ve model öngörülü kontrol gibi gelişmiş kontrol yöntemlerinin çalıştırıldığı katmanı ifade etmektedir. Burada tarama hızı, parça yönelimi gibi makine parametreleri üzerinden kararlar uygulanır, sonuçlar kaydedilir ve "ikizleme döngüsü" tamamlanır ve sürekli öğrenme sayesinde sonraki tahminler daha da geliştirilmektedir (Kolate vd., 2026). Eklemeli imalat süreçlerinin verimliliği ve güvenilirliği yalnızca fiziksel üretim parametreleri ile değil, aynı zamanda bu süreçlerin dijital ortamda modellenmesi ile şekillenmektedir. Bu noktada, üretim sürecini gerçek zamanlı olarak temsil eden ve izlenebilirlik sağlayan Dijital ikiz kavramı devreye girmektedir. Bu kavram, 2002 yılında Michigan Üniversitesi'nin gerçekleştirmiş olduğu "PLM için Kavramsal İdeal" başlıklı sunumda yer almış, dijital ikizin gerçek alan, sanal alan, gerçekten sanala veri akışı ve alt alanları gibi tüm unsurlarına yer verilmiştir (Grieves, 2005). Dijital ikiz modeli, klasik sistem mühendisliği modellerinin sıralı yapısına karşılık iteratif, eşzamanlı ve sanal ortamda desteklenen bir yaklaşım sunarak tasarım sürecini daha esnek ve gerçekçi hale getirmektedir. Literatürde, eklemeli imalat süreçleri izleme üzerine kapsamlı incelemeler bulunmakla birlikte, Dijital ikiz destekli Model Öngörülü Kontrol'ün eklemeli imalat bağlamındaki kesişimine odaklanan ilk yapılandırılmış sentez yakın zamanda yayımlanmıştır (Kolate vd., 2026). Bu çalışma, alanın henüz niş bir araştırma konusu olduğunu göstermektedir. Mevcut izleme stratejilerinin çoğunda kusurlar genellikle üretim sonrası incelenir veya operatör müdahalesi ile belirlenmektedir. Bu yaklaşım, kapalı döngü ve öngörücü kontrol eksikliğini ortaya koymaktadır (Tapia ve Elwany, 2014). Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmıştır:

Çalışma 1 (Anand vd., 2024), FDM 3D baskı süreçlerinde gerçek zamanlı izleme ve uyarlanabilir kontrol için Dijital İkiz mimarisinin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır. Çalışmada, ısı transferi ve malzeme birikimi arasındaki karmaşık etkileşim MATLAB tabanlı model ve sonlu fark yöntemiyle sürekli güncellenmiştir. Ekstrüzyon modeli ile katman bazlı malzeme birikimi simüle edilmiş, maksimum ve artışlı ekstrüzyon hızları Dijital İkiz yapısının esnekliğini artırmıştır. Sonuçlar bu yaklaşımın baskı sürecinde optimizasyon, doğruluk ve güvenilirlik sağladığını ve akıllı üretim için güçlü bir temel sunduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, FDM'e özgü termal dinamikler incelenmiştir.

Çalışma 2'de (Odada d., 2021), GEEETECH Prusa I3 tipi FDM yazıcıya optik enkoderler entegre edilmiş ve elde edilen konum verileri Arduino tabanlı Modbus sunucusu ile OPC-DA sunucusu üzerinden Siemens NX ortamında modellenen sanal yazıcıya aktarılmıştır. Deneysel sonuçlar, sanal yazıcının fiziksel yazıcı hareketlerini ortalama 0.35 saniyelik gecikme ile takip edebildiğini ve verilerin sistemin çalışma durumunu yansıttığını ortaya koymuştur. Çalışmanın amacı yazıcı hareketlerinin gerçek zamanlı izlenmesi ve kontrolü için Dijital İkiz mimarisi geliştirmek olup sadece hareket verileri izlenmiştir; malzeme, akış ve sıcaklık gibi kritik parametreler sisteme dahil edilmemiştir.

Çalışma 3' de (Pantelidakis vd., 2022), Octoprint tabanlı web denetleyicisi ile doğrudan yazıcıdan alınan veriler ve yazıcıya harici olarak takılan termokupl ve IR mesafe sensörlerinden elde edilen veriler karşılaştırılarak iki farklı yaklaşım test edilmiştir. Raspberry Pi üzerinde geliştirilen REST API aracılığıyla hem Octoprint hem de sensör verileri toplanmış, işlemiş ve Unity 3D platformuna aktarılmıştır. Dijital İkiz'in, Octoprint tabanlı yaklaşım ile yüksek doğrulukla senkronize olduğu fakat çalışmanın konum, sıcaklık ve süre parametreleri ile sınırlı olduğu görülmüştür.

Çalışma 4' de (Corradini ve Silvestri, 2022), sistem Octoprint yazılımı ile entegre çalışarak G-code komutlarını hem fiziksel yazıcıya hem de dijital ikize iletmektedir. Yazıcıya yerleştirilen akıllı sensörler (ivmeölçerler, optik enkoderler, termistörler ve kamera tabanlı konum izleme sistemi) sayesinde eksen hareketleri, sıcaklık ve titreşim ölçülmektedir. Bu veriler CAD modeli ile karşılaştırılarak baskı kalitesi değerlendirilmektedir ve gerektiğinde baskının durdurulmasına olanak sağlanmaktadır. CAD modeli ile baskı sonucu arasındaki kıyaslama, doğrudan dijital ikizin simülasyon motoru ve arayüzü üzerinden gerçekleştirilmiş ve herhangi bir ticari yazılım yerine özelleştirilmiş, açık kaynak tabanlı araçlar kullanılmıştır. Yazıcı ile dijital ikiz arasındaki veri akışı için Octoprint sensör verilerinin aktarılması için diğer çalışmalardaki gibi Python tabanlı çerçeveler, kamera tabanlı konum izleme sisteminde ise OpenCV kullanılmıştır. Diğer yandan bu çalışma sadece hız, ivme, sıcaklık ve titreşim parametreleri ile sınırlı kalmıştır.

Çalışma 5 (Mourtzis d., 2021), yazıcıyı bir Siber Fiziksel Sistem olarak ele alıp, IoT, bulut veri tabanı ve artırılmış gerçeklik (AR) tabanlı arayüzlerle entegre bir yapı tasarlanmıştır. Sonuçlar, önerilen sistemin geçmiş baskı verilerini kullanarak parametre ayarlamalarını kolaylaştırdığını, hatalı parça üretimini ortadan kaldırdığını ve üretim sonrası ek işlem ihtiyacını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Bu çalışmada, tüm baskı verileri bulut veri tabanında saklanmaktadır. Bu durum, gelecekte dijital ikizin bu verileri kullanarak yapay zeka algoritmasıyla eğitilmesini ve otomatik optimizasyon yapılabileceğini öngörmektedir.

Çalışma 6'da (Stavropoulis vd., 2021), geliştirilen dijital ikiz sistemi, FDM süreçlerini hem izleme hem de optimizasyon amacıyla tasarlanmış bütünleşik bir platformdur. Teorik modeller ile ampirik modeller aynı platformda birleştirilmiştir. Yazıcıya akım ve ivmeölçerler entegre edilmiştir. L9 ortogonal deney tasarımı ile farklı parametre kombinasyonları test edilmiş, modellerin %91'in üzerinde doğrulukla baskı süresi ve enerji tüketimini öngörebildiği gösterilmiştir. Katman kalınlığı, baskı hızı, baskı kafasının ivmelenme değerleri, malzemenin katmanlar arası yerleşim açısı, enerji tüketimi, titreşim sinyalleri gibi süreç parametreleri ile çalışma sınırlandırılmıştır. Daha geniş parametre setleri ve otomatik öğrenme yetenekleri açısından geliştirmeye ihtiyaç duyulan bir çalışmadır.

Çalışma 7'nin (Abadi vd., 2026) amacı, büyük ölçekli eklemeli imalat süreçlerinde dijital ikiz ve makine öğrenmesi kullanarak sıcaklık tahmini ve adaptif kontrol sağlamak olmuştur. Araştırmada ekstrüder pozisyon verilerinden gerçek zamanlı geometri çıkarımı yapılmış ve bu verilerle katmanlar arası sıcaklık öngörülmüştür. Model, baskı sırasında hız be besleme oranı gibi parametreleri uyarlayarak bağ dayanımını ve baskı kalitesini arttırmıştır. Sonuçlar, dijital ikizin gerçek zamanlı sıcaklık tahmini ve süreç kontrolünde güvenilir olduğunu göstermiştir. Diğer bir yandan, geliştirilen dijital ikiz modelinin tek duvarlı ve basit geometriler üzerinde test edilmiş olması, sadece ısıl davranış ve süreç parametrelerine odaklanılmış olması, deneylerdeki köşe kenar sıcaklık farklılıklarının simülasyona tam yansıtılmamış olması ve farklı malzeme grupları veya endüstriyel senaryolar için doğrulama yapılmamış olması çalışmanın geliştirmeye açık yönleri olarak görülmektedir.

Çalışma 8 (Butt ve Mohaghegh, 2022), düşük maliyetli FFF yazıcı için dijital ikiz ile makine öğrenmesini birleştirerek baskı parametrelerinin optimizasyonunu ve parça performansının öngörülmesini sağlamaktır. Araştırmada sadece ekstrüder kısmı modellenmiştir ve üç ayrı simülasyon (konjugatif ısı transferi, çok fazlı malzeme erimesi, non-Newtonian mikrokanal akışı) geliştirilmiş ve PID/PWM kontrol devresiyle sanal ortamda modellenmiştir. Deneysel doğrulama sonrasında farklı sıcaklık ve ekstrüzyon hızlarında PLA numuneleri üretilmiş, yüzey pürüzlülüğü, sertlik ve çekme dayanımı ölçülerek dijital ikiz çıktılarıyla ilişkilendirilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmaları arasında random forest sınıflandırıcısı, CNN'e (Convolutional Neural Networks) kıyasla daha yüksek doğruluk göstermiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen dijital ikiz simülasyonları ekstrüderin ısı transferi, erime ve akış davranışlarını yüksek doğrulukla modellemiştir fakat sadece ekstrüder kısmının modellenmesi ve belirli parametrelere odaklanılması sebebi ile sınırlı bir çalışma olduğu görülmektedir.

Çalışma 9'un (Henson vd., 2021) amacı, FDM süreçlerinde büyük hataların ve parça deformasyonlarının erken tespiti için dijital ikiz stratejisi geliştirmektir. Çalışmada, üç kameradan oluşan çoklu optik görüntüleme sistemi kullanılarak her katman için dijital ikiz görüntüleri önceden simüle edilmiş ve baskı sırasında alınan görüntülerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, üç test baskısında iki hatanın hızlı bir şekilde, bir hatanın ise kısa bir gecikmeyle başarıyla tespit edildiğini göstermiştir. Bu katman bazlı görüntüleme karşılaştırılması sayesinde nominal çalışma koşullarında bile deformasyon kaynaklı büyük hataları

algılayabilmiştir. Çalışma belirli geometriler ve sınırlı sayıda test baskısı ile sınırlandırılmış olup, küçük hataların tespitinde sınırlı kaldığı görülmektedir.

Çalışma 10'un (Cai vd., 2020) amacı, artırılmış gerçeklik teknolojisini kullanarak yeniden yapılandırılabilir robotik kollara sahip bir eklemeli imalat sisteminin dijital ikizini kurmak ve böylece fiziksel sistem ile sanal simülasyon arasındaki düzen bilgisini senkronize etmektedir. Çalışmada iki Dobot Magician masaüstü robotik kol, PLA besleyiciler ve FDM ekstrüderler kullanılmış, kamera ve AR marker'ları yardımıyla robotların ve parça tablasının konumları dijital ikize aktarılmıştır. Sonuçlar, AR tabanlı metodolojinin fiziksel sistemden konum bilgisini hızlı şekilde dijital ikize aktardığını ve simülasyonda optimize edilen düzenin kolayca fiziksel sisteme uygulanabildiğini göstermektedir. Böylece çoklu robot kol iş birliği için çarpışma önleme ve eşzamanlı malzeme biriktirme senaryoları daha etkin hale getirilmiştir. Bu çalışmada, AR marker takibinde kamera distorsiyonu, ışık koşulları ve marker algılama hataları nedeniyle konum doğruluğunun sınırlı olduğu görülmüştür.

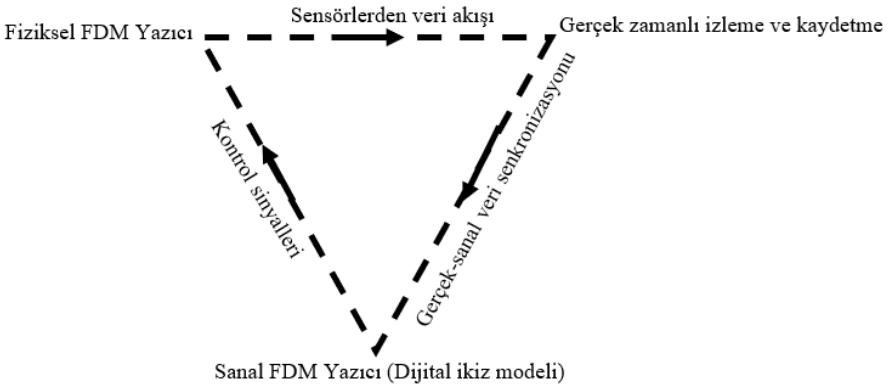
Çalışma 11'in (Topart vd., 2026) amacı, FDM süreçlerinde yapay zeka kontrollü üretimi mümkün kılmak için gerçek zamanlı çok fizikli dijital ikiz altyapısı geliştirmektir. Çalışmada mesh-free çözücü Merlin kullanılarak SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics), PBD (Position-Based Dynamics) ve ısı transferi tek bir parçacık tabanlı mimaride birleştirilmiştir. Akışkan davranışı, katı deformasyonu ve ısı yayılımı aynı anda modellenmiş ve etkileşimli hızlarda çalıştırılarak kapalı çevrim deneyler ile pekiştirmeli öğrenme (RL) uygulamalarına uygun hale getirilmiştir. Geliştirilen simülasyonun PLA ekstrüzyon deneyleri ile doğrulandığını ve baskı şeridi geometrisinin 0.05-0.25 hata aralığında güvenilir tahminler sunduğunu görülmüştür. Geliştirilen sistemin henüz tam bir dijital ikiz entegrasyonu sağlamaması (gerçek zamanlı çift yönlü veri alışverişi yok diğer bir ifade ile makine sensörlerinden veri alıp kontrol sinyali gönderilmesi ile alakalı uygulama yapılmamıştır), malzeme sabitlerinden doğrudan türetilmiş yüksek doğruluklu fiziksel parametreler yerine kalibrasyona dayalı çalışması, bu çalışmanın sınırlı olduğunu göstermektedir.

Çalışma 12'nin (Wei vd., 2026) amacı, sürekli karbon fiber takviyeli naylon eklemeli imalat süreçlerine dijital ikiz modellerini entegre ederek süreç parametrelerinin doğrulanması ve üretim sırasında anomali tespitini sağlamaktır. Sonuçlar, önerilen dijital ikiz modelinin anomali kaynaklarını yüksek doğrulukla sınıflandırabildiğini ve süreç parametrelerini sanal ortamda güvenilir şekilde doğruladığını göstermiştir. Doğrulama tek bir özgün cihaz ve malzeme kombinasyonu ile sınırlı kalmıştır. Ayrıca bu çalışma daha çok parametre doğrulama ve anomali tespiti odaklıdır; adaptif süreç kontrolü veya üretim optimizasyonu gibi ileri dijital ikiz fonksiyonlarını henüz uygulamamıştır.

Çalışma 13'ün (Ben Brayek vd., 2026) amacı, FFF süreç optimizasyonunu hızlandırmak için yapay zeka destekli dijital ikiz çerçevesi geliştirmek ve yüksek doğruluklu simülasyonlarla makine öğrenmesi modellerini birleştirmektir. Çalışmada Digimat AM yazılımı kullanılarak 1024 sanal deneyden oluşan tam faktöriyel tasarım matrisi oluşturulmuş ve bu veri setiyle altı farklı makine öğrenmesi algoritması (RF, XGBoost, ANN,SVR,AdaBoost, KNN) eğitilmiştir. Amaç, dört kritik çıktıyı (sapma, artık gerilme, baskı süresi, şekil toleransı) öngörmek ve klasik DOE tabanlı modellerle karşılaştırmaktır. Sonuçlar RF ve XGBoost simülasyon çıktılarıyla uyum sağladığını, klasik DOE modellerine kıyasla çok daha yüksek doğruluk sunduğunu göstermiştir. Çalışma sadece ABS malzemesi ve ISO 527 tip numune geometrisi üzerinde doğrulanmıştır. Dijital ikiz modeli yüksek doğruluklu simülasyon verilerine dayalıdır, ancak gerçek makine entegrasyonu ve sensör verileriyle çift yönlü bağlantı sağlanmamıştır. Çalışma daha çok parametre optimizasyonu ve öngörü doğruluğu odaklıdır. Adaptif süreç kontrolü, gerçek zamanlı üretim yöntemi veya çok malzemeli senaryolar henüz kapsam dışıdır.

Çalışma 14'ün (Fu vd., 2025) amacı, eklemeli imalat süreçlerinde gerçek zamanlı yapısal doğrulama ve dijital ikiz geliştirmek için "simulation-in-loop" yaklaşımını tanıtmak ve uygulamaktır. Gerçek zamanlı yapısal doğrulama, görüntü işleme ile kusurların katman bazında otomatik tespitini sağlamak, kusur verilerini sonlu elemanlar modeline entegre ederek anında karar verme mekanizması oluşturmak ve dijital ikiz altyapısına temel oluşturacak şekilde üretim sürecini eş zamanlı simüle etmek bu çalışmanın amaçları arasındadır. Üç farklı kusur senaryosunda, sistem numunenin kırılma dayanımını güvenilir şekilde öngörmüş ve gerçek zamanlı karar verme sürecini desteklemiştir. Sonlu elemanlar modeli, kusurlu ve kusursuz numuneler için tensil dayanım tahmininde 0.05'in altında hata ile yüksek doğruluk sağlamıştır. Üç farklı kusur senaryosunda, sistem numunenin kırılma dayanımını güvenilir şekilde öngörmüş ve gerçek zamanlı karar verme sürecini desteklemiştir. Çalışma yalnızca PLA malzemesi ve

basit geometriler üzerinde test edilmiştir. Hesaplama maliyetinin yüksek oluşu, büyük ölçekli veya karmaşık geometriye sahip parçalar için gerçek zamanlı uygulama zorlukları devam etmektedir. Sistem mekanik doğrulama odaklıdır, termal süreçler ve çok malzemeli üretim veya uzun süreli kullanım senaryoları kapsam dışı bırakılmıştır. Gerçek zamanlı sonlu elemanlar modeli entegrasyonu başarılı olsa da tam bir dijital ikiz altyapısı için sensör verisiyle sürekli çift yönlü bağlantı henüz kurulmamıştır.



Şekil 3. FDM'de Dijital İkiz şematik gösterimi

SONUÇ

Sonuç olarak bu derleme, incelenen çalışmaların ortak noktalarını, ayrışan yönlerini ve araştırma alanının geleceğine yönelik kritik değerlendirmeleri bir araya getirmektedir. Bu derleme çalışması, FDM süreçlerine uygulanan dijital ikiz yaklaşımlarını kapsamlı biçimde inceleyerek, çoklu fizik temelli modelleme ile sensör tabanlı veri akışlarının entegrasyonunun süreç kararlılığı, doğruluk ve öngörü yeteneği üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. İncelenen çalışmalar, FDM'e özgü termal gradyanlar, eriyik akış reolojisi, soğuma dinamikleri ve gerilme evrimi gibi kritik süreç değişkenlerinin dijital ikiz modelleri aracılığıyla temsil edilebildiğini göstermektedir. Özellikle gerçek zamanlı veri akışıyla güncellenen hibrit modellerin, baskı sürecinin anlık durumunu yüksek doğrulukla yansıtma potansiyeli dikkat çekicidir. Yapılan çalışmalar analiz edildiğinde, mevcut dijital ikiz uygulamalarının önemli ilerlemeler kaydettiğini ancak hâlâ belirgin sınırlamalar içerdiğini göstermektedir. Çalışmaların büyük bölümü yalnızca konum, sıcaklık, titreşim veya ekstrüder davranışı gibi sınırlı parametre setlerine odaklanmış; çoklu fizik etkileşimlerin tam entegrasyonu çoğu zaman sağlanamamıştır. Ayrıca, gerçek zamanlı çift yönlü veri alışverişi, yüksek doğruluklu model güncelleme, karmaşık geometrilerde termal–mekanik etkileşimlerin yakalanması ve farklı malzeme grupları için doğrulama gibi kritik bileşenler mevcut çalışmalarda sınırlı kalmıştır. Bu durum, FDM süreçlerinin karmaşık doğası göz önüne alındığında, dijital ikizlerin endüstriyel ölçekte tam işlevselliğe ulaşması için daha kapsamlı veri füzyonu ve standartlaştırılmış doğrulama protokollerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, incelenen çalışmalar dijital ikizlerin FDM süreçlerinde anomali tespiti, süreç optimizasyonu, yapısal performans tahmini ve adaptif kontrol gibi kritik fonksiyonları destekleyebildiğini ortaya koymaktadır. Özellikle makine öğrenmesi ile zenginleştirilmiş hibrit dijital ikiz modelleri, baskı sürecinin hem fiziksel hem de veri odaklı yönlerini birleştirerek metal ikame uygulamalarında gerekli olan yapısal güvenilirliğin artırılması için güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Genel olarak bu derleme, FDM süreçlerinde dijital ikiz teknolojisinin henüz tam olgunluğa ulaşmadığını ancak çoklu fizik modelleme, sensör entegrasyonu ve yapay zeka destekli öngörü sistemleriyle birleştiğinde üretim doğruluğunu, süreç kararlılığını ve parça performansını önemli ölçüde iyileştirebileceğini göstermektedir. Gelecek çalışmaların, gerçek zamanlı çift yönlü veri akışını sağlayan tam entegre dijital ikiz ekosistemlerine, geniş parametre setlerini kapsayan çoklu fizik modellerine ve endüstriyel senaryolarda doğrulanmış adaptif kontrol mekanizmalarına odaklanması gerekmektedir. Bu doğrultuda geliştirilecek hibrit dijital ikiz yaklaşımları, FDM'in yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda daha güvenilir bir üretim yöntemi olarak konumlanmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Abadi, B. N. R., Hattel, J. H., & Sarhadi, A. (2026). Machine learning-driven digital twin for real-time temperature prediction and adaptive process control in large-scale additive manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 87, 62-77.

Agarwala, M.K.; Jamalabad, V.R.; Langrana, N.A.; Safari, A.; Whalen, P.J.; Danforth, S.C. Structural quality of parts processed by fused deposition. Rapid Prototyp. J. 1996, 2, 4–19.

Anand, S., Satyarthi, M. K., Bharti, P. S., Kumar, P., & Kumar, A. (2024). Digital twin integration for enhanced control in FDM 3D printing. In Industry 4.0 Driven Manufacturing Technologies (pp. 373-388). Cham: Springer Nature Switzerland.

ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. (2021). http://www.astm.org/COMMITTEE/F42.htm

Awenlimobor, A.; Smith, D.E.; Wang, Z. Simulation of fiber-induced melt pressure fluctuations within large scale polymer composite deposition beads. Addit. Manuf. 2024, 80, 103980.

Ben Brayek, B. E., Qarssis, Y., Ghennioui, A., Hami, A. E., & Tarfaoui, M. (2026). Accelerating fused filament fabrication FFF optimization with AI-Powered digital twins and High-Fidelity simulations. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 142(7), 4201-4228.

Butt, J., & Mohaghegh, V. (2022). Combining digital twin and machine learning for the fused filament fabrication process. Metals, 13(1), 24.

Cai, Y., Wang, Y., & Burnett, M. (2020). Using augmented reality to build digital twin for reconfigurable additive manufacturing system. Journal of Manufacturing Systems, 56, 598-604.

Cheremisinoff, N.P. An Introduction to Polymer Rheology and Processing; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1993.

Corradini, F., & Silvestri, M. (2022). Design and testing of a digital twin for monitoring and quality assessment of material extrusion process. Additive Manufacturing, 51, 102633.

Crump, S.,Fast ,Precise Safe Prototype with FDM,ASME PED,vol.50, 1991,pp.53-60.

Enriconi, M., Rodriguez, R., Araújo, M., Rocha, J., García-Martín, R., Ribeiro, J., ... & Rodríguez-Martín, M. (2025). A comprehensive review of fused filament fabrication: numerical modeling approaches and emerging trends. Applied Sciences, 15(12), 6696.

Fu, Y., Downey, A. R., Yuan, L., Huang, H. T., & Ogunniyi, E. A. (2025). Simulation-in-the-loop additive manufacturing for real-time structural validation and digital twin development. Additive Manufacturing, 98, 104631.

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). Additive manufacturing technologies (Vol. 17, pp. 160-186). Cham, Switzerland: Springer.

Grieves, M. (2005). Product lifecycle management: The new paradigm for enterprises, International Journal Product Development, 2(1/2), 71-84.

Grieves, M., & Vickers, J. (2016). Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In Transdisciplinary perspectives on complex systems: New findings and approaches (pp. 85-113). Cham: Springer International Publishing.

Henson, C. M., Decker, N. I., & Huang, Q. (2021). A digital twin strategy for major failure detection in fused deposition modeling processes. Procedia Manufacturing, 53, 359-367.

Kim, D. B., Witherell, P., Lipman, R., & Feng, S. C. (2015). Streamlining the additive manufacturing digital spectrum: A systems approach. Additive manufacturing, 5, 20-30.

Kolate, V. D., Chaudhary, M. K., Mane, S., & Devadhe, M. (2026). Digital twin–enabled model predictive control in additive manufacturing: critical review, research challenges, and future directions. Materials and Manufacturing Processes, 41(1), 1-17.

Liu, Z. (2018). What Is Multiphysics. In Multiphysics in Porous Materials (pp. 9-20). Cham: Springer International Publishing.

Manrich, S. Processamento de Termoplásticos: Rosca Única, Extrusão e Matrizes, Injeção e Moldes; Artliber Editora: São Paulo, Brazil, 2005.

Mourtzis, D., Togias, T., Angelopoulos, J., & Stavropoulos, P. (2021). A digital twin architecture for monitoring and optimization of fused deposition modeling processes. Procedia CIRP, 103, 97-102.

Odada, C. A., Byiringiro, J. B., & Mwema, F. M. (2021). Development of data-driven digital twin for real-time monitoring of FDM 3D printer.

Pantelidakis, M., Mykoniatis, K., Liu, J., & Harris, G. (2022). A digital twin ecosystem for additive manufacturing using a real-time development platform. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 120(9), 6547-6563.

Schramm, G. A Practical Approach to Rheology and Rheometry; Haake: Karlsruhe, Germany, 1994.

Sheoran, A. J., & Kumar, H. (2020). Fused Deposition modeling process parameters optimization and effect on mechanical properties and part quality: Review and reflection on present research. Materials Today: Proceedings, 21, 1659-1672.

Solomon, I. J., Sevvel, P., & Gunasekaran, J. J. M. T. P. (2021). A review on the various processing parameters in FDM. Materials Today: Proceedings, 37, 509-514.

Stavropoulos, P., Papacharalampoloulos, A., & Tzimanis, K. (2021). Design and implementation of a digital twin platform for AM processes. Procedia CIRP, 104, 1722-1727.

Stratasys. (n.d.). Fused deposition modeling.http://www.stratasys.com

Tapia, G., & Elwany, A. (2014). A review on process monitoring and control in metal-based additive manufacturing. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 136(6), 060801.

Topart, J., Tortajada, H., Fiolet, T., Lombardi, R., & Panier, S. (2026). Enabling AI-Controlled additive manufacturing with real-time multiphysics digital twins. Virtual and Physical Prototyping, 21(1), e2610146.

Turner, B.N.; Strong, R.; Gold, S.A. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. Rapid Prototyp. J. 2014, 20, 192–204

Venkataraman, N.; Rangarajan, S.; Matthewson, M.J.; Harper, B.; Safari, A.; Danforth, S.C.; Wu, G.; Langrana, N.; Guceri, S.; Yardimci, A. Feedstock material property—Process relationships in fused deposition of ceramics (FDC). Rapid Prototyp. J. 2000, 6, 244–253.

Wei, X., Wang, Y., Mao, J., Zhao, M., & Liu, G. (2026). Integrating digital twin models into continuous carbon fiber-reinforced nylon additive manufacturing for process parameters verification and anomaly detection. Journal of Intelligent Manufacturing, 37(5), 1891-1908.

Witherell, P., Lu, Y., & Jones, A. (2016). Additive manufacturing: A trans-disciplinary experience. Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches, 145-175.

ZIT AKIŞLI KANAL TİPİ ISI DEĞİŞTİRİCİLERİN CFD ANALİZİ

CFD ANALYSIS OF COUNTERFLOW CHANNEL TYPE HEAT EXCHANGERS

Dr.Öğr. Üyesi Sevda ŞİMŞEK UZUN
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0008-2589-1029

Dr.Öğr. Üyesi Kürşat TANRIVER
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1723-4108

Diyar Can AYDIN
İstanbul Sağlık ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-3713-868X

Özet

Isı değiştiriciler, enerji geri kazanımı ve proses verimliliğinin artırılmasında kritik rol oynayan temel mühendislik bileşenleridir. Özellikle zıt akışlı sistemler, akış boyunca daha yüksek ortalama sıcaklık farkını koruyabilmeleri sayesinde daha etkin ısı transferi sağlayarak enerji verimliliğinin iyileştirilmesine olanak tanımaktadır. Buna rağmen, giriş sıcaklıkları ile akış hızlarının birlikte değerlendirilerek sistem performansına olan etkilerinin ortaya konduğu parametrik çalışmalar hâlen sınırlıdır. Bu durum, optimum çalışma koşullarının belirlenmesini ve tasarım sürecinin iyileştirilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, zıt akışlı kanal tipi bir ısı değiştiricinin termal performansı, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yaklaşımı kullanılarak ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Çalışmanın temel yeniliği, sıcak akışkan hızı, soğuk akışkan hızı ve akışkanlar arasındaki giriş sıcaklık farkının sistematik olarak birlikte değerlendirilmesi ve bu parametrelerin ısı transferi performansı üzerindeki göreceli etkilerinin tek bir parametrik analiz çerçevesinde ortaya konulmasıdır**.** Üç boyutlu model ANSYS Fluent ortamında oluşturulmuş, laminer akış koşulları altında gerçekleştirilen analizlerde farklı çalışma senaryoları karşılaştırılarak sıcak akışkan çıkış sıcaklığını etkileyen temel tasarım değişkenleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlar, sıcak akışkan giriş hızının 0,07 m/s'den 9.6 m/s'ye artırılmasıyla sıcak akışkan çıkış sıcaklığının 283,18 K'den 326,58 K'ye**,** soğuk akışkan çıkış sıcaklığının ise 277,43 K'den 283,17 K'ye yükseldiğini göstermiştir. Buna karşılık, soğuk akışkan hızındaki artışın her iki akışkanın çıkış sıcaklıklarını düşürdüğü belirlenmiştir. Ayrıca giriş sıcaklık farkının 65 K'den 90 K'ye yükseltilmesi, sıcak akışkan çıkış sıcaklığını 310,56 K'den 323,55 K'ye**,** soğuk akışkan çıkış sıcaklığını ise 281,32 K'den 283,45 K'ye artırmıştır. Sıcaklık dağılımları, parametre değişimlerinin boru boyunca oluşan termal alanı belirgin biçimde değiştirdiğini ve ısı transfer karakteristiğini doğrudan etkilediğini ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, giriş koşullarının uygun şekilde belirlenmesinin zıt akışlı ısı değiştiricilerin termal performansı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, CFD tabanlı parametrik analiz yaklaşımının tasarım sürecinde karar verme mekanizmasını destekleyen güvenilir bir araç olduğunu ortaya koymakta ve aynı zamanda farklı geometri yapıları, türbülans modelleri ve optimizasyon algoritmalarıyla geliştirilebilecek gelecekteki tasarım çalışmalarına sistematik bir temel sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ANSYS Fluent, CFD, Isı Değiştirici, Parametrik tasarım, Termal performans, Zıt Akış.

Abstract

Heat exchangers are important engineering systems. They have a key role in energy recovery and improving process efficiency. Counter-flow heat exchangers give better heat transfer because they keep a higher temperature difference between the two fluids. However, there are still only a few studies that examine the effects of inlet temperatures and flow velocities together. This makes it difficult to find the best operating conditions and improve the design.

In this study, the thermal performance of a counter-flow channel heat exchanger was studied by using Computational Fluid Dynamics (CFD). The main aim of this study is to examine the hot fluid velocity, cold fluid velocity, and inlet temperature difference together. The effects of these three parameters on heat transfer performance were compared in one parametric study. A three-dimensional model was created in ANSYS Fluent. All simulations were carried out under laminar flow conditions. Different operating cases were compared to determine the main factors affecting the hot fluid outlet temperature. The results showed that when the hot fluid inlet velocity increased from 0.07 m/s to 9.6 m/s, the hot fluid outlet temperature increased from 283.18 K to 326.58 K. The cold fluid outlet temperature also increased from 277.43 K to 283.17 K. On the other hand, increasing the cold fluid velocity decreased the outlet temperatures of both fluids. In addition, when the inlet temperature difference increased from 65 K to 90 K, the hot fluid outlet temperature increased from 310.56 K to 323.55 K, and the cold fluid outlet temperature increased from 281.32 K to 283.45 K. The temperature distribution also changed along the channel. This shows that these parameters have an important effect on heat transfer.
The results show that the inlet conditions are very important for the thermal performance of counter-flow heat exchangers. This study also shows that CFD is a useful and reliable tool for heat exchanger design. In the future, this work can be improved by using different geometries, turbulence models, and optimization methods.
Keywords: NSYS Fluent, CFD, Heat Exchanger, Parametric Design, Thermal Performance, Counter Flow.

EVALUATION OF SURFACE HARDNESS, TOPOGRAPHY, AND SCRATCH BEHAVIOR OF SOL-GEL DIP-COATED COO CERAMIC COATINGS ON LPBF-FABRICATED Tİ6AL4V ALLOY FOR AEROSPACE APPLICATIONS

HAVACILIK UYGULAMALARI İÇİN LAZER TOZ YATAĞI FÜZYONU İLE ÜRETİLEN Tİ6AL4V ALAŞIMI ÜZERİNDEKİ SOL-JEL DALDIRMALI COO SERAMİK KAPLAMALARIN YÜZEY SERTLİĞİ, TOPOĞRAFYASI VE ÇİZİK DAVRANIŞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Asst. Prof. Dr. Hilmi TEKDİR
Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCİD: ID/0000-0002-9141-9514,

Prof. Dr. Tuba YETİM
Erzurum Technical University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Chemical Engineering, Erzurum, Turkey
ORCİD: ID/0000-0002-6237-6412

ABSTRACT

The Ti6Al4V alloy is widely utilized in the aerospace industry owing to its high strength-to-weight ratio, low density, and outstanding fatigue performance. Recently, Laser Powder Bed Fusion (LPBF), a prominent additive manufacturing technique, has gained significant attention for producing geometrically complex components. However, the surface microstructural characteristics and mechanical properties of raw LPBF-printed parts often require further surface modification to withstand demanding mechanical and tribological operational conditions.

In this study, Cobalt Oxide (CoO) ceramic thin films were deposited onto LPBF-fabricated Ti6Al4V alloy substrates using the sol-gel dip-coating technique to enhance surface integrity and mechanical performance. The surface mechanical and topographic properties of the coated and uncoated specimens were systematically evaluated. Microhardness measurements were carried out using the Vickers hardness testing method, where the CoO ceramic-coated surfaces exhibited superior microhardness values ranging consistently between 520 $HV_{0.1}$ and 540 $HV_{0.1}$, representing a notable enhancement compared to the substrate material (390-420 $HV_{0.1}$).

The adhesion strength and failure mechanisms of the CoO coatings were investigated via progressive scratch testing, complemented by optical microscopy images of the scratch tracks. Furthermore, the surface topography, roughness profile, and post-scratch deformation geometries were comprehensively mapped using 3D profilometry. The results confirmed that the sol-gel dip-coating process provided a homogenous coating layer with strong interfacial bonding strength and improved scratch resistance. In conclusion, the applied CoO ceramic coating presents a highly promising surface enhancement strategy for LPBF-manufactured Ti6Al4V components subjected to localized mechanical stress and surface contact in aerospace applications.

Keywords: Ti6Al4V, Laser Powder Bed Fusion (LPBF), CoO Ceramic Coating, Sol-Gel Dip Coating, Scratch Test

ÖZET

Ti6Al4V alaşımı; yüksek mukavemet-ağırlık oranı, düşük yoğunluğu ve üstün yorulma performansı sayesinde havacılık ve uzay sanayisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda, önde gelen eklemeli imalat tekniklerinden biri olan Lazer Toz Yataklı Ergitme (LPBF), karmaşık geometrilere sahip bileşenlerin üretilmesinde büyük ilgi görmüştür. Bununla birlikte, ham LPBF üretimi parçaların yüzey mikroyapısal karakteristikleri ve mekanik özellikleri, zorlu mekanik ve tribolojik çalışma koşullarına dayanabilmek adına genellikle ilave yüzey modifikasyonları gerektirmektedir.

Bu çalışmada, yüzey bütünlüğünü ve mekanik performansı artırmak amacıyla sol-jel daldırmalı kaplama yöntemi kullanılarak, LPBF ile üretilmiş Ti6Al4V alaşım altlıklar üzerine Kobalt Oksit (CoO) seramik ince filmleri çökeltilmiştir. Kaplamalı ve kaplamasız numunelerin yüzey mekanik ve topoğrafik özellikleri sistematik olarak değerlendirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri Vickers sertlik testi yöntemiyle gerçekleştirilmiş olup, CoO seramik kaplı yüzeyler altlık malzemesine (390-420 HV0.1) kıyasla belirgin bir artış göstererek tutarlı bir şekilde 520 $HV_{0.1}$ ile 540 $HV_{0.1}$ arasında değişen üstün mikrosertlik değerleri sergilemiştir.
CoO kaplamalarının yapışma (adhezyon) mukavemeti ve hasar mekanizmaları, çizik izlerinin optik mikroskopi görüntüleriyle desteklenen kademeli çizme testi ile incelenmiştir. Ayrıca yüzey topoğrafyası, pürüzlülük profili ve çizik sonrası deformasyon geometrileri 3D profilometre kullanılarak kapsamlı bir şekilde haritalandırılmıştır. Sonuçlar, sol-jel daldırmalı kaplama işleminin güçlü arayüzey bağ mukavemetine ve gelişmiş çizik direncine sahip homojen bir kaplama tabakası sağladığını doğrulamıştır. Sonuç olarak, uygulanan CoO seramik kaplama, havacılık uygulamalarında lokalize mekanik gerilime ve yüzey temaslarına maruz kalan LPBF üretimi Ti6Al4V bileşenleri için oldukça vaat edici bir yüzey iyileştirme stratejisi sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Ti6Al4V, Lazer Toz Yataklı Ergitme (LPBF), CoO Seramik Kaplama, Sol-Jel Daldırmalı Kaplama, Çizik Testi.

INTRODUCTION

Additive manufacturing (AM), particularly Laser Powder Bed Fusion (LPBF), has revolutionized the aerospace industry by enabling the production of geometrically complex and lightweight components without the need for traditional tooling (Bourell, 2016). Among the materials processed via LPBF, the Ti6Al4V alloy is extensively utilized due to its exceptional strength-to-weight ratio, low density, and outstanding fatigue performance (Kaletsch et al., 2021; Liu et al., 2025). However, components fabricated through LPBF often exhibit rough surface topologies and require carefully optimized processing windows to balance structural hardness and surface integrity (Bartolomeu et al., 2019; Zadpoor, 2019). In demanding aerospace and biomedical environments, bare Ti6Al4V surfaces remain susceptible to localized mechanical stress, severe wear, and microstructural deterioration (Alvi et al., 2021; Du et al., 2014; Leary, 2017).

To overcome these inherent surface limitations and withstand severe tribological operational conditions, various post-processing surface engineering strategies have been developed. The deposition of hard thin films and ceramic coatings using different techniques, such as physical vapor deposition (PVD), magnetron sputtering, and plasma electrolytic oxidation (PEO), has proven highly effective in enhancing the microhardness and wear resistance of titanium alloys. (Santos et al., 2022; Souček et al., 2026; Tekdir & Yetim, 2025). Particularly for fabricating protective ceramic films, the sol-gel process has become a highly preferred technique due to its cost-effectiveness, low processing temperatures, excellent compositional control, superior homogeneity, and lack of substrate size constraints (Çomakli et al., 2017). For instance, modifying the surface with specific dopants or reinforcing elements significantly limits delamination tendencies, stabilizes the friction coefficient through tribofilm formation (Song et al., 2026), and remarkably increases critical load-bearing capacities (Adeleke et al., 2018).

The evaluation of these surface enhancements heavily relies on understanding the progressive scratch behavior and interfacial adhesion mechanisms of the deposited layers. Research highlights that lateral scratch resistance is fundamentally linked to structural packing density and elastic-plastic deformation regimes (de Macedo et al., 2018). Furthermore, the mechanical response of Ti6Al4V under abrasive loads is highly dependent on strain rates, while structural recovery within scratch grooves is governed by reversible phase transformations triggered by localized stress (Shugurov et al., 2020; Ventura Cervellón et al., 2024). lthough standard adhesion tests, such as Rockwell indentation, are widely employed to verify interfacial bonding, progressive scratch testing coupled with high-resolution profilometry provides a more comprehensive evaluation, capturing critical micro-cracking mechanisms that might otherwise go unnoticed (Ghio et al., 2025).

Despite extensive research on various surface modifications for AM-produced titanium, the specific application and tribo-mechanical evaluation of Cobalt Oxide (CoO) ceramic thin films deposited via the sol-gel dip-coating technique on LPBF-fabricated Ti6Al4V remain largely unexplored. To address this critical gap in the literature, the present study systematically investigates the structural and tribo-mechanical properties of sol-gel CoO-coated LPBF Ti6Al4V substrates.

The structural phase identification, surface microhardness, and coating adhesion resistance were evaluated using X-ray diffraction (XRD), Vickers hardness testing, and progressive scratch testing, respectively. Additionally, the coating thickness and cross-sectional features were accurately determined via scanning electron microscopy (SEM). Finally, the post-scratch track morphologies and surface profiles were comprehensively assessed using 3D optical profilometry, proposing an effective surface enhancement strategy for demanding aerospace applications.

MATERIAL AND METHODS

Gas-atomized Ti6Al4V ELI (Grade 23) alloy powder served as the starting material for substrate preparation. Particle size distribution analysis demonstrated a symmetrical profile, featuring characteristic D_{10}, D_{50}, and D_{90} percentile values of 45.08 µm, 76.91 µm, and 99.92 µm, respectively, confirming a predominantly spherical powder morphology. The detailed elemental breakdown of the Ti6Al4V ELI precursor powder is presented in Table 1.

Table 1. Chemical composition of the precursor Ti6Al4V ELI powder (wt.%).

Material	Ti	Al	V	Fe	O	N	H
Ti6Al4V ELI	Balance	5.5–6.5	3.5–4.5	0–0.25	0–0.13	0–0.5	0–0.012

Prismatic substrate specimens with dimensions of 20 × 20 × 5 mm³ were fabricated using a Concept Laser MLab Cusing-R L-PBF system, which utilizes a continuous-wave ytterbium fiber laser within an inert argon gas atmosphere to minimize interstitial contamination. A bidirectional scanning route was employed at a 90° build orientation relative to the substrate platform. The specific operational L-PBF parameters selected for specimen production are summarized in Table 2.

Table 2. L-PBF manufacturing process parameters.

Parameter	Value
Laser Power (W)	50
Scanning Speed (mm/s)	1000
Layer Thickness (micrometer)	25
Hatch Spacing (micrometer)	45

Prior to deposition, the natural oxide layer on the LPBF-fabricated Ti6Al4V ELI substrates was mechanically removed by grinding with SiC emery paper ranging from 80 to 1000 mesh grit. The substrates were then polished with a 0.3 µm alumina suspension and ultrasonically cleaned in an ethanol bath to remove residual surface contaminants.

For the Cobalt Oxide (CoO) ceramic coating solution, analytical grade cobalt (II) chloride hexahydrate ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$), hydrazine hydrate ($N_2H_4 \cdot H_2O$), and ammonium hydroxide (NH_4OH) were used as received without further purification. A 0.5 M CoO sol-gel precursor solution was synthesized by dissolving the requisite mass of $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ in 100 mL of pure water. Subsequently, 5 mL of hydrazine hydrate was introduced, and NH_4OH was added dropwise until the solution stabilized at pH 10. The resulting solution was continuously stirred using a magnetic stirrer for 2 hours and aged at room temperature for 24 hours.

The film deposition was executed vertically at room temperature using a precision dip-coating unit. The cleaned Ti6Al4V ELI substrates were immersed into the aged CoO precursor at a constant withdrawal and immersion rate of 10 $cm \cdot min^{-1}$. The specimens were held in the solution for a dwell time of 10 minutes, withdrawn at the same controlled rate, and allowed to drain vertically for 10 minutes to remove excess solution. Following immersion, the wet films were intermediate-dried in an oven at 100 °C for 10 minutes. This dipping, draining, and drying sequence was repeated 3 times per sample. Finally, to synthesize the crystalline ceramic phase, calcination was carried out in a thermal heat treatment furnace open to the atmosphere, maintaining a peak temperature of 500 °C for 2 hours.

he crystallographic phase composition of the synthesized samples was identified via X-ray diffraction (XRD) using an XRD-GNR-Explorer diffractometer utilizing Cu-Kα1 radiation (λ = 1.540 Å) generated at 40 kV and 30 mA. Scans were acquired across a 2θ angular range spanning from 10° to 100°. In addition, a scanning electron microscope (SEM, FEI Quanta 250) was employed to evaluate the coating's cross-sectional architecture and inspect the surface track geometries resulting from the scratch tests.
Surface roughness parameters and 3D topographies were mapped using a Bruker Contour GT-I optical profilometer. Vickers microhardness measurements were conducted using a Shimadzu HMV-G-20 microhardness tester, applying a test load of 100 g ($HV_{0.1}$) with a dwell duration of 10 s. Interfacial adhesion strength and scratch failure mechanisms of the coatings were evaluated using a CSM Instruments scratch tester fitted with a Rockwell-C diamond stylus (200 µm tip radius) under a progressive loading rate of 100 N/min.

RESULTS AND DISCUSSION

The crystallographic phase evolution of both the untreated and sol-gel CoO-coated LPBF Ti6Al4V ELI samples is illustrated in Fig. 1. For the untreated substrate, diffraction reflections are dominated by a non-equilibrium, fine acicular martensitic α′-Ti phase alongside minor β-Ti phase peaks. The dominance of the acicular α′-Ti martensite is attributed to the rapid solidification dynamics, steep thermal gradients, and ultra-high cooling rates inherent to the laser powder bed fusion process (Vrancken et al., 2012).

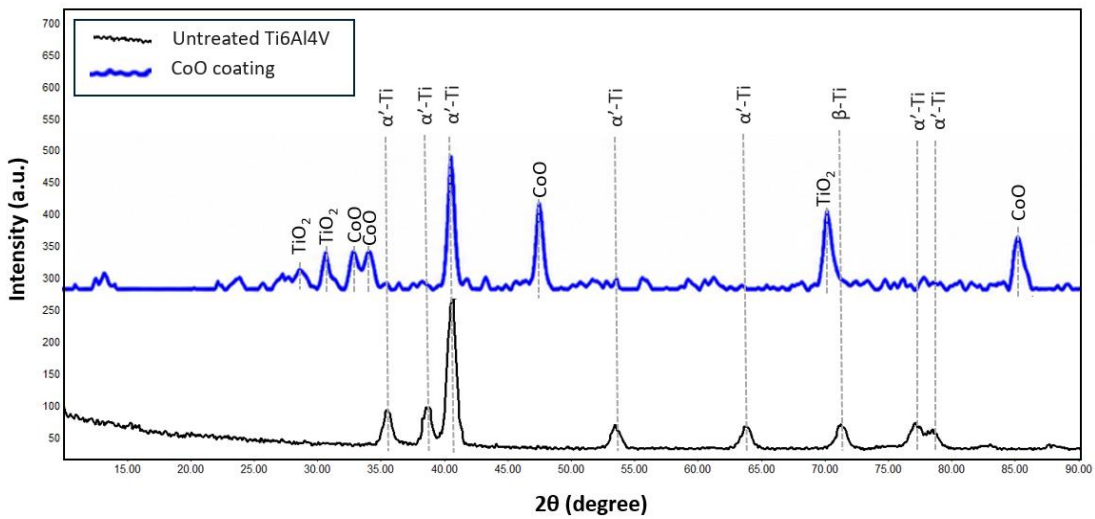


Fig. 1. XRD spectra of untreated and sol-gel CoO-coated LPBF-fabricated Ti6Al4V ELI specimens.

Following sol-gel dip-coating and subsequent thermal calcination at 500 °C, distinct structural changes are observed in the diffraction pattern. As seen in Fig. 1, new diffraction peaks belonging to crystalline Cobalt Oxide (CoO) are clearly detected, confirming the successful synthesis and phase formation of the ceramic layer. In addition to CoO, characteristic peaks corresponding to Titanium Dioxide (TiO_2) are also identified. The formation of TiO_2 is attributed to the localized surface oxidation of the titanium substrate during the thermal calcination treatment conducted in an atmospheric environment at 500 °C. The strong α′-Ti phase reflections originating from the underlying substrate also remain clearly visible in the coated specimen pattern.
The cross-sectional SEM image of the sol-gel CoO coating deposited on the LPBF Ti6Al4V ELI substrate is presented in Fig. 2. The micrograph reveals a compact, highly dense, and non-porous ceramic layer displaying structural integrity without columnar defects or micro-voids. A slightly rough surface texture is observed along the top interface, attributable to the intrinsic surface profile of the substrate and the sol-gel dip-coating mechanics. Quantitative cross-sectional thickness analysis confirms that the synthesized CoO ceramic layer possesses a uniform thickness of approximately 27 µm. Vickers microhardness measurements demonstrated a distinct enhancement in surface mechanical resistance following the sol-gel coating deposition. The untreated LPBF Ti6Al4V ELI substrate exhibited baseline

microhardness values ranging from 390 to 420 $HV_{0.1}$. In contrast, the sol-gel CoO-coated surfaces displayed a consistent and substantial increase, reaching microhardness values between 520 and 540 $HV_{0.1}$. This marked hardness improvement is predominantly driven by the formation of high-rigidity ceramic CoO and TiO_2 phases, as identified in the XRD analysis, working in conjunction with the dense, non-porous layer morphology observed in the Fig.2. The presence of these hard crystalline oxide phases effectively resists localized plastic deformation under mechanical loading, thereby providing enhanced structural integrity to the titanium alloy surface (Yazıcı et al., 2018).

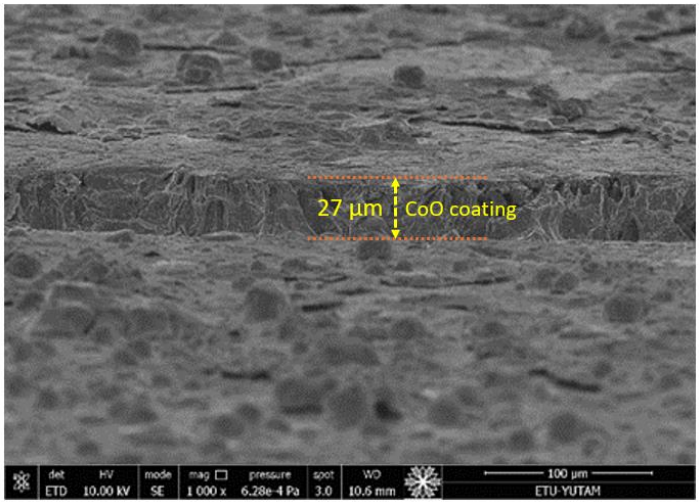


Fig. 2. Cross-sectional SEM micrograph of the sol-gel CoO-coated LPBF Ti6Al4V ELI specimen.

The surface deformation mechanisms and wear track morphologies following progressive scratch testing are presented in Fig. 3 and Fig. 4.

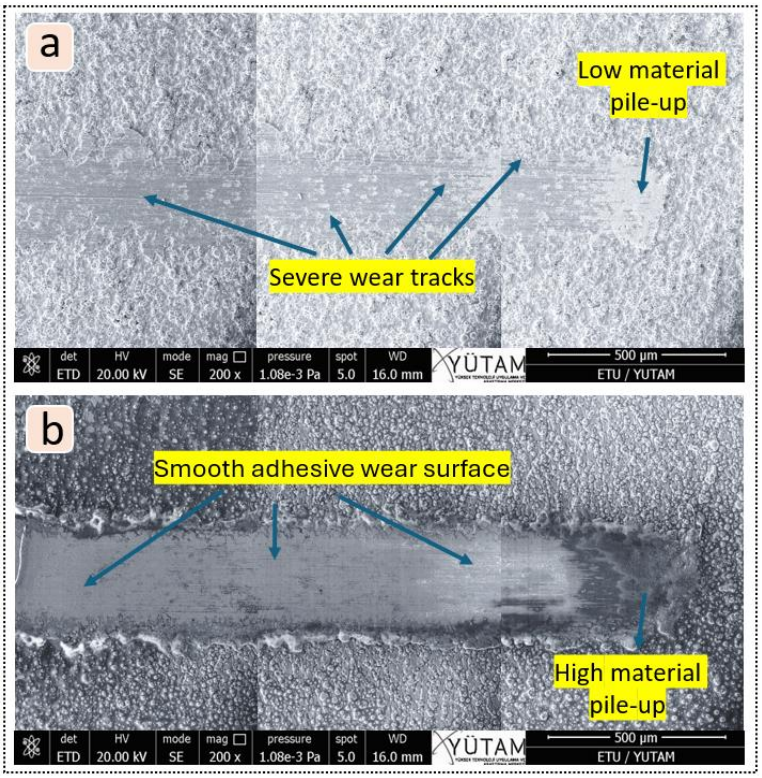


Fig. 3. Post-scratch SEM micrographs of (a) untreated and (b) CoO-coated LPBF Ti6Al4V ELI specimens

The untreated LPBF Ti6Al4V ELI substrate exhibits severe micro-abrasive wear tracks characterized by pronounced plowing grooves and deep metallic scarring (Fig. 3a). Due to the lower surface hardness of the bare alloy, the diamond indenter penetrates deeply into the substrate, inducing plastic displacement and lateral material shearing. Although Ti6Al4V intrinsically exhibits elastic groove recovery driven by localized stress-induced phase transformations (Shugurov et al., 2020), the bare surface lacks sufficient load-bearing capability to resist mechanical plowing under progressive loading, resulting in low edge pile-up and extensive surface damage (Ventura Cervellón et al., 2024). In contrast, the sol-gel CoO-coated sample demonstrates a smooth adhesive wear surface along the scratch path (Fig. 3b). The hard ceramic oxide layer functions as a rigid protective barrier that suppresses severe micro-plowing and distributes localized contact stresses. High material pile-up is observed predominantly at the track terminus without continuous spalling, cracking, or catastrophic interfacial delamination, reflecting high cohesive integrity and robust substrate-coating adhesion (Adeleke et al., 2018; Ghio et al., 2025). Furthermore, the critical delamination load (Lc) of the CoO ceramic coating was evaluated to be approximately 28 N, confirming robust interfacial bonding strength attributed to the thermally induced TiO_2 interlayer and dense sol-gel film structure.

The 3D optical profilometry maps in Fig. 4 further confirm the protective efficacy of the synthesized ceramic layer. The untreated alloy displays a deep, wide scratch groove with significant penetration depth (Fig. 4a). Conversely, the CoO-coated specimen displays a markedly shallower track profile and reduced groove volume (Fig. 4b). The elevated surface microhardness provided by the CoO/TiO_2 ceramic phases effectively limits indenter penetration depth and stabilizes the sliding contact zone during progressive mechanical loading (Song et al., 2026).

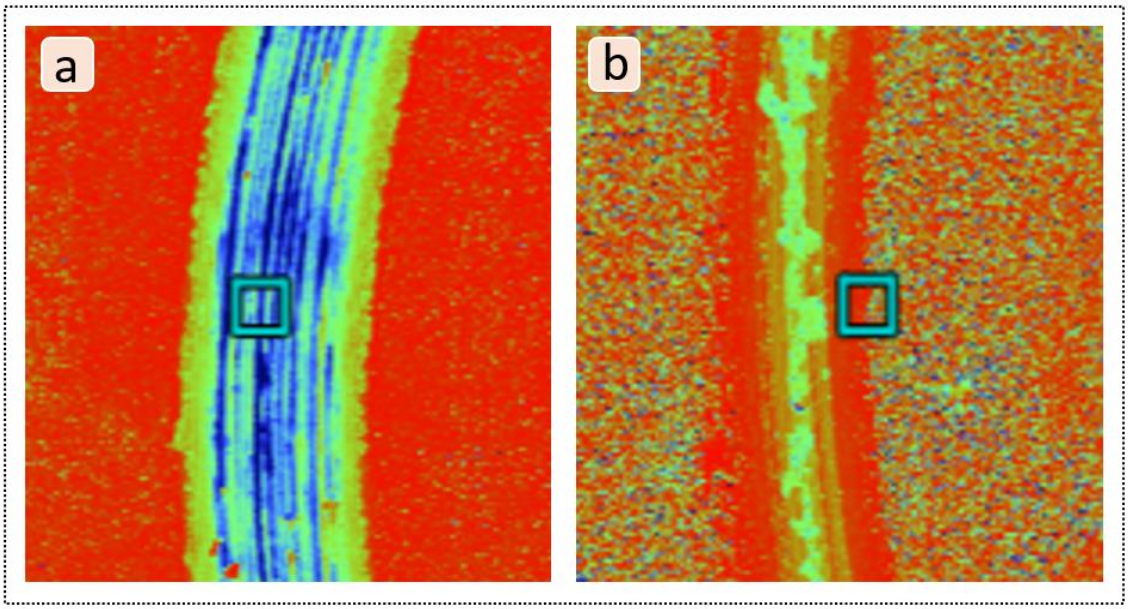


Fig. 4. 3D optical profilometry topographies of scratch tracks for (a) untreated and (b) CoO-coated LPBF Ti6Al4V ELI specimens.

CONCLUSIONS

This study systematically investigated the phase evolution, cross-sectional morphology, microhardness, and progressive scratch behavior of sol-gel CoO ceramic thin films deposited on LPBF-fabricated Ti6Al4V ELI substrates for aerospace applications. Key conclusions are drawn as follows:

- XRD analysis confirmed the successful synthesis of a crystalline CoO ceramic layer alongside localized surface TiO_2 formation during atmospheric calcination at 500 °C, while retaining the baseline acicular α'-Ti martensitic structure of the LPBF substrate.

- Cross-sectional SEM micrographs demonstrated a highly dense, compact, and non-porous CoO ceramic layer with a uniform thickness of approximately 27 µm, effectively enhancing the surface microhardness from 390–420 $HV_{0.1}$ (untreated) to 520–540 $HV_{0.1}$.
- Progressive scratch testing revealed that while the untreated LPBF substrate suffered from severe micro-abrasive wear and deep plowing grooves (with no defined Lc due to immediate plastic deformation), the sol-gel CoO coating produced a smooth adhesive wear track, achieving a critical delamination load (Lc) of approximately 28 N without catastrophic spalling.
- 3D optical profilometry verified a significant reduction in scratch groove depth and volume, demonstrating that sol-gel CoO deposition provides a cost-effective and reliable surface modification route to enhance the mechanical integrity of additive manufactured titanium components.

REFERENCES

Adeleke, S. A., Bushroa, A. R., Kusumawan Herliansyah, M., Sopyan, I., Jefrey Basirun, W., & Ladan, M. (2018). Preparation, scratch adhesion and anti-corrosion performance of TiO2-MgO-BHA coating on Ti6Al4V implant by plasma electrolytic oxidation technique. *Journal of Adhesion Science and Technology*, *32*(1), 91–102. https://doi.org/10.1080/01694243.2017.1341772

Alvi, S., Neikter, M., Antti, M. L., & Akhtar, F. (2021). Tribological performance of Ti6Al4V at elevated temperatures fabricated by electron beam powder bed fusion. *Tribology International*, *153*(August 2020), 106658. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106658

Bartolomeu, F., Costa, M. M., Gomes, J. R., Alves, N., Abreu, C. S., Silva, F. S., & Miranda, G. (2019). Implant surface design for improved implant stability – A study on Ti6Al4V dense and cellular structures produced by Selective Laser Melting. *Tribology International*, *129*(May 2018), 272–282. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.08.012

Bourell, D. L. (2016). Perspectives on Additive Manufacturing. *Annual Review of Materials Research*, *46*, 1–18. https://doi.org/10.1146/annurev-matsci-070115-031606

Çomakli, O., Yazici, M., Yetim, T., Yetim, A. F., & Çelik, A. (2017). The Effects of Aging Time on the Structural and Electrochemical Properties of Composite Coatings on CP-Ti Substrate. *Journal of Bionic Engineering*, *14*(3), 532–539. https://doi.org/10.1016/S1672-6529(16)60419-5

de Macedo, G. N. B. M., Sawamura, S., & Wondraczek, L. (2018). Lateral hardness and the scratch resistance of glasses in the Na2O-CaO-SiO2 system. *Journal of Non-Crystalline Solids*, *492*(April), 94–101. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2018.04.022

Du, D., Liu, D., Ye, Z., Zhang, X., Li, F., Zhou, Z., & Yu, L. (2014). Fretting wear and fretting fatigue behaviors of diamond-like carbon and graphite-like carbon films deposited on Ti-6Al-4V alloy. *Applied Surface Science*, *313*, 462–469. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.06.006

Ghio, E., Bonilauri, M. F., Bolelli, G., Colombi, P., & Cerri, E. (2025). A Novel Approach to Rockwell and Scratch Adhesion Tests for Hard Coatings Deposited onto Ti6Al4V Substrates. *Metals*, *15*(9), 1–27. https://doi.org/10.3390/met15090994

Kaletsch, A., Qin, S., Herzog, S., & Broeckmann, C. (2021). Influence of high initial porosity introduced by laser powder bed fusion on the fatigue strength of Inconel 718 after post-processing with hot isostatic pressing. *Additive Manufacturing*, *47*(March), 102331. https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102331

Leary, M. (2017). Surface roughness optimisation for selective laser melting (SLM): Accommodating relevant and irrelevant surfaces. In *Laser Additive Manufacturing: Materials, Design, Technologies, and Applications*. Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100433-3.00004-X

Liu, F., Zhang, X., Chen, J., Liang, H., Luo, T., & Xu, J. (2025). Additive manufactured 3D auxetic metamaterial designed by minimal surfaces with enhanced ductility. *Journal of Alloys and Compounds*, *1036*(June), 181679. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.181679

Santos, P. B., de Castro, V. V., Baldin, E. K., Aguzzoli, C., Longhitano, G. A., Jardini, A. L., Lopes, É. S. N., de Andrade, A. M. H., & de Fraga Malfatti, C. (2022). Wear Resistance of Plasma Electrolytic Oxidation Coatings on Ti-6Al-4V Eli Alloy Processed by Additive Manufacturing. *Metals*, *12*(7). https://doi.org/10.3390/met12071070

Shugurov, A. R., Panin, A. V., Dmitriev, A. I., & Nikonov, A. Y. (2020). Recovery of scratch grooves in Ti-6Al-4V alloy caused by reversible phase transformations. *Metals*, *10*(10), 1–14. https://doi.org/10.3390/met10101332

Song, Y., Yin, W., Mohd Foudzi, F., Sulong, A. B., Qian, L. G., Jiang, X. T., Zhang, M. C., & Wang, H. X. (2026). Microstructure and scratch properties of GO/TC4 composites by selective laser melting. *Journal of Materials Research and Technology*, *42*(March), 7714–7723. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2026.04.263

Souček, P., Debnárová, S., Zuzjaková, Š., Lin, S., Fekete, M., Czigány, Z., Balázsi, K., Vrána, L., Pitoňáková, T., Jašek, O., Zeman, P., & Koutná, N. (2026). Journal of the European Ceramic Society High- and medium-entropy nitride coatings from the Cr – Hf – Mo – Ta – W – N system : Properties and high-temperature stability. *Journal of the European Ceramic Society*, *46*(10), 118262. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2026.118262

Tekdir, H., & Yetim, A. F. (2025). Multi-pass scratch properties of titanium and vanadium-doped diamond-like carbon coatings applied on commercially pure titanium under different tribological environments: Dry, bio-aqueous, and lubricated conditions. *Materials Letters*, *398*, 138913. https://doi.org/10.1016/J.MATLET.2025.138913

Ventura Cervellón, A. M., Varga, M., Rodríguez Ripoll, M., & Eder, S. J. (2024). Resolving high-strain-rate scratch behavior of Ti6Al4V in experiment and meshless simulation. *Wear*, *558–559*(March), 205554. https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205554

Vrancken, B., Thijs, L., Kruth, J. P., & Van Humbeeck, J. (2012). Heat treatment of Ti6Al4V produced by Selective Laser Melting: Microstructure and mechanical properties. *Journal of Alloys and Compounds*, *541*, 177–185. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.07.022

Yazıcı, M., Kovacı, H., Yetim, A. F., & Çelik, A. (2018). Structural, mechanical and tribological properties of Ti and TiN coatings on 316L stainless steel. *Ceramics International*, *44*(12), 14195–14201. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.05.022

Zadpoor, A. A. (2019). Mechanical performance of additively manufactured meta-biomaterials. *Acta Biomaterialia*, *85*, 41–59. https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.12.038

MAINTENANCE CHALLENGES IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: A CONCEPTUAL REVIEW

Asst. Prof. Dr. Tarik Güneş
İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics
ORCID: 0000-0003-3098-7654

Res. Asst. Tolunay Dağ
İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics
ORCID: 0000-0003-1514-5336

ABSTRACT
Unmanned Aircraft Systems (UAS) have become increasingly important in both civilian and military aviation due to their operational flexibility, cost-effectiveness, and expanding application areas. However, the rapid growth of UAS operations has introduced significant maintenance challenges that directly influence system reliability, operational continuity, and flight safety. Unlike conventional manned aircraft, UAS maintenance extends beyond the air vehicle itself and includes ground control stations, communication links, software, and mission support systems, resulting in a more complex maintenance environment. Furthermore, the widespread use of commercial off-the-shelf (COTS) components, limited maintenance standardization, and the involvement of operators with varying levels of technical expertise further complicate maintenance management. Recent studies indicate a paradigm shift from traditional preventive maintenance toward condition-based and predictive maintenance approaches supported by intelligent health monitoring technologies. In particular, advances in artificial intelligence, real-time diagnostics, and Remaining Useful Life (RUL) prediction provide new opportunities for improving maintenance efficiency and reducing unexpected failures. This study presents a conceptual review of current maintenance challenges in UAS by synthesizing recent literature on maintenance strategies, critical component failures, intelligent maintenance technologies, regulatory issues, and maintenance competency requirements. The findings suggest that future UAS maintenance systems should integrate predictive maintenance, digital technologies, and human-centered maintenance practices within a comprehensive maintenance management framework to enhance safety, reliability, and operational sustainability
Keywords: Aircraft Maintenance, Condition-Based Maintenance, Reliability, Predictive Maintenance, Unmanned Aircraft Systems

INTRODUCTION
Unmanned Aircraft Systems (UAS) have experienced remarkable growth over the past two decades, transforming from primarily military platforms into versatile technologies supporting a wide range of civilian applications, including infrastructure inspection, agriculture, environmental monitoring, logistics, emergency response, and surveillance. Their operational flexibility, relatively low acquisition and operating costs, and rapidly advancing autonomous capabilities have significantly accelerated their adoption across numerous industries (DODU, 2024; Liu et al., 2024). As the number and complexity of UAS operations continue to increase, maintaining high levels of operational safety, system availability, and mission reliability has become an increasingly important challenge.
Maintenance has long been recognized as one of the primary factors affecting aviation safety and aircraft reliability. However, maintenance concepts developed for conventional manned aircraft cannot be directly transferred to UAS because of substantial differences in system architecture, operational profiles, regulatory structures, and maintenance responsibilities. Unlike traditional aircraft maintenance, UAS maintenance encompasses not only the air vehicle itself but also ground control stations, communication links, onboard sensors, software systems, and mission support infrastructure. Furthermore, maintenance activities are frequently conducted under field conditions by operators with varying levels of aviation maintenance knowledge, creating additional challenges for maintenance planning, inspection, and fault diagnosis (Shafiee et al., 2021; AliFarsi, 2023).

Recent studies indicate that current maintenance practices are undergoing a significant transformation. Conventional preventive maintenance strategies based primarily on fixed inspection intervals are gradually being replaced by Condition-Based Maintenance (CBM), Prognostics and Health Management (PHM), and Predictive Maintenance (PdM) approaches supported by intelligent monitoring technologies. The increasing availability of sensor data, machine learning algorithms, and real-time health monitoring systems enables maintenance decisions to be based on the actual condition of critical components rather than predefined maintenance schedules. This transition has the potential to improve operational availability while reducing maintenance costs and unexpected failures (Cui et al., 2020; Liu et al., 2024; Andrioaia, 2025).

Despite these technological advancements, several important maintenance challenges remain insufficiently addressed in the current literature. Existing studies generally focus on individual issues such as maintenance optimization, battery health monitoring, reliability analysis, or intelligent maintenance systems. Comparatively fewer studies provide an integrated overview of the technical, operational, organizational, and regulatory challenges associated with UAS maintenance. Therefore, this study aims to present a conceptual review of the current maintenance challenges affecting Unmanned Aircraft Systems by synthesizing recent literature on maintenance strategies, critical component failures, intelligent maintenance technologies, maintenance competencies, and future research directions. By integrating these perspectives, the study seeks to provide a comprehensive understanding of the evolving maintenance ecosystem required to support the safe and sustainable expansion of UAS operations.

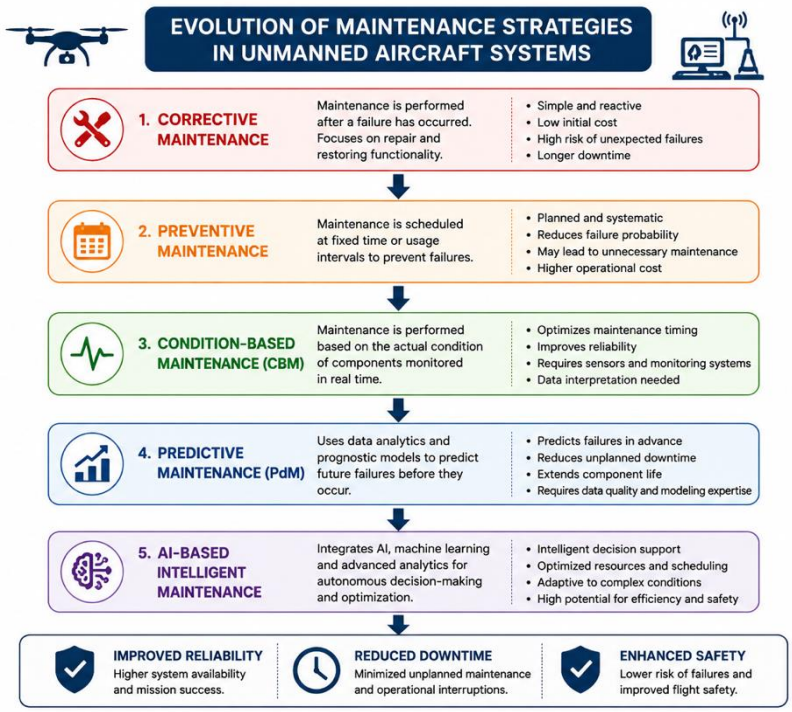


Figure 1. Evolution of Maintenance Strategies in Unmanned Aircraft Systems.

Figure 1 shows the evolution of maintenance strategies adopted in Unmanned Aircraft Systems. Traditional corrective maintenance, which focuses on repairing components after failure, has gradually evolved toward preventive maintenance based on predetermined inspection intervals. Recent technological developments have accelerated the transition to Condition-Based Maintenance (CBM), where maintenance actions are determined according to the actual health condition of system components. Building upon this approach, Predictive Maintenance (PdM) employs sensor data, diagnostics, and prognostic models to estimate future failures before they occur. The latest stage of this evolution integrates artificial intelligence, machine learning, and intelligent health monitoring systems to optimize maintenance planning, improve system reliability, and reduce operational risks.

This conceptual framework provides the foundation for the maintenance approaches discussed throughout this review.

MAINTENANCE CHALLENGES IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Maintenance in Unmanned Aircraft Systems (UAS) involves a broad range of technical, operational, and organizational challenges that differ substantially from those encountered in conventional aviation. The increasing complexity of UAS architectures, together with the integration of communication networks, software, intelligent control systems, and commercial off-the-shelf components, has transformed maintenance into a multidisciplinary process requiring new maintenance philosophies and technologies. The following sections discuss the principal maintenance challenges identified in the current literature, including the unique characteristics of UAS maintenance, critical component failures, emerging maintenance strategies, intelligent maintenance technologies, and the evolving requirements for maintenance training and regulatory compliance

Characteristics of UAS Maintenance

Maintenance has long been recognized as one of the primary determinants of aviation safety, operational reliability, and system availability. However, maintenance practices developed for conventional manned aircraft cannot be directly applied to Unmanned Aircraft Systems (UAS) because these systems possess significantly different operational characteristics, architectures, and maintenance requirements. Unlike traditional aircraft, UAS maintenance extends beyond the physical aircraft to include ground control stations, communication links, onboard sensors, software, mission planning systems, and data transmission infrastructure. Consequently, maintenance activities must address the reliability of an integrated system rather than a single flying platform (Shafiee et al., 2021; Liu et al., 2024).

Another distinguishing characteristic of UAS maintenance is the diversity of operational environments. Many unmanned aircraft operate in remote locations, agricultural fields, offshore facilities, disaster areas, or military environments where maintenance resources, specialized equipment, and certified maintenance personnel may not always be readily available. Under these conditions, inspection, troubleshooting, and repair activities often need to be performed in the field, increasing the complexity of maintenance planning and decision-making (DODU, 2024). In addition, operators responsible for maintenance activities may possess varying levels of technical knowledge and aviation maintenance experience, leading to inconsistencies in maintenance quality and inspection effectiveness (AliFarsi, 2023).

The increasing use of Commercial Off-the-Shelf (COTS) components introduces another important maintenance challenge. Although COTS components reduce acquisition costs and accelerate technological development, they are generally designed for commercial rather than aviation-specific applications. As a result, they may not provide the level of reliability, redundancy, documentation, or certification expected in safety-critical aviation systems. This situation complicates reliability assessment, maintenance scheduling, and lifecycle management while increasing uncertainty regarding component durability and failure behavior (Mohsan et al., 2023; Petritoli et al., 2018).

Furthermore, UAS maintenance differs from conventional aviation due to the close interaction between hardware and software components. Software updates, firmware compatibility, communication protocols, and sensor calibration have become integral elements of maintenance activities. Consequently, maintenance personnel must evaluate not only mechanical integrity but also software functionality and system interoperability to ensure safe and reliable operation. This increasing integration of digital technologies indicates that future UAS maintenance will require multidisciplinary maintenance approaches combining traditional aircraft maintenance practices with software management, data analytics, and intelligent system monitoring (Li et al., 2025; Liu et al., 2024).

Critical Components and Failure Mechanisms

The reliability of Unmanned Aircraft Systems (UAS) largely depends on the performance and health of several critical components whose failures may directly affect flight safety and mission success. Compared with conventional aircraft, many UAS platforms operate with lightweight structures and compact propulsion systems that are frequently exposed to varying environmental conditions, repetitive

flight cycles, and intensive operational demands. Consequently, identifying failure mechanisms and understanding component degradation have become essential for developing effective maintenance strategies and improving overall system reliability (Petritoli et al., 2018; Liu et al., 2024).

Among the most safety-critical components of UAS are propulsion systems, particularly Brushless Direct Current (BLDC) motors. These motors are widely used because of their high efficiency, compact size, and low maintenance requirements. Nevertheless, prolonged operation may result in bearing wear, shaft eccentricity, winding degradation, overheating, and rotor imbalance, all of which can progressively reduce propulsion performance and increase the probability of in-flight failures. Propeller damage and imbalance further amplify mechanical vibrations, accelerating the deterioration of associated components and adversely affecting flight stability (Lu et al., 2019; Andrioaia, 2025).

Energy storage systems represent another major maintenance concern. Lithium-ion batteries remain the dominant power source for most UAS due to their high energy density; however, their performance gradually deteriorates as a result of repeated charge–discharge cycles, aging, temperature variations, and operational loading. Battery degradation reduces available flight time and may eventually compromise mission safety. Consequently, monitoring the State of Health (SoH) and estimating the Remaining Useful Life (RUL) of batteries have become critical maintenance activities. Recent studies indicate that continuous battery health monitoring enables maintenance interventions to be planned before significant performance degradation or unexpected failures occur (Andrioaia, 2025).

In addition to propulsion and power systems, modern UAS rely heavily on electronic components, sensors, communication modules, and flight control systems. Failures affecting navigation sensors, communication links, or onboard electronic systems may not immediately result in complete mission failure but can progressively degrade operational performance. These gradual degradations, commonly referred to as soft failures, often remain undetected during routine inspections while significantly increasing operational risk over time. Identifying such failures at an early stage requires continuous monitoring, diagnostic algorithms, and advanced maintenance decision-support systems capable of detecting subtle changes in system performance before functional failure occurs (Cui et al., 2020; Liu et al., 2024).

The increasing complexity and interdependence of UAS components indicate that maintenance should focus not only on individual component reliability but also on the interactions among propulsion systems, energy storage units, sensors, communication infrastructure, and software-based control systems. A comprehensive understanding of these failure mechanisms provides the foundation for transitioning from conventional maintenance practices toward intelligent and predictive maintenance approaches capable of improving safety, reducing operational interruptions, and extending component life.

Table 1 summarizes the major UAS components discussed in the literature together with their typical failure mechanisms and corresponding maintenance implications. As shown in the table, propulsion systems and lithium-ion batteries represent the most maintenance-critical components because their degradation directly influences flight safety and mission reliability. In addition, failures associated with sensors, communication systems, and flight controllers highlight that UAS maintenance should be considered from a system-level perspective rather than focusing solely on the aircraft platform.

Table 1. Critical UAS Components and Typical Maintenance Challenges (Developed by the authors based on the reviewed literature)

UAS Component	Common Failure Mechanisms	Maintenance Implications
BLDC Motor	Bearing wear, shaft eccentricity, overheating	Performance degradation, increased vibration
Propeller	Cracks, imbalance, impact damage	Reduced flight stability
Li-ion Battery	Capacity fade, aging, thermal degradation	Reduced endurance, SoH monitoring
Sensors	Calibration errors, signal degradation	Reduced navigation accuracy
Communication System	Signal loss, data latency	Mission interruption
Flight Controller	Software faults, hardware failures	Loss of flight control

As presented in Table 1, UAS maintenance extends beyond conventional mechanical inspections by requiring continuous monitoring of both physical and digital system components. The diversity of failure mechanisms indicates that no single maintenance approach is sufficient for ensuring long-term system reliability. Consequently, maintenance strategies have gradually evolved from traditional preventive approaches toward condition-based and predictive maintenance supported by intelligent monitoring technologies. This transition is discussed in the following section.

Emerging Maintenance Strategies

The increasing complexity of Unmanned Aircraft Systems (UAS) has accelerated the transition from traditional maintenance philosophies toward more intelligent and data-driven maintenance strategies. Conventional maintenance approaches, particularly Preventive Maintenance (PM), primarily rely on predefined inspection intervals or operating hours regardless of the actual condition of system components. Although this approach has long been adopted in aviation to improve operational safety, it may lead to unnecessary maintenance activities or fail to detect unexpected component degradation occurring between scheduled inspections (AliFarsi, 2023).

To overcome these limitations, recent research has increasingly focused on Condition-Based Maintenance (CBM), which determines maintenance requirements according to the actual health condition of system components. CBM utilizes continuous monitoring technologies, sensor data, and diagnostic techniques to assess component degradation during operation, allowing maintenance actions to be performed only when deterioration reaches predefined thresholds. This approach not only improves maintenance efficiency but also reduces unnecessary component replacement and maintenance costs while increasing system availability (Liu et al., 2024).

Building upon CBM, Predictive Maintenance (PdM) represents the next stage in maintenance evolution by estimating future failures before they occur. Rather than simply identifying current component conditions, predictive maintenance employs prognostic models, historical operational data, and machine learning algorithms to estimate the Remaining Useful Life (RUL) of critical components. This capability enables maintenance personnel to schedule maintenance activities proactively, minimizing unexpected failures and reducing operational downtime. Recent studies indicate that predictive maintenance is particularly valuable for monitoring lithium-ion batteries, propulsion systems, and other safety-critical UAS components whose degradation occurs progressively throughout their operational life (Andrioaia, 2025; Cui et al., 2020).

Another significant development is the integration of Prognostics and Health Management (PHM) technologies with intelligent maintenance systems. Modern PHM frameworks combine diagnostics, health assessment, fault prediction, and maintenance decision support within a unified maintenance architecture. By continuously evaluating component conditions through sensor networks and intelligent algorithms, these systems provide maintenance personnel with timely recommendations regarding inspection intervals, component replacement, and maintenance prioritization. Such integrated approaches contribute to improved reliability, optimized maintenance planning, and enhanced operational safety (Cui et al., 2020; Liu et al., 2024).

Overall, the literature demonstrates a clear paradigm shift from reactive and schedule-based maintenance toward predictive, intelligent, and data-driven maintenance management. As UAS technologies continue to evolve, future maintenance systems are expected to integrate artificial intelligence, digital monitoring technologies, and advanced decision-support tools to improve maintenance effectiveness while reducing operational risks and lifecycle costs (Li et al., 2025).

Intelligent Maintenance Technologies

Recent advances in digital technologies have significantly transformed maintenance practices in Unmanned Aircraft Systems (UAS). The increasing availability of onboard sensors, communication networks, and high-capacity data processing technologies has enabled the continuous collection and analysis of operational data throughout the aircraft lifecycle. These developments have shifted maintenance activities from reactive fault correction toward intelligent maintenance systems capable of supporting real-time diagnostics, health assessment, and maintenance decision-making (Cui et al., 2020; Li et al., 2025).

Artificial intelligence has become one of the key enabling technologies supporting this transformation. Machine learning algorithms can analyze large volumes of operational and maintenance data to identify hidden degradation patterns that may not be detected through conventional inspection methods. Such capabilities allow maintenance systems to recognize abnormal operating conditions, estimate component degradation, and provide maintenance recommendations before failures occur. As a result, maintenance planning becomes increasingly proactive, reducing unexpected failures while improving operational reliability and resource utilization (Andrioaia, 2025; Li et al., 2025).

Another important technological development is the integration of intelligent diagnostics with Prognostics and Health Management (PHM) systems. Modern PHM architectures continuously evaluate system health using information collected from multiple sensors installed throughout the aircraft. This integrated approach enables maintenance personnel to monitor component conditions, assess degradation trends, estimate Remaining Useful Life (RUL), and prioritize maintenance activities according to operational risk rather than fixed maintenance schedules. Consequently, maintenance resources can be allocated more efficiently while minimizing unnecessary inspections and component replacements (Cui et al., 2020; Liu et al., 2024).

The successful implementation of intelligent maintenance technologies, however, depends on several technical and organizational factors. High-quality operational data, reliable sensor networks, robust communication infrastructure, and accurate prediction algorithms are essential for ensuring effective maintenance decision-making. Furthermore, integrating artificial intelligence into maintenance processes requires standardized data management, continuous model validation, and appropriate human oversight to ensure that automated maintenance recommendations remain reliable and operationally acceptable (Li et al., 2025).

Overall, intelligent maintenance technologies are expected to play an increasingly important role in future UAS maintenance systems. Their ability to combine real-time monitoring, predictive analytics, and automated decision support provides significant opportunities for improving maintenance efficiency, extending component life, and enhancing operational safety. As UAS operations continue to expand across civilian and military applications, intelligent maintenance is likely to become a fundamental element of next-generation maintenance management.

Maintenance Training and Regulatory Challenges

The continued expansion of Unmanned Aircraft Systems (UAS) operations has created new challenges not only for maintenance technologies but also for maintenance personnel, organizational practices, and regulatory frameworks. Unlike conventional aviation, where maintenance activities are performed within highly standardized organizations by licensed aircraft maintenance engineers, many UAS maintenance operations are conducted under diverse operational environments with varying organizational structures and personnel qualifications. This diversity has increased the need for standardized maintenance procedures, competency requirements, and regulatory guidance specifically developed for UAS maintenance (DODU, 2024).

One of the major challenges identified in the literature is the lack of maintenance personnel possessing both aviation maintenance knowledge and UAS-specific technical competencies. Modern UAS maintenance requires an interdisciplinary understanding of mechanical systems, electrical and electronic components, communication technologies, software, and autonomous control systems. Consequently, maintenance personnel are expected to possess broader technical competencies than those traditionally associated with conventional aircraft maintenance. Developing such multidisciplinary expertise has become an important requirement for maintaining operational safety and system reliability (Mohsan et al., 2023).

The regulatory environment surrounding UAS maintenance also continues to evolve. While conventional aviation maintenance is supported by internationally harmonized certification and continuing airworthiness requirements, comparable maintenance regulations for many categories of UAS remain under development. Differences in aircraft size, operational risk, mission profiles, and levels of autonomy make it difficult to establish universally applicable maintenance standards. As a result, maintenance planning, inspection intervals, documentation practices, and maintenance

responsibilities often vary across operators and operational sectors, creating additional challenges for ensuring consistent maintenance quality (AliFarsi, 2023; DODU, 2024).

Furthermore, the increasing adoption of intelligent maintenance technologies requires corresponding changes in maintenance education and professional development. Maintenance personnel will need competencies related to data interpretation, health monitoring systems, artificial intelligence-supported diagnostics, and digital maintenance management in addition to traditional inspection and troubleshooting skills. Integrating these emerging competencies into maintenance training programs will be essential for supporting the transition toward predictive and intelligent maintenance systems while maintaining high standards of aviation safety (Li et al., 2025).

Overall, the literature suggests that future UAS maintenance will depend not only on technological innovation but also on the development of competent maintenance personnel, effective organizational practices, and harmonized regulatory frameworks. Strengthening these complementary elements will be essential for ensuring the safe, reliable, and sustainable operation of increasingly complex UAS platforms.

TOWARDS NEXT-GENERATION UAS MAINTENANCE

The future of Unmanned Aircraft Systems (UAS) maintenance will be shaped by rapid advances in automation, artificial intelligence, digitalization, and intelligent maintenance technologies. While recent studies have introduced innovative maintenance concepts and optimization techniques, significant challenges remain in developing maintenance systems capable of supporting increasingly autonomous and complex UAS operations. Therefore, next-generation UAS maintenance should move beyond conventional maintenance practices toward integrated, data-driven, and intelligent maintenance ecosystems.

One of the most promising directions for future UAS maintenance is the broader adoption of predictive maintenance supported by artificial intelligence and machine learning. Current studies have demonstrated the potential of intelligent algorithms to estimate component degradation and Remaining Useful Life (RUL); however, additional research is required to improve prediction accuracy under diverse environmental conditions and operational profiles. Future maintenance systems should be capable of continuously analyzing operational data collected from multiple UAS platforms to support more reliable and adaptive maintenance decision-making (Andrioaia, 2025; Cui et al., 2020).

Another important priority is the development of integrated maintenance management systems capable of simultaneously monitoring multiple interconnected components. Existing maintenance approaches frequently evaluate propulsion systems, batteries, sensors, or communication systems independently. Future maintenance architectures should adopt system-level health management principles that consider interactions among these components and optimize maintenance decisions for the entire UAS rather than individual subsystems. Such an integrated approach has the potential to improve operational reliability while reducing maintenance costs and unplanned downtime (Liu et al., 2024; Li et al., 2025).

Digital transformation is expected to become another key element of next-generation UAS maintenance. The integration of intelligent sensors, cloud-based maintenance databases, digital twins, and automated decision-support systems may significantly enhance maintenance planning and operational efficiency. Nevertheless, additional research is needed to establish standardized data architectures, improve interoperability among maintenance platforms, and ensure the reliability and transparency of artificial intelligence-supported maintenance recommendations (Li et al., 2025).

Future developments should also address the human and organizational dimensions of UAS maintenance. Although technological innovations continue to receive considerable attention, relatively limited research has focused on maintenance personnel competencies, human reliability, maintenance decision-making, and organizational maintenance management within UAS operations. Preparing maintenance personnel to effectively utilize intelligent maintenance technologies will require multidisciplinary education combining traditional aircraft maintenance knowledge with data analytics, digital systems, and artificial intelligence applications (AliFarsi, 2023; Mohsan et al., 2023).

Finally, the long-term success of next-generation UAS maintenance will depend on the establishment of harmonized regulatory frameworks capable of supporting rapidly evolving technologies. As autonomous capabilities, intelligent maintenance systems, and digital maintenance environments

become increasingly common, maintenance regulations should evolve accordingly while maintaining high standards of aviation safety and continuing airworthiness. Future research should therefore contribute to the development of internationally applicable maintenance standards that promote both technological innovation and operational reliability (DODU, 2024; Mohsan et al., 2023).

Overall, next-generation UAS maintenance should integrate predictive analytics, intelligent monitoring technologies, multidisciplinary maintenance competencies, and harmonized regulatory practices within a comprehensive maintenance management framework. Such an integrated ecosystem will be essential for improving system reliability, reducing lifecycle costs, enhancing operational safety, and supporting the sustainable expansion of UAS operations across both civilian and military aviation.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The rapid expansion of Unmanned Aircraft Systems (UAS) has fundamentally transformed modern aviation while simultaneously introducing new maintenance challenges that differ significantly from those encountered in conventional aircraft operations. This conceptual review demonstrates that UAS maintenance extends far beyond the inspection and repair of the aircraft itself, encompassing ground control stations, communication systems, software, sensors, propulsion systems, and energy storage technologies. Consequently, maintaining operational safety and system reliability requires a comprehensive maintenance approach capable of addressing both physical and digital system components.

The reviewed literature indicates that conventional time-based maintenance strategies are becoming increasingly insufficient for supporting the growing complexity of modern UAS platforms. Advances in sensor technologies, artificial intelligence, and health monitoring systems have accelerated the transition toward Condition-Based Maintenance (CBM), Predictive Maintenance (PdM), and intelligent maintenance systems capable of supporting proactive maintenance decision-making. These approaches provide significant opportunities for improving system availability, extending component life, reducing maintenance costs, and minimizing unexpected failures.

Another important conclusion emerging from this review is that future UAS maintenance should not be viewed solely as a technological challenge. Effective maintenance management also depends on qualified maintenance personnel, standardized maintenance procedures, reliable maintenance data, and appropriate regulatory frameworks. As intelligent maintenance technologies continue to evolve, maintenance organizations will increasingly require multidisciplinary competencies combining conventional aircraft maintenance expertise with digital technologies, data analytics, and artificial intelligence applications.

Overall, the findings of this study suggest that the future of UAS maintenance lies in the development of integrated maintenance ecosystems that combine intelligent diagnostics, predictive analytics, system-level health management, and human expertise within harmonized maintenance frameworks. Such an approach will support safer, more reliable, and more sustainable UAS operations while enabling maintenance systems to adapt to the increasing autonomy and technological complexity of next-generation unmanned aircraft.

Finally, this conceptual review provides a foundation for future studies investigating intelligent maintenance architectures, integrated health management systems, maintenance competency frameworks, and regulatory developments supporting next-generation UAS maintenance. Continued interdisciplinary collaboration among researchers, industry, and regulatory authorities will be essential for translating these emerging maintenance concepts into practical and standardized maintenance solutions for the evolving UAS sector.

REFERENCES

AliFarsi, M. (2023). RBM-MCDM framework for optimization of maintenance and inspection intervals of small unmanned aircrafts. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 29(3), 569–588. https://doi.org/10.1108/JQME-04-2021-0032

Andrioaia, D. A. (2025). Predictive maintenance system to RUL prediction of Li-Ion batteries and identify the fault type of brushless DC electric motor from UAVs. Sensors, 25(15). https://doi.org/10.3390/s25154782

Bhamidipati, K. K., Uhlig, D., & Neogi, N. (2007). Engineering safety and reliability into UAV systems: Mitigating the ground impact hazard. In Collection of Technical Papers AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2007 (Vol. 2, pp. 1796–1807). https://doi.org/10.2514/6.2007-6510

Cui, A., Zhang, Y., Zhang, P., Dong, W., & Wang, C. (2020). Intelligent health management of fixed-wing UAVs: A deep-learning-based approach. In 2020 16th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV) (pp. 1055–1060). https://doi.org/10.1109/ICARCV50220.2020.9305491

DODU, P.-E. (2024). Maintenance aspects of Ukrainian drones. Strategic Impact, 91(2), 112–129. https://doi.org/10.53477/1842-9904-24-12

Li, Q., Cui, L., Wang, Q., Guo, A., & Yuan, H. (2025). Construction and application of an agent-based intelligent operation and maintenance system for UAV. Drones, 9(4). https://doi.org/10.3390/drones9040309

Liu, G., Li, X., Sun, S., Zhao, X., & Li, B. (2024). Design of a multi-component system-based fixed-wing unmanned aerial vehicle maintenance policy and its case study. Computers & Industrial Engineering, 198. https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110701

Lu, Y., Qian, Y., Huangfu, H., Zhang, S., & Fu, S. (2019). Ensuring the safety sustainability of large UAS: Learning from the maintenance risk dynamics of USAF MQ-1 Predator fleet in the last two decades. Sustainability, 11(4). https://doi.org/10.3390/su11041129

Mohsan, S. A. H., Othman, N. Q. H., Li, Y., Alsharif, M. H., & Khan, M. A. (2023). Unmanned aerial vehicles (UAVs): Practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. Intelligent Service Robotics, 16(1), 109–137. https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4

Petritoli, E., Leccese, F., & Ciani, L. (2018). Reliability and maintenance analysis of unmanned aerial vehicles. Sensors, 18(9). https://doi.org/10.3390/s18093171

Shafiee, M., Zhou, Z., Mei, L., Dinmohammadi, F., Karama, J., & Flynn, D. (2021). Unmanned aerial drones for inspection of offshore wind turbines: A mission-critical failure analysis. Robotics, 10(1), 1–27. https://doi.org/10.3390/robotics10010026

HUMAN FACTORS IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS: CURRENT CHALLENGES AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

Res. Asst. Tolunay DAĞ
İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics
ORCID: 0000-0003-1514-5336

Asst. Prof. Dr. Tarık GÜNEŞ
İskenderun Technical University, Faculty of Aeronautics and Astronautics
ORCID: 0000-0003-3098-7654

ABSTRACT
Unmanned Aircraft Systems (UAS) have evolved rapidly from military applications to a wide range of civil operations, including logistics, agriculture, infrastructure inspection, emergency response, and urban air mobility. As UAS become increasingly integrated into civil airspace, ensuring operational safety requires not only technological advancements but also a comprehensive understanding of human factors influencing system performance. Despite the growing body of research on UAS technologies, existing studies remain predominantly technology-oriented, while human-centered issues have received comparatively less attention. This study aims to provide a conceptual review of current human factors challenges in UAS operations and to identify future research directions based on recent literature. The review highlights critical issues including situational awareness, cognitive workload, human–automation interaction, human system interface design, operator competency, and training requirements. Furthermore, recent developments in artificial intelligence, increasing levels of automation, and multi-UAS operations are discussed from a human-centered perspective. The study also examines emerging topics such as explainable artificial intelligence, adaptive automation, ergonomic control station design, and public acceptance of unmanned systems. The findings indicate that future UAS operations will increasingly depend on the successful integration of technological innovation with human capabilities and limitations. Accordingly, future research should prioritize interdisciplinary approaches that combine engineering, human factors, ergonomics, and aviation safety to support the safe and efficient integration of UAS into next-generation aviation systems.
Keywords: Aviation Safety, Human-Automation, Human Factors, Situational Awareness, Unmanned Aircraft Systems

INTRODUCTION
Unmanned Aircraft Systems (UAS) have experienced remarkable growth over the past decade, expanding beyond their traditional military applications into a wide range of civilian sectors, including logistics, agriculture, infrastructure inspection, environmental monitoring, emergency response, and urban air mobility (Hocraffer & Nam, 2017). The rapid advancement of autonomous technologies, artificial intelligence, and communication systems has accelerated the operational capabilities of UAS while increasing their integration into civil airspace. As these systems become increasingly involved in safety critical operations, ensuring safe, efficient, and reliable human–system interaction has emerged as one of the primary challenges for both researchers and industry (Hobbs & Lyall, 2016; Yılmaz, 2024). Unlike conventional aviation, UAS operations are characterized by physical separation between the operator and the aircraft, resulting in limited sensory feedback and indirect interaction with the operational environment. Consequently, operators must rely almost entirely on information presented through ground control stations and communication systems to maintain situational awareness and make operational decisions. This operational structure introduces unique human factors challenges, including increased cognitive workload, reduced situational awareness, operator complacency, and the risk of becoming "out-of-the-loop," particularly as automation levels continue to increase (Alharasees et al., 2023; Ostroumov et al., 2024; Kaliardos et al., 2024).
Although the number of studies focusing on UAS has grown considerably in recent years, the existing literature remains predominantly technology oriented, emphasizing autonomous flight, navigation algorithms, communication architectures, and control systems. Comparatively fewer studies have

comprehensively examined the human-centered dimensions of UAS operations, including human–automation interaction, ergonomic interface design, operator competencies, training requirements, and public acceptance. Recent publications increasingly emphasize that future UAS development should integrate engineering advances with human factors principles to ensure operational safety, system usability, and sustainable implementation within civil aviation environments (Johansson et al., 2025; Grindley et al., 2025; Feng et al., 2025; Lingam et al., 2025).

Therefore, this study aims to provide a conceptual review of the current human factors challenges associated with Unmanned Aircraft Systems by synthesizing findings from recent literature. The study discusses key issues related to situational awareness, cognitive workload, human–automation interaction, human–system interface design, and operator training while highlighting emerging research directions involving explainable artificial intelligence, adaptive automation, human-centered system design, and human–drone interaction. By presenting an integrated perspective on technological and human-centered challenges, this review seeks to contribute to the development of safer and more effective next-generation UAS operations.

HUMAN FACTORS IN UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS

Human factors encompass the environmental, organizational, technological, and individual characteristics that influence human performance and operational safety. In UAS operations, these factors become particularly important because operators interact with the aircraft indirectly through technological systems rather than through direct physical control. Consequently, understanding the interaction between humans, technology, and operational environments has become one of the major research areas in modern UAS literature.

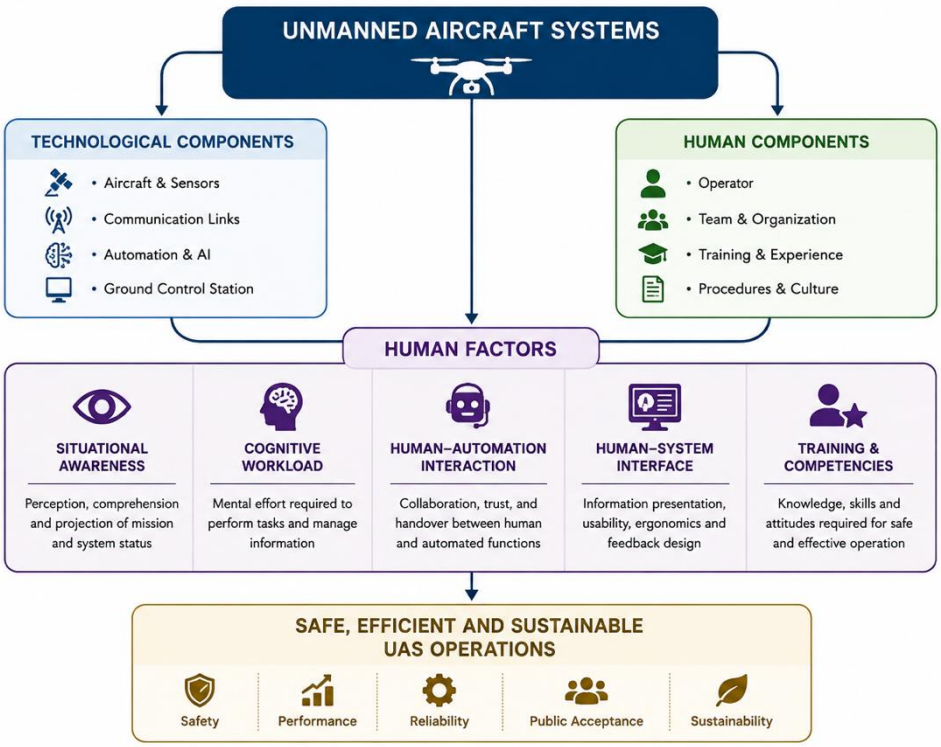


Figure 1. Conceptual Framework of Human Factors in Unmanned Aircraft Systems (Developed by the authors based on the reviewed literature.)

Figure 1 illustrates the conceptual framework adopted in this study to summarize the main human factors affecting UAS operations. The framework demonstrates that technological components and human components jointly influence system performance through key human factors, including situational awareness, cognitive workload, human–automation interaction, human–system interface design, and operator training and competencies.

Together, these interrelated factors contribute to the achievement of safe, efficient, and sustainable UAS operations. The following sections discuss each of these dimensions in detail based on the current literature.

Situational Awareness

Situational awareness (SA) is widely recognized as one of the most fundamental human factors influencing the safety and effectiveness of Unmanned Aircraft Systems (UAS) operations. Unlike conventional aviation, where pilots directly perceive their operational environment through visual, auditory, and vestibular cues, UAS operators interact with the aircraft remotely through ground control stations and digital interfaces. Consequently, operators must construct their understanding of the operational environment using information obtained from sensors, cameras, telemetry, navigation displays, and communication systems rather than direct physical observation (Hobbs & Lyall, 2016; Ostroumov et al., 2024).

The absence of natural sensory feedback creates unique cognitive challenges during mission execution. Operators are required to integrate information originating from multiple sources while continuously monitoring aircraft status, mission objectives, environmental conditions, and potential hazards. As mission complexity increases, maintaining an accurate perception of the operational environment becomes increasingly difficult. Reduced situational awareness has been associated with delayed decision-making, navigation errors, and inappropriate responses to abnormal situations, all of which may adversely affect operational safety (Ostroumov et al., 2024).

Another important issue identified in recent literature is the increasing dependence on automated systems. Although automation supports operators by reducing routine manual tasks and improving mission efficiency, excessive reliance on automated functions may reduce operators' active engagement with the system. This condition, commonly referred to as the "out-of-the-loop" phenomenon, may prevent operators from maintaining sufficient awareness of the system's current status and limit their ability to intervene effectively when unexpected situations occur (Alharasees et al., 2023). As automation capabilities continue to evolve, maintaining an appropriate balance between automation support and operator engagement remains a significant challenge for future UAS operations.

Recent studies therefore emphasize that improving situational awareness requires not only technological advancements but also human-centered system design. Ground control stations should be designed to present operational information clearly, minimize unnecessary cognitive demands, and support timely decision-making under dynamic operational conditions. Furthermore, operator training programs should incorporate realistic mission scenarios that develop information processing, attention management, and decision-making skills necessary for complex UAS environments (Hobbs & Lyall, 2016; Ostroumov et al., 2024).

Cognitive Workload

Cognitive workload has become one of the most extensively discussed human factors issues in contemporary UAS research due to the increasing complexity of unmanned aircraft operations. Unlike conventional flight operations, UAS operators are responsible for simultaneously monitoring aircraft performance, mission progress, communication channels, environmental conditions, navigation data, and sensor outputs through digital interfaces. The continuous processing of large volumes of information places considerable demands on operators' cognitive resources, particularly during complex or time-critical missions (Alharasees et al., 2023).

The rapid expansion of UAS applications has further increased operational complexity. Missions involving infrastructure inspection, emergency response, precision agriculture, or urban air mobility often require operators to perform multiple concurrent tasks while responding to dynamic environmental conditions. This multitasking environment increases mental workload and may reduce attention, decision quality, and overall operational performance if cognitive demands exceed human processing capacity (Ostroumov et al., 2024).

The challenge becomes even more pronounced in multi-UAS or swarm operations. Rather than controlling a single aircraft, operators may be required to supervise several autonomous vehicles simultaneously while integrating information received from multiple sensors and communication

channels. Hocraffer and Nam (2017) emphasized that swarm management significantly increases interface complexity and information-processing requirements, making effective human–system interface design essential for maintaining acceptable operator performance. Without appropriate decision support tools and interface optimization, excessive cognitive workload may increase the likelihood of operational errors and delayed responses during mission execution.

Recent studies therefore suggest that cognitive workload should not be addressed solely by increasing automation. Instead, system designers should aim to optimize the distribution of tasks between human operators and autonomous functions while considering human cognitive capabilities and limitations. Johansson et al. (2025) argue that future UAS operations will require interdisciplinary approaches combining engineering design, cognitive ergonomics, and human factors principles to develop systems that effectively support operator performance under increasingly demanding operational conditions.

Human-Automation Interaction

The increasing level of automation has fundamentally transformed the role of human operators in Unmanned Aircraft Systems (UAS). Rather than directly controlling the aircraft throughout the mission, operators increasingly supervise autonomous functions, monitor system performance, and intervene only when necessary. This transition from manual control to supervisory control has improved operational efficiency and reduced routine workload; however, it has also introduced new human factors challenges that directly affect safety and system performance (Kaliardos et al., 2024).

One of the primary concerns associated with higher levels of automation is the gradual reduction of operator engagement during routine operations. As automated systems become more capable of independently performing navigation, flight stabilization, and mission management tasks, operators may become passive supervisors instead of active decision-makers. This situation increases the likelihood of automation complacency and the well-documented "out-of-the-loop" phenomenon, in which operators lose awareness of system status and experience difficulties regaining control when unexpected events occur (Alharasees et al., 2023). Consequently, although automation can improve operational performance under normal conditions, excessive dependence on autonomous functions may reduce human readiness during abnormal or emergency situations.

A particularly critical issue identified in recent literature is the handover process between automated and manual control. Grindley et al. (2025), in their systematic literature review, emphasize that transitions between different levels of automation represent one of the most safety-critical phases of UAS operations. Successful handovers require operators to rapidly reconstruct situational awareness, understand the current operational context, and make appropriate decisions within a limited time. Poorly designed transition procedures or insufficient operator preparedness may increase response times, decision errors, and overall operational risk.

Recent developments in artificial intelligence have further expanded the capabilities of automated UAS while simultaneously increasing system complexity. AI-supported decision-making systems have the potential to improve mission efficiency by assisting operators in data processing, threat detection, and mission planning. However, these systems should remain transparent and predictable to ensure that operators understand the rationale behind automated recommendations. Human-centered automation therefore requires not only high technical performance but also system transparency, appropriate feedback mechanisms, and effective collaboration between human operators and intelligent technologies (Alharasees et al., 2023; Kaliardos et al., 2024; Grindley et al., 2025).

Human-System Interface and Ergonomics

The design of human-system interfaces plays a central role in supporting safe and effective UAS operations. Since operators interact with the aircraft remotely, the ground control station functions as the primary connection between the human operator and the operational environment. Information concerning aircraft status, navigation, sensor outputs, mission progress, communication links, and environmental conditions must therefore be presented through interfaces that enable rapid comprehension and appropriate decision-making. Poorly organized displays, excessive information density, and unclear alerts may increase cognitive demand and reduce the operator’s ability to identify operationally significant changes (Hobbs & Lyall, 2016; Ostroumov et al., 2024).

Ergonomic design in UAS control environments extends beyond the physical arrangement of controls and displays. It also includes the selection, prioritization, and timing of the information presented to operators. Interfaces should support operators in distinguishing critical information from secondary data while reducing unnecessary visual and cognitive demands. This requirement becomes particularly important during complex missions in which several data streams must be monitored simultaneously. Human-centered interface design can therefore contribute to improved situational awareness, more effective workload management, and faster responses to abnormal conditions (Hobbs & Lyall, 2016; Ostroumov et al., 2024).

Technical limitations associated with communication links also influence interface design and operator performance. Delays, restricted bandwidth, and interruptions in data transmission may reduce the timeliness or completeness of the information available at the control station. Under such conditions, operators may be required to make decisions based on delayed, incomplete, or uncertain information. Human-system integration approaches should therefore consider not only ideal system performance but also the effects of communication constraints on operator perception, interpretation, and control. Model-based human–system integration has been proposed as a means of incorporating human requirements into system development and evaluating potential interaction problems at earlier stages of design (Feng et al., 2025).

Interface design is also closely related to transitions between different levels of automation. During a handover, the operator must quickly understand the aircraft's current condition, the actions previously performed by the automated system, and the reason for the transfer of control. Interfaces that fail to communicate this information clearly may increase uncertainty and delay appropriate intervention. For this reason, automation status, system intentions, operational limitations, and handover requirements should be presented in a transparent and comprehensible manner (Grindley et al., 2025).

Overall, the ergonomic quality of UAS control stations should be evaluated according to their ability to support human performance rather than solely through technical functionality. Future interface development should prioritize usability, information clarity, system transparency, and compatibility with operators' cognitive capabilities. Integrating ergonomic principles throughout the system design process may reduce human error and contribute to safer interaction between operators and increasingly autonomous UAS technologies.

Operator Training and Competency Requirements

The rapid expansion of UAS applications has significantly changed the knowledge and competencies required of operators. Unlike conventional aviation, where pilots rely extensively on direct interaction with the aircraft and its surrounding environment, UAS operators perform their duties remotely through digital technologies and integrated information systems. Consequently, effective UAS operation requires a multidisciplinary competency profile that extends beyond traditional flight skills and includes system management, information processing, communication, decision-making, and technological proficiency (Hobbs & Lyall, 2016).

Recent studies indicate that operator competency should be considered as a combination of technical and non-technical skills. Technical competencies include aircraft system knowledge, mission planning, navigation, sensor operation, and emergency procedures, whereas non-technical competencies encompass situational awareness, workload management, communication, teamwork, decision-making, and problem-solving abilities. As automation and artificial intelligence become increasingly integrated into UAS operations, operators must also develop the ability to supervise autonomous systems, interpret automated recommendations, and intervene effectively when necessary (Yılmaz, 2024).

The increasing diversity of civilian UAS missions further emphasizes the importance of task-specific training. Operators involved in infrastructure inspection, emergency response, environmental monitoring, precision agriculture, or urban air mobility encounter different operational environments and mission objectives, requiring customized training programs that reflect operational realities. Johansson et al. (2025) argue that future UAS education should move beyond platform-oriented instruction and focus on developing adaptable operators capable of functioning effectively in dynamic and technology-intensive environments.

In addition to technical knowledge, human-centered training has become an essential component of future UAS education. Scenario-based exercises, simulation-supported learning environments, and realistic mission planning activities enable operators to experience complex operational situations while improving decision-making and workload management skills. Such training approaches also provide opportunities to practice abnormal and emergency procedures without exposing personnel or equipment to operational risks (Hobbs & Lyall, 2016).

Future competency frameworks should also reflect emerging technologies and changing operational concepts. Feng et al. (2025) emphasize that operators working within advanced UAS and Urban Air Mobility ecosystems will increasingly interact with intelligent decision-support systems and highly automated platforms. Therefore, future training programs should incorporate artificial intelligence awareness, human–automation collaboration, data interpretation, and system monitoring competencies alongside traditional aviation knowledge. Developing these multidisciplinary competencies will be essential for ensuring safe, efficient, and sustainable UAS operations in increasingly complex aviation environments.

FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

The rapid evolution of Unmanned Aircraft Systems (UAS) has created numerous opportunities for future human factors research. While recent studies have significantly improved the understanding of operator performance, automation, and human-system interaction, several critical challenges remain unresolved. Future research should therefore move beyond technology-centered perspectives and adopt interdisciplinary approaches that integrate engineering, cognitive ergonomics, aviation psychology, artificial intelligence, and safety science.

One of the most important research areas concerns the development of human-centered artificial intelligence. As AI increasingly supports mission planning, navigation, threat detection, and decision-making, operators must be able to understand and appropriately evaluate automated recommendations. Future intelligent systems should therefore provide transparent, predictable, and explainable decision-support mechanisms that enable operators to maintain trust without becoming overly dependent on automation. Explainable Artificial Intelligence (XAI) is expected to become an essential component of future UAS operations by improving both operator confidence and system transparency (Alharasees et al., 2023; Grindley et al., 2025).

Another important direction involves adaptive automation. Rather than maintaining fixed levels of automation throughout a mission, future UAS should dynamically adjust task allocation according to operational complexity, environmental conditions, and operator workload. Such adaptive systems could reduce cognitive overload during demanding operational phases while maintaining sufficient operator engagement to minimize the risk of automation complacency and out-of-the-loop performance degradation. However, additional empirical research is needed to determine appropriate adaptation strategies and their effects on operator performance and operational safety (Kaliardos et al., 2024; Grindley et al., 2025).

Future studies should also investigate human performance in increasingly complex operational environments. The emergence of multi UAS operations, autonomous swarms, and Urban Air Mobility concepts will require operators to supervise multiple intelligent systems simultaneously while managing large volumes of information. Existing knowledge regarding cognitive workload, information management, and decision-making under these conditions remains limited. Accordingly, future research should focus on identifying effective interface designs, workload management strategies, and decision-support tools capable of sustaining operator performance during highly complex missions (Hocraffer & Nam, 2017; Feng et al., 2025).

Human-centered system design should continue to be a priority in future UAS development. Beyond improving technological capabilities, researchers should evaluate how interface design, communication delays, information presentation, and system feedback influence operator perception, trust, and decision-making. Integrating human factors considerations into the early stages of system development through human-system integration approaches may reduce operational errors while improving overall usability and safety (Hobbs & Lyall, 2016; Feng et al., 2025).

Finally, future research should expand its focus beyond operators to include broader societal and organizational dimensions of UAS implementation. Public acceptance, perceived safety, privacy concerns, and human–drone interaction are increasingly recognized as critical factors influencing the successful integration of unmanned systems into civil aviation. Longitudinal studies examining operator adaptation, cognitive workload over extended periods, and public perceptions of autonomous technologies would contribute significantly to the development of sustainable and socially acceptable UAS operations (Lingam et al., 2025; Feng et al., 2025).

Overall, future research should adopt multidisciplinary and human-centered perspectives that combine technological innovation with human capabilities, operational safety, and ergonomic system design. Such an approach will support the safe, efficient, and sustainable integration of UAS into next-generation aviation systems while ensuring that technological advancements continue to complement, rather than replace, human decision-making.

CONCLUSION AND DISCUSSION

Unmanned Aircraft Systems (UAS) have become one of the fastest-growing technologies in modern aviation, expanding rapidly from military applications to diverse civilian operations. This transformation has increased the importance of human factors as a fundamental component of operational safety, efficiency, and system reliability. Although technological developments continue to improve autonomous capabilities, the literature reviewed in this study demonstrates that successful UAS operations cannot rely solely on technological advancements. Human capabilities, cognitive limitations, interface design, and operator competencies remain essential determinants of overall system performance.

The reviewed literature consistently identifies situational awareness, cognitive workload, human–automation interaction, ergonomic interface design, and operator training as the primary human factors affecting UAS operations. These factors are highly interconnected, and improvements in one area may directly influence performance in others. For example, well-designed human–system interfaces can support situational awareness and reduce cognitive workload, while effective training programs can enhance operators' ability to manage increasingly complex automated systems. Consequently, future UAS development should adopt a systems perspective that considers technological innovation and human performance as complementary rather than independent elements.

Another important finding emerging from the literature is the growing influence of artificial intelligence and higher levels of automation on operator responsibilities. As operators increasingly transition from direct aircraft control to supervisory roles, new challenges such as automation complacency, loss of situational awareness, and difficulties during control handovers become more significant. Addressing these challenges will require greater emphasis on human-centered automation, explainable artificial intelligence, adaptive decision-support systems, and transparent human–machine collaboration throughout future UAS development.

The literature also indicates that future UAS operations will become increasingly complex with the emergence of multi UAS missions, autonomous swarm operations, and Urban Air Mobility ecosystems. These developments will require multidisciplinary research integrating engineering, ergonomics, aviation safety, cognitive psychology, and human factors. Such collaboration will be essential for designing systems that effectively support human decision-making while maintaining high levels of operational safety.

In conclusion, human factors should be regarded as a strategic design consideration rather than a secondary operational issue throughout the entire lifecycle of Unmanned Aircraft Systems. Integrating human-centered principles into system design, operator training, interface development, and automation strategies will contribute to safer, more efficient, and more sustainable UAS operations. Future research should continue to strengthen this interdisciplinary perspective to ensure that technological innovation remains aligned with human capabilities and the evolving requirements of next-generation aviation systems.

REFERENCES

Alharasees, O., Adali, O. H., & Kale, U. (2023). Human Factors in the Age of Autonomous UAVs: Impact of Artificial Intelligence on Operator Performance and Safety. Proceedings of the 2023 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 798–805. https://doi.org/10.1109/ICUAS57906.2023.10156037

Feng, C., Hou, J., Liu, S., Wanyan, X., Ding, M., Li, H., Yan, D., & Bie, D. (2025). Key technology for human-system integration of unmanned aircraft systems in urban air transportation. Drones, 9(1), Article 18. https://doi.org/10.3390/drones9010018

Grindley, B., Parnell, K. J., Cherett, T., Scanlan, J., & Plant, K. L. (2025). Understanding the human factors challenge of handover between levels of automation for uncrewed air systems: A systematic literature review. Transportation Planning and Technology, 48(6), 1383–1408. https://doi.org/10.1080/03081060.2024.2375645

Hobbs, A., & Lyall, B. (2016). Human factors guidelines for unmanned aircraft systems. Ergonomics in Design: The Quarterly of Human Factors Applications, 24(3), 23–28. https://doi.org/10.1177/1064804616640632

Hocraffer, A., & Nam, C. S. (2017). A meta-analysis of human-system interfaces in unmanned aerial vehicle (UAV) swarm management. Applied Ergonomics, 58, 66–80. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.05.011

Johansson, B. J. E., Berggren, P., & Boonsong, S. (2025). Opportunities and Challenges of Future Unmanned Aerial Vehicle Operations in Sweden: A Human Factors Perspective. Proceedings of the 36th Annual Conference of the European Association of Cognitive Ergonomics (ECCE 2025). https://doi.org/10.1145/3746175.3746190

Kaliardos, W. N., Holbrook, J., & Hobbs, A. (2024). Identifying human factors research for unmanned aircraft systems and advanced air mobility. AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference (DASC) Proceedings. https://doi.org/10.1109/DASC62030.2024.10748711

Lingam, S. N., Franssen, M., Petermeijer, S. M., & Martens, M. (2025). Challenges and future directions for human-drone interaction research: An expert perspective. International Journal of Human–Computer Interaction, 41(12), 7905–7921. https://doi.org/10.1080/10447318.2024.2400756

Ostroumov, I., Mykolaiets, D., Svirko, V., & Kuzmenko, N. (2024). Design of unmanned aerial system: Considering the human factor. Proceedings of the 2024 IEEE 7th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD), 52–56. https://doi.org/10.1109/APUAVD64488.2024.10765868

Yılmaz, A. A. (2024). Enhancing UAV crew performance and safety: A technology and innovation management perspective. Sosyal Mucit Academic Review, 5(2), 130–153. https://doi.org/10.54733/smar.1512893

PURIFICATION OF INDUSTRIAL FLUIDS THROUGH MAGNETIC FILTRATION: ANALYSIS OF PARTICLE CAPTURE IN PERMANENT MAGNET FILTERS

KALICI MIKNATISLI FİLTRELERDE PARÇACIK YAKALAMANIN ANALİZİ: MANYETİK FİLTRASYON YOLUYLA ENDÜSTRİYEL AKIŞKANLARIN ARITILMASI

Prof. Dr. Teymuraz ABBASOV
Inonu University, Engineering Faculty, Department of Electrical Electronics Engineering, Malatya, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-0290-8333,

Aydan MAMMADOVA
National Aviation Academy, Faculty of Aviation Transportation, Department of Avionics, Baku, Azerbaijan
ORCID: ID/0009-0009-1453-9342

Research Assistant Nisanur YILDIRAN
Inonu University, Engineering Faculty, Department of Electrical Electronics Engineering, Malatya, Türkiye
ORCID: ID/0000-0001-6689-7322,

ABSTRACT
Working environments composed of liquids and gases used in all industrial and technological processes, as well as fuels and oils, invariably contain metal particles of various chemical compositions. Approximately 90 percent of these particles, which primarily result from corrosion and friction-induced abrasion, are magnetic. The sizes of these particles can vary widely, ranging from micrometers to millimeters. Magnetic control methods are widely used to determine the concentration of these mixtures in industrial fluids and to remove them. Magnetic filters are widely used in magnetic control systems for industrial fluids and in the removal of these mixtures. Nevertheless, solutions to many problems related to the theory and application of magnetic filters remain inadequate. For example, the effect of the rheological properties of industrial fluids on magnetic filter performance has not yet been sufficiently investigated. In fact, coolants and oils primarily exhibit non-Newtonian properties, characterized by high viscosity and density. In this study, a multi-cell magnetic filter model composed of permanent magnets was proposed to remove magnetic particles from submicron-sized magnetic mixtures in high-viscosity industrial fluids, and a performance analysis was conducted. A theoretical model for the retention of magnetic particles contained in fluids or oils was developed for the magnetic filter, which features a cellular structure formed by a multipole magnetic system, and optimal conditions were investigated. The effect of changes in the magnetic field gradient and the rheological properties of the industrial fluid on filter performance was evaluated.
Keywords: Magnetic Particles, High viscosity, Magnetic Filters.

ÖZET
Tüm endüstriyel ve teknolojik süreçlerde kullanılan sıvı ve gazların yanı sıra yakıtlar ve yağlardan oluşan çalışma ortamları, her zaman çeşitli kimyasal bileşimlere sahip metal parçacıkları içerir. Esas olarak korozyon ve sürtünmeden kaynaklanan aşınmanın sonucu olan bu parçacıkların yaklaşık yüzde 90'u manyetiktir. Bu parçacıkların boyutları, mikrometrelerden milimetrelere kadar geniş bir aralıkta değişebilir. Endüstriyel akışkanlardaki bu karışımların konsantrasyonunu belirlemek ve bunları uzaklaştırmak için manyetik kontrol yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Manyetik filtreler, endüstriyel akışkanlara yönelik manyetik kontrol sistemlerinde ve bu karışımların giderilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, manyetik filtrelerin teorisi ve uygulamasıyla ilgili birçok soruna yönelik çözümler hâlâ yetersiz kalmaktadır. Örneğin, endüstriyel akışkanların reolojik özelliklerinin manyetik filtre performansı üzerindeki etkisi henüz yeterince araştırılmamıştır.

Aslında, soğutma sıvıları ve yağlar, yüksek viskozite ve yoğunluk ile karakterize edilen, esas olarak Newton olmayan özellikler sergilemektedir. Bu çalışmada, yüksek viskoziteli endüstriyel akışkalardaki mikron altı boyutlu manyetik karışımlardan manyetik parçacıkları uzaklaştırmak amacıyla kalıcı mıknatıslardan oluşan çok hücreli bir manyetik filtre modeli önerilmiş ve bir performans analizi gerçekleştirilmiştir. Çok kutuplu bir manyetik sistem tarafından oluşturulan hücresel bir yapıya sahip olan manyetik filtre için, akışkalarda veya yağlarda bulunan manyetik parçacıkların tutulmasına yönelik teorik bir model geliştirilmiş ve optimal koşullar araştırılmıştır. Manyetik alan gradyanındaki değişikliklerin ve endüstriyel akışkanın reolojik özelliklerinin filtre performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Manyetik Parçacıklar, Yüksek Viskozite, Manyetik Filtreler

INTRODUCTION

Contamination in industrial liquids and gases can arise for many reasons. One of the most important sources of these contaminants, ninety percent of which are essentially magnetic in nature, is the continuous wear of the friction surfaces of the working parts of systems and mechanisms (*Magnetic Filtration Applications and Benefits*, n.d.; Nedic et al., 2009). Moreover, the sizes of the particles formed through the intensification of this wear also span a wide spectrum. While the sizes of the particles formed when surface mechanisms operate under normal conditions are 10–20 μm, with the intensification of wear the particle sizes can reach 200–250 μm, 0.5 mm in the initial phase of wear, and around 0.5–0.6 mm in accident situations. Today, various magnetic separation and filtration methods are used to clean industrial liquids and gases, oils, and fuels of magnetic contaminants (Wang et al., 2019), [4]. These methods are essentially based on the theory of capturing the contaminants present in the carrier medium according to their movement trajectory in a high-gradient magnetic field, or of precipitating the particles by means of the magnetic diffusion method. Furthermore, these flows are often treated according to the ideal flow model (Bubeníček, 1987), [5]. In reality, however, industrial liquids, and especially used oils, are highly viscous and contain polydisperse mixtures. In this case, the pressure drop in the magnetic filter becomes high, and the movement of the particle also differs from the simple trajectory model. On the other hand, the physical and rheological properties of industrial liquids also differ from those of simple Newtonian liquids. Depending on the concentration of the contaminants they contain, both the viscosity and the density of the carrier medium change. For this reason, the existing magnetic systems and the theoretical foundations of the cleaning processes remain insufficient for cleaning such media. In order to remedy these deficiencies and to expand the application areas of magnetic filtration processes in the cleaning of industrial liquids and gases, the theory and practice of magnetic filtration need to be developed.

In this study, the analysis of a magnetic filter composed of permanent magnets was carried out in order to clean highly viscous industrial liquids of submicron-sized magnetic contaminants. A theoretical model for the capture of the magnetic particles contained in the liquids or oils was established for the magnetic filter, which has a cellular structure composed of a multipole magnetic system, and the optimum conditions were investigated. The effects of the variation of the magnetic field gradient, the system geometry, and the rheological properties of the industrial liquid on the filter performance were evaluated.

PROBLEM FORMULATION

Used industrial liquids, with the contaminants they contain, particularly metal-component particles, can be considered as a heterogeneous medium. In this context, oils and high-viscosity phases essentially exhibit non-Newtonian properties. For this reason, the cleaning of these liquids from contaminants must be carried out by taking their rheological properties into account. On the other hand, the high viscosity of industrial liquids requires that the cleaning system used be able to ensure a low pressure drop. In this study, a multipole (four-pole), multicellular magnetic filter system is proposed for cleaning highly viscous industrial liquids of submicron-sized magnetic particles (Figure 1).

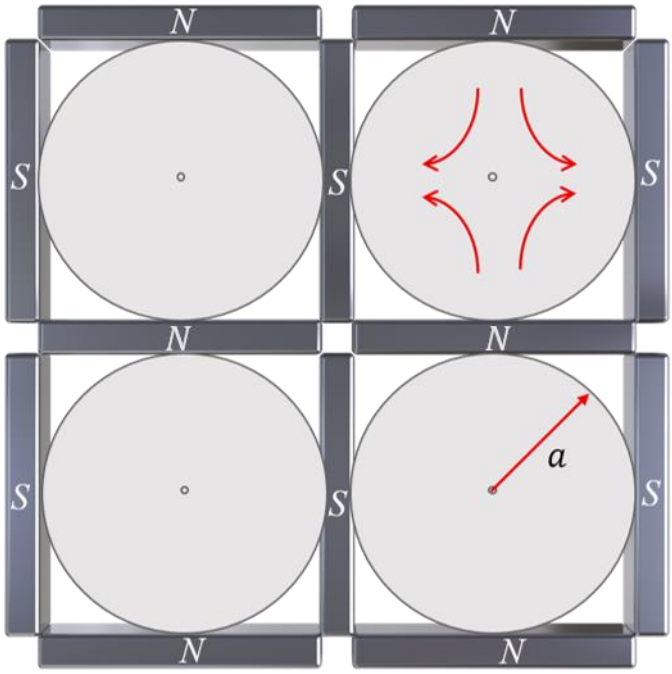


Figure 1. Schematic of the multi (four) -pole, multicellular permanent-magnet magnetic filter

In the proposed filter design, each cell operates as a magnetic filter composed of permanent magnets. As the flow rate of the industrial liquids being cleaned increases, the number of magnetic filter cells, and consequently the flow rate of the system, can easily be increased. In the case where the particle-capturing capability of the magnetic system cells is designed to be equal, the efficiency (performance) of this cascade-connected magnetic filter system can be determined as the sum of the efficiencies of the cells. For this reason, assuming that the permanent magnets forming the poles have equal potential, it is sufficient to determine the particle-capturing mechanism and the performance of a single cell. Let us assume that industrial liquids consist of two phases, the carrier medium and the contaminant particles, and that the contaminant particles are magnetic and submicron-sized. Let us consider that the magnetic field generated by a simple $2p$ = 4-pole magnetic system varies in the form $H(r) = H_0 r_a$ [5]. Here $r \leq a$ is the radial distance from the center of the channel, and a is the radius of the channel. Industrial liquids, especially friction and cooling fluids and oils, generally exhibit non-Newtonian properties and, depending on the concentration of the contaminants they contain, are classified as high-viscosity and high-density media. Taking into account the case where the contaminant concentration is significant $(\emptyset > 0.1)$, the average density and viscosity of the medium can be determined as follows,

$$\rho_m = \rho_p + (1-\emptyset)\rho \; ; \quad \eta = \eta_0 \frac{1+0.5\emptyset}{(1-\emptyset)^4} \tag{1}$$

Here ρ_p and ρ are the densities of the particle and the carrier medium, respectively, and η_0 is the viscosity of the carrier medium.

Assuming that the contaminant is uniformly distributed across the channel cross-section of the medium, we can determine the radial variation of the flow velocity of the medium in the channel (Abbasov, 1991),

$$V(r) = \frac{1}{\eta_m}\left[\left(\frac{\partial P}{\partial z} + g\rho\right) + g(\rho_p - \rho)\emptyset\right](a^2 - r^2) - \frac{\mu_0 \lambda_p H_0^2}{9a^2}(a^3 - r^3) \tag{2}$$

We can determine the pressure variation $\frac{\partial P}{\partial z}$ in Equation 2 from the equation of a single particle in steady flow,

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{3C(\emptyset)\rho V_0^2}{4d} - g\rho_p \tag{3}$$

Here $C(\emptyset)$ is the drag coefficient acting on the particle, and d is the diameter of the particle. Starting from the definition of the flow velocity of the medium across the channel, we can determine the relationship between the velocities of the particles and the carrier medium,

$$V_0\rho(1-\emptyset)+V_p\rho_p=\frac{a^2\rho_m}{8\eta_m}\left[\frac{3C(\emptyset)\rho V_0^2}{4d}-g(\rho_p-\rho)+(\rho_p-\rho)\emptyset\right]+\frac{\mu_0\lambda_p H_0^2}{15} \quad (4)$$

As can be seen from Eq.4, the distribution $\emptyset$ of the magnetic contaminant contained in the industrial liquids is related to the geometric parameters of the magnetic filter (a), the physical properties of the medium (ρ,ρ_p,η_m), and the hydrodynamic parameters (V_0,V_p). When these parameters of the magnetic filtration system are known, the $\emptyset$ distribution can be evaluated. In the case where the particles are completely captured in the magnetic filter $(V_p=0)$, Eq. 4 becomes even simpler. Nevertheless, under different flow conditions of the carrier medium (different $C(\emptyset)$), the analytical solution of Eq. 4 becomes difficult and a numerical solution is required. One of the important results of Eq. 4 is that it clearly shows the dependence of the cleaning performance of industrial liquids on the effect of the external magnetic field. For this reason, evaluating the magnetic field variation of the multipole magnetic system is also of particular importance. In the multipole magnetic system shown in Figure 1, the variation of the magnetic field in the channel between the poles can be evaluated by the following simple formula (Abbasov, 1991),

$$H(r)=H_0 r_a^{p-1} \quad (5)$$

Here p is the number of pole pairs in the magnetic system. In this case, the force-factor gradient $G(r_a)$ of the force acting on the particles becomes as follows,

$$G(r_a)=\frac{H}{H_0}\frac{a}{H_0}\nabla H=(p-1)r_a^{2p-3} \quad (6)$$

In Figure 2, the variations of the relationship $G(r_a)$ for different numbers of poles are shown. As can be seen from these variations, the 4-pole system is more effective in terms of the variation of the force factor across the channel cross-section. As the number of poles increases, the effect of the magnetic force becomes concentrated in the regions near the channel walls, beneath the poles. In the regions near the center of the channel, however, the effect of the magnetic force weakens, which in turn causes the performance of the magnetic filter to weaken.

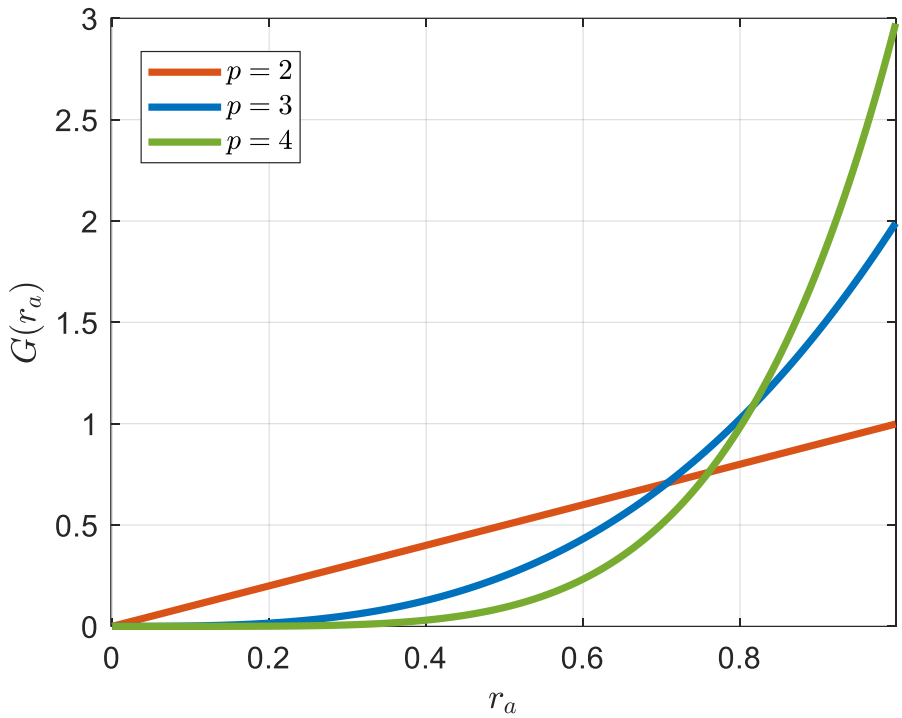


Figure 2. Variation of the magnetic force factor for different numbers of poles: 1-2p=4, 2-2p=6, 3-2p = 8

CONCLUSION

It is advantageous to use permanent-magnet systems for cleaning industrial liquids of micron- and submicron-sized magnetic contaminants. In cleaning highly viscous oils, cassette-type 4-pole magnetic filter structures can be used by employing multipole magnetic systems over narrow channels. When the concentration of the contaminants being cleaned is high ($\emptyset > 0.1$), in such magnetic systems it is more appropriate to use the viscous deformation theory approach instead of the trajectory model for the capture of the particles. In this approach, it is possible to evaluate, in the particle-capture phenomenon, the effect of the variations in the velocities of the carrier medium and the particle, and of the magnetic, geometric, and physical properties of the system.

REFERENCES

Abbasov, T. (1991). *Deposition of iron-containing particles from carrier media with rheological characteristics in non-homogeneous magnetic fields* [Dissertation (PhD)]. Azerbaijan National Academy of Sciences.

Bubeníček, S. (1987, March). Le suivi d'usure de machines par la méthode des analyses périodiques d'huile. *Bulletin Technique Du Bureau Veritas*, 75–78.

Magnetic Filtration Applications and Benefits. (n.d.). Retrieved June 18, 2026, from https://www.machinerylubrication.com/Read/794/magnetic-filtration

Nedic, B., Peric, S., & Vuruna, M. (2009). *Monitoring physical and chemical characteristics oil for lubrication. 31*, 59–66.

Wang, Z., Liu, C., & Wei, W. (2019). Industry applications of magnetic separation based on nanoparticles: A review. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, *60*(2), 281–297. https://doi.org/10.3233/JAE-180087

PROPHET MODELİ KULLANILARAK GERÇEK SATIŞ VERİLERİ İLE ÜRETİM PLANLAMASINA YÖNELİK SATIŞ TAHMİNİ: BİR ELEKTRONİK ÜRETİM İŞLETMESİ UYGULAMASI

SALES FORECASTING FOR PRODUCTION PLANNING USING THE PROPHET MODEL WITH REAL SALES DATA: AN APPLICATION IN AN ELECTRONICS MANUFACTURING COMPANY

Mahmut Can YALINKILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş/İstanbul.
Emas Elektroteknik Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0007-0449-9872

Özet
Günümüz rekabet ortamında işletmelerin sürdürülebilir rekabet avantajı elde edebilmesi, gelecekte oluşacak talebin doğru tahmin edilmesine bağlıdır. Özellikle elektronik üretim sektöründe satış tahminlerinin doğruluğu; üretim planlama, stok yönetimi, satın alma ve tedarik zinciri süreçlerinin etkin şekilde yönetilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, gerçek bir elektronik üretim işletmesine ait satış verileri kullanılarak Prophet zaman serisi tahmin modeli uygulanmış ve geleceğe yönelik satış tahminleri oluşturulmuştur. Analizde 2025 yılına ait EMAS B200EE stok kodlu ürüne ilişkin satış kayıtları kullanılmıştır. Veri ön işleme aşamasında satış kayıtları tarih bazında düzenlenmiş, Prophet algoritmasının gerektirdiği veri yapısına dönüştürülmüş ve model Python ortamında geliştirilmiştir. Model aracılığıyla gelecek üç aylık döneme ilişkin satış tahminleri elde edilmiş, trend ve mevsimsellik bileşenleri analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, Prophet modelinin satış verilerindeki eğilimleri başarılı şekilde modelleyebildiğini ve kısa dönemli satış tahminlerinde karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Çalışma sonucunda geliştirilen tahmin modelinin, üretim planlama, stok kontrolü ve satın alma süreçlerinde daha isabetli kararlar alınmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmanın, gerçek endüstriyel veriler kullanılarak Prophet algoritmasının üretim yönetimi uygulamalarındaki kullanılabilirliğini ortaya koyması açısından literatüre ve uygulayıcılara katkı sunacağı düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Prophet, satış tahmini, zaman serisi analizi, üretim planlama, makine öğrenmesi.

Abstract
Accurate demand forecasting has become a critical requirement for organizations seeking to improve operational efficiency and maintain a competitive advantage. In the electronics manufacturing industry, reliable sales forecasts directly support production planning, inventory management, procurement, and supply chain operations. This study applies the Prophet time series forecasting model to real sales data obtained from an electronics manufacturing company in order to estimate future sales demand. The analysis is based on the 2025 sales records of the EMAS B200EE product. During the data preprocessing stage, sales records were organized according to their transaction dates and transformed into the data structure required by the Prophet algorithm. The forecasting model was developed using Python, and three-month-ahead sales forecasts were generated. The model's trend and seasonality components were analyzed to evaluate forecasting performance. The findings indicate that the Prophet model successfully captures the underlying sales patterns and provides reliable short-term forecasts that can support managerial decision-making. The proposed approach offers practical benefits for production planning, inventory control, and purchasing decisions by enabling more accurate demand estimation. Furthermore, the study demonstrates the applicability of the Prophet algorithm to real industrial data and contributes to the growing body of research on machine learning-based forecasting methods in manufacturing environments.
Keywords: Prophet, sales forecasting, time series analysis, production planning, machine learning.

COVİD-19 PANDEMİSİNİN TÜRKİYE'NİN AB VE BRICS+ ÜLKELERİ İLE ULUSLARARASI TİCARETİNE ETKİLERİ

THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMİC ON TURKEY'S INTERNATİONAL TRADE WİTH THE EU AND BRICS+ COUNTRİES

Asst. Prof. Mehmet KAYSERİLİ
Istanbul Kultur University, Faculty of Economics and Business Administration, International Trade and Finance Department, Istanbul, Turkey,
ORCİD: ID/0000-0001-8040-7916,

Asst. Prof. Şerif YÜKSEL
Istanbul Kultur University, Faculty of Economics and Business Administration, International Trade and Finance Department, Istanbul, Turkey,
ORCİD: ID/0000-0002-2449-4477,

Abstract
Türkiye, with a trade volume of approximately USD 605 billion according to 2025 data, is an important actor in international trade. While the effects of the exchange rate fluctuations experienced in 2018 continue to persist, the COVID-19 pandemic has also generated significant consequences for global economies. This study examines Türkiye's trade relations with the European Union (EU) and BRICS+ countries (Brazil, Russia, India, China, South Africa, Iran, the United Arab Emirates, Egypt, Ethiopia, and Indonesia) through the foreign trade balance recorded between January 2016 and April 2026, focusing on the pre-pandemic period (January 2016–December 2019) and the post-pandemic period (May 2023–April 2026). This study, which is expected to contribute to and provide guidance for Türkiye's foreign trade strategies, aims to compare Türkiye's trade relations with the EU and the expanded BRICS+ countries by examining its foreign trade with these two country groups. The data required for the analysis were obtained from the Turkish Statistical Institute (TurkStat) database. The share of these country groups in Türkiye's total foreign trade, the foreign trade balance between January 2016 and April 2026, and the years in which foreign trade surpluses or deficits occurred with each country group were analyzed using the trend analysis method within the framework of quantitative research techniques and time-series analysis. The data were categorized into three periods—pre-pandemic, pandemic, and post-pandemic—and compared accordingly. According to the results, EU countries emerge as Türkiye's largest trading partner, playing a particularly important role in the export of industrial products and the import of high value-added goods. On the other hand, BRICS countries constitute a strategic partner for Türkiye in the supply of energy, raw materials, and low-cost products. The findings indicate that Türkiye's export-to-import coverage ratio in trade with the EU increased from 94.1% before the pandemic to 104.1% during the pandemic, while the foreign trade balance shifted from a deficit of USD 18.5 billion to a surplus of USD 12.3 billion. In the post-pandemic period, the coverage ratio stood at 100.2%, and the foreign trade balance continued to generate a surplus of approximately USD 0.5 billion. In contrast, the export-to-import coverage ratio in trade with BRICS+ countries declined from 30.8% before the pandemic to 23.2% during the pandemic and, despite rising to 26.2% in the post-pandemic period, remained below its pre-pandemic level. Similarly, the foreign trade deficit increased from USD 183.4 billion before the pandemic to USD 237.1 billion during the pandemic and further expanded to USD 259.0 billion in the post-pandemic period. Overall, the findings suggest that the improvement in Türkiye's foreign trade performance during and after the pandemic was largely driven by trade with EU countries, whereas trade with BRICS+ countries evolved into a structure characterized by increasingly large foreign trade deficits. This indicates that while Türkiye's trade with the EU has become more balanced, its import dependency on BRICS+ countries has strengthened. Consequently, it can be argued that Türkiye should manage its trade relations with these two economic blocs in a balanced manner and develop policies aimed at optimizing its foreign trade balance.
Keywords: European Union, BRICS, Foreign Trade, COVID-19 Pandemic

Özet

Türkiye 2025 verilerine göre yaklaşık 605 milyar dolarlık ticaret hacmi ile önemli bir uluslararası aktördür. Türkiye'nin 2018 yılında yaşadığı döviz kuru dalgalanmasının etkileri halen sürerken Covid-19 pandemisi de küresel ekonomiler üzerinde önemli sonuçlar doğurmuştur. Bu çalışmada Covid-19 pandemisinin öncesi 2016 Ocak-2019 Aralık ve sonrası 2023 Mayıs-2026 Nisan olmak üzere 2016-2026 Nisan yılları arasındaki süre zarfında gerçekleşen dış ticaret dengesi aracılığıyla Türkiye'nin AB (Avrupa Birliği) ve BRICS+ (Brezilya, Rusya, Hindistan, Çin, Güney Afrika, İran, Birleşik Arap Emirlikleri, Mısır, Etiyopya, Endonezya) ülkeleri ile gerçekleşen ticaret ilişkisi incelenmiştir. Türkiye'nin dış ticaret stratejilerine katkı sağlaması ve yol gösterici olması beklenen bu çalışmada, Türkiye'nin AB ve genişlemiş BRICS+ ülkeleri ile gerçekleşen dış ticareti incelenerek bu ülke grupları ile Türkiye arasındaki ticaretin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışma için ihtiyaç duyulan veriler Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) veri tabanından elde edilmiştir. Türkiye'nin toplam dış ticaretinde bu ülke gruplarının ne kadar yer teşkil ettiği, zaman serisi yöntemi kullanılarak, 2016 Ocak – 2026 Nisan ayları arasında gerçekleşen dış ticaret dengesi ve hangi yıllarda hangi ülke grubu ile dış ticaret açığı/fazlası olduğu, nicel araştırma tekniklerinden trend analizi yöntemiyle incelenmiştir. Veriler Covid-19 pandemisi öncesi, pandemi dönemi ve pandemi sonrası olarak 3 grup halinde incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre AB ülkeleri, Türkiye'nin en büyük ticaret ortağı olarak öne çıkmakta, özellikle sanayi ürünleri ihracatı ve yüksek katma değerli ürünlerin ithalatında önemli bir rol oynamaktadır. Diğer tarafta, Türkiye için BRICS ülkeleri enerji, hammadde ve düşük maliyetli ürünlerin tedarikinde stratejik bir ortak konumundadır. Sonuçlar incelendiğinde, Türkiye'nin AB ile ticaretinde pandemi öncesinde %94,1 olan ihracatın ithalatı karşılama oranının pandemi döneminde %104,1'e yükseldiği ve dış ticaret dengesinin 18,5 milyar dolarlık açıktan 12,3 milyar dolarlık fazlaya dönüştüğü görülmektedir. Pandemi sonrasında ise karşılama oranı %100,2 seviyesinde gerçekleşmiş ve dış ticaret dengesi yaklaşık 0,5 milyar dolarlık fazla vermeye devam etmiştir. Buna karşılık BRICS+ ülkeleri ile ticarette pandemi öncesinde %30,8 olan karşılama oranı pandemi döneminde %23,2'ye gerilemiş, pandemi sonrasında ise %26,2'ye yükselmesine rağmen pandemi öncesi seviyesine ulaşamamıştır. Benzer şekilde dış ticaret açığı pandemi öncesindeki 183,4 milyar dolardan pandemi döneminde 237,1 milyar dolara, pandemi sonrasında ise 259,0 milyar dolara yükselmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, pandemi süreci ve sonrasında Türkiye'nin dış ticaret performansındaki iyileşmenin büyük ölçüde AB ülkeleriyle olan ticaretten kaynaklandığı, BRICS+ ülkeleriyle ticaretin ise giderek daha yüksek düzeyde dış ticaret açığı üreten bir yapıya dönüştüğü görülmektedir. Bu durum, Türkiye'nin AB ile ticaretinde daha dengeli bir yapı oluşurken, BRICS+ ülkelerine karşı ithalat bağımlılığının güçlendiğine işaret etmektedir. Sonuç olarak, Türkiye bu iki ekonomik blok ile ticari ilişkilerini dengeli bir şekilde yönetmesi ve dış ticaret dengesini optimize edecek politikalar geliştirmesi gerektiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Avrupa Birliği, BRICS, Dış Ticaret, Covid-19 Pandemisi

THE IMPACT OF CYBER RISKS ON THE FINANCIAL PERFORMANCE OF ISLAMIC BANKS: THE ROLE OF PUBLIC RELATIONS IN CYBER CRISIS MANAGEMENT AND ENHANCING INSTITUTIONAL TRUST – AN ANALYTICAL STUDY

SİBER RİSKLERİN İSLAMİ BANKALARIN FİNANSAL PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: SİBER KRİZ YÖNETİMİ VE KURUMSAL GÜVENİN GÜÇLENDİRİLMESİNDE HALKLA İLİŞKİLERİN ROLÜ – ANALİTİK BİR ARAŞTIRMA

Ph.D. Fatimah AL-FARISEE
Karabük Üniversitesi, Finans ve Bankacılık Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0002-0140-4950

Ezoza NASRİDDİNOVA
Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/ 0009-0005-7754-6233

ABSTRACT

With the rapid digital transformation of the banking sector, cyber risks have become one of the most significant challenges facing Islamic banks, threatening financial performance, institutional reputation, and stakeholder trust. This study aims to examine the impact of cyber risks on the financial performance of Islamic banks while highlighting the role of public relations in managing cyber crises and enhancing institutional trust. The study adopts an analytical approach based on reviewing the relevant literature and analyzing the relationship between cyber risks, financial performance indicators, and crisis communication strategies. It explores how effective public relations practices—including transparent communication, timely crisis response, stakeholder engagement, and reputation management—can reduce the negative consequences of cyber incidents and strengthen customer confidence in Islamic financial institutions. The study argues that cyber crisis management should not be limited to technical and cybersecurity measures but should also incorporate strategic public relations as a core component of institutional resilience. It concludes that integrating cybersecurity governance with proactive communication strategies contributes to maintaining financial stability, protecting institutional reputation, and reinforcing public trust in Islamic banks.

Keywords: Cyber Risks, Islamic Banks, Financial Performance, Public Relations, Cyber Crisis Management, Institutional Trust, Reputation Management.

ÖZET

Bankacılık sektöründe hızlanan dijital dönüşümle birlikte siber riskler, İslami bankaların karşı karşıya olduğu en önemli tehditlerden biri hâline gelmiştir. Bu riskler, finansal performansı, kurumsal itibarı ve paydaşların güvenini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu çalışmanın amacı, siber risklerin İslami bankaların finansal performansı üzerindeki etkisini incelemek ve halkla ilişkilerin siber krizlerin yönetimi ile kurumsal güvenin güçlendirilmesindeki rolünü ortaya koymaktır. Çalışmada, ilgili literatürün incelenmesine ve siber riskler, finansal performans göstergeleri ile kriz iletişimi stratejileri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesine dayanan analitik bir yaklaşım benimsenmiştir. Araştırma, şeffaf iletişim, krizlere zamanında müdahale, paydaş katılımı ve itibar yönetimi gibi etkili halkla ilişkiler uygulamalarının siber olayların olumsuz etkilerini nasıl azaltabileceğini ve İslami finans kuruluşlarına yönelik müşteri güvenini nasıl artırabileceğini ele almaktadır. Çalışma, siber kriz yönetiminin yalnızca teknik çözümler ve siber güvenlik önlemleriyle sınırlı kalmaması, aynı zamanda kurumsal dayanıklılığın temel bir unsuru olarak stratejik halkla ilişkileri de içermesi gerektiğini savunmaktadır. Sonuç olarak, siber güvenlik yönetişimi ile proaktif iletişim stratejilerinin bütünleştirilmesinin finansal istikrarın korunmasına, kurumsal itibarın güçlendirilmesine ve İslami bankalara duyulan kamu güveninin artırılmasına önemli katkılar sağladığı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Siber Riskler, İslami Bankalar, Finansal Performans, Halkla İlişkiler, Siber Kriz Yönetimi, Kurumsal Güven, İtibar Yönetimi.

INTRODUCTION

In recent years, the world has witnessed rapid and significant developments in electronic systems, which have led to the expansion of financial institutions, including Islamic banks, in providing their services through electronic platforms. Despite the positive role that these technologies have played in improving the efficiency of banking operations and facilitating the delivery of services to customers, they have also, on the other hand, made financial institutions more vulnerable to various types of cyber risks, such as data breaches, electronic fraud, and malware. These risks have become a major fundamental challenge facing the banking sector globally (Waliullah et al, 2025).

Islamic banks constitute an essential component and a fundamental pillar of the banking and financial system, as their operations are based on the principles of Islamic Sharia, which emphasize adherence to ethical standards and the protection of customers' rights. Therefore, any cyber crisis may not only result in direct financial losses but may also extend its impact to affect the bank's market position, customer trust, and its ability to maintain its competitive position and sustain its financial performance (Junita et al, 2026) .

In this context, public relations plays an effective role in managing cyber crises, as it contributes to developing effective communication plans, ensuring rapid and transparent communication with relevant stakeholders, and managing information during and after the crisis. This helps contain the repercussions of the crisis, reduce its impacts, and enhance institutional credibility. Moreover, the success of public relations in crisis management contributes to preserving the bank's image and reputation and strengthens the institution's ability to rebuild trust with stakeholders following the occurrence of cyberattacks (Ali et al, 2025).

Accordingly, this study aims to analyze the impact of cyber risks on the financial performance of Islamic banks, with a focus on the role played by public relations in managing cyber crises and enhancing institutional trust. The study also seeks to clarify the relationship between cyber risks and financial performance, and to determine the extent to which public relations strategies contribute to mitigating the negative impacts of these risks. This provides a scientific framework that Islamic banks can benefit from in developing their policies related to cybersecurity, crisis management, and building institutional trust (Sarmigi & Saini, 2025).

THEORETICAL FRAMEWORK

- **Cyber Risks In Islamic Banks**

Cyber risks are defined as the negative impacts and risks arising from the use of the digital world, which may lead to the penetration of information systems, disruption of operational processes, loss of data, or damage to the institution's reputation. These risks include various forms, such as cyberattacks, database breaches, electronic fraud, malware, and denial-of-service (DoS) attacks (Hassan et al, 2024).

Cyber risks have gained significant importance in Islamic banks due to the unique nature of their operations, which are based on trust, transparency, and the protection of customers' funds. The occurrence of any security breach does not only result in direct financial damage but may also lead to a decline in customer confidence, damage to the bank's institutional image, and increased costs associated with addressing the consequences of the crisis and restoring systems (Aboelfadl & Otaibi, 2025).

- **The Impact Of Cyber Risks On The Financial Performance Of Islamic Banks**

Financial performance is considered one of the important indicators and measures that reflect a bank's ability to achieve its objectives and maintain its sustainability. The level of financial performance is associated with a range of internal and external factors, including the level of risks arising within the institutional environment and the bank's ability to manage them. Cyber risks affect the financial performance of banks through several channels, as cyberattacks lead to an increase in expenses and costs required to address their consequences due to the need to develop protection systems, handle breaches, and compensate for the resulting damages. They may also reduce generated revenues as a result of losing customers or declining their confidence in electronic services (Al-Nimer et al 2026).

In addition, the indirect impacts of cyber risks, such as damage to institutional reputation and loss of credibility, may have a long-term effect on the competitive ability of Islamic banks.

Therefore, cyber risk management has become an essential element in maintaining financial stability and enhancing institutional performance (Alifah et al, 2025) .

- **The Role of Public Relations in Managing Cyber Crises and Enhancing Institutional Trust**

Public relations in modern financial institutions are no longer limited to enhancing and building a positive institutional image. Rather, they have evolved into a strategic function and a central component that contributes to crisis management and the maintenance of relationships with various stakeholders. The importance of public relations becomes particularly evident during cyber crises, when financial institutions require rapid and transparent communication with customers and relevant parties to limit the spread of misinformation and reduce the negative consequences of the crisis (Inobemhe, 2026).

Public relations contribute to cyber crisis management by developing and managing communication plans before a crisis occurs, identifying appropriate and effective communication channels during the crisis, and providing accurate and reliable information to the public after the incident. They also play a vital role in restoring and strengthening the institution's reputation by demonstrating the bank's preparedness to respond to the crisis and its commitment to protecting customers' data (Mialkovska et al, 2025).

Institutional trust is considered one of the fundamental pillars of the sustainability of Islamic banks, as it is closely linked to customers' confidence in the bank's ability to safeguard their funds and personal data while delivering secure and reliable services. Therefore, the existence of an effective public relations strategy contributes to mitigating the adverse impacts of cyber crises and strengthening the institution's long-term stability and sustainability.

- **The Relationship Between Cyber Risks, Financial Performance, and the Role of Public Relations**

The literature indicates the existence of an interconnected and complex relationship between cyber risks and the financial performance of financial institutions. Cyber risks may increase the likelihood of exposure to cyberattacks, leading to impacts and consequences on profitability, operational efficiency, and institutional reputation. Conversely, the development and implementation of integrated and effective crisis management strategies, particularly through public relations, can contribute significantly to reducing these negative effects and enhancing the bank's ability to restore trust and stability (Kryshtal et al, 2025).

Accordingly, the relationship between cyber risks and financial performance does not depend solely on the effectiveness of electronic protection systems in addressing threats; it is also influenced by the institution's ability to manage communication during crises and maintain the trust of customers and stakeholders (Gaies et al, 2026) .

METHODOLOGY

This study employed the descriptive-analytical approach to examine the impact of cyber risks on the financial performance of Islamic banks, with a particular focus on the role of public relations in managing cyber crises and enhancing institutional trust. This approach was considered the most appropriate for the nature and variables of the study, as it aims to analyze the relationship between digital transformation in the banking sector, the increasing prevalence of cyber risks, and their potential implications for financial performance and the competitive position of financial institutions.

The study sample consists of Islamic banks operating in Türkiye, which have experienced significant expansion in the adoption of digital systems and electronic banking services in recent years. The study includes the major Turkish Islamic banks, namely Kuveyt Türk Participation Bank, Albaraka Türk Participation Bank, Türkiye Finans Participation Bank, Ziraat Participation Bank, Vakıf Participation Bank, and Emlak Participation Bank.

The study relied on an analysis of the relevant literature and previous studies concerning cyber risks, the financial performance of financial institutions, and crisis management through public relations. It also reviewed recent reports and developments related to digital transformation in the Turkish banking sector. Furthermore, the study analyzed the relationships among its main variables, with cyber risks as the independent variable, the financial performance of Islamic banks as the dependent variable, and the role of public relations as a supporting mechanism in cyber crisis management and the enhancement of institutional trust.

DISCUSSION AND ANALYSIS

- **The Impact of Cyber Risks on the Financial Performance of Turkish Islamic Banks**

Turkish Islamic banks have experienced significant expansion in the provision of digital banking services, including online banking and mobile banking applications. This transformation has contributed to improving operational efficiency and reducing the time and costs associated with traditional banking operations. However, the increasing reliance on digital technologies has also heightened the likelihood of exposure to cyber risks (Aktürk et al, 2025).

Cyber risks affect the financial performance of Islamic banks through several channels. From a direct financial perspective, cyberattacks increase operating expenses due to the need to invest in cybersecurity systems, upgrade digital infrastructure, and recover from security breaches. They may also result in financial losses caused by service disruptions or compensation paid to affected customers (August et al, 2025).

From an indirect perspective, the impact of cyber risks extends to the bank's reputation and customer trust, both of which are fundamental to the success of Islamic banks. A decline in customers' confidence in the bank's ability to protect their data and financial assets may reduce the use of digital banking services, thereby negatively affecting financial performance and the bank's competitive position (Oyewole et al, 2024).

- **The Role of Public Relations in Managing Cyber Crises in Turkish Islamic Banks**

Managing cyber crises is not limited to technical solutions; it also requires effective communication and interaction with stakeholders. In this context, public relations plays a strategic role by serving as a communication bridge between the bank, its customers, and the wider community during times of crisis. Public relations contributes to mitigating the negative effects of cyber crises by providing timely and accurate information, maintaining transparent communication, and reassuring customers about the measures taken to protect their personal data. It also helps prevent the spread of rumors and misinformation that could further undermine public confidence in the institution (Ali et al, 2025).

In the case of Turkish Islamic banks, the importance of public relations is even greater because Islamic banking is founded on the principles of trust, credibility, and ethical commitment. Consequently, effective reputation management becomes a critical factor in maintaining long-term relationships with customers.

- **The Integrated Relationship Between Cybersecurity, Public Relations, and Institutional Trust**

The findings of this study suggest that strengthening the financial performance of Islamic banks depends not only on their technical capability to address cyber risks but also on their ability to manage crises and communicate effectively with stakeholders. Even when advanced cybersecurity systems are in place, ineffective communication during a cyber crisis may amplify its negative impact on the bank's reputation and customer trust.

Accordingly, integrating cybersecurity strategies with public relations crisis management plans represents an important approach to reducing the losses associated with cyber crises and supporting the financial stability of Turkish Islamic banks. Furthermore, strengthening institutional trust is a key factor in helping banks retain their customers and enhance their resilience against future digital challenges.

Table: Potential Cyber Risks and Their Expected Impact on the Financial Performance of Turkish Islamic Banks

Turkish Islamic Bank	Level of Digital Banking Adoption	Potential Cyber Risks	Potential Impact on Financial Performance	Role of Public Relations in Cyber Crisis Management
Kuveyt Türk Participation Bank	High	Data breaches, cyber fraud, service disruption	Increased cybersecurity costs, potential loss of customer trust	Providing timely communication and informing customers about corrective measures

Albaraka Türk Participation Bank	High	Cyberattacks, data leakage, online banking threats	Higher operational costs and potential reputational damage	Ensuring transparent communication and maintaining stakeholder confidence
Türkiye Finans Participation Bank	High	System intrusions, phishing attacks	Financial losses and reduced customer confidence	Delivering accurate information and supporting reputation recovery
Ziraat Participation Bank	High	Cybersecurity threats targeting	Disruption of banking operations and increased security expenditures	Coordinating crisis communication with customers and stakeholders
Vakıf Participation Bank	Moderate of High	Information security risks and service interruptions	Increased investment in cybersecurity and possible decline in customer satisfaction	Reassuring customers and protecting the bank's corporate image
Emlak Participation Bank	Moderate	System vulnerabilities and cyber threats	Potential effects on profitability and institutional reputation	Strengthening institutional trust through effective crisis communication

RESULTS AND RECOMMENDATIONS

- **Results**

✓ The study found that the increasing reliance on digital banking services in Turkish Islamic banks has raised the level of exposure to cyber risks, making cybersecurity an essential component in protecting banking operations and ensuring the continuity of financial services.

✓ The study indicated that cyber risks affect the financial performance of Islamic banks both directly, through increased cybersecurity and incident response costs, and indirectly, by influencing the bank's reputation and customer trust, which may reduce its competitiveness and profitability.

✓ The study demonstrated that public relations plays a pivotal role in managing cyber crises through timely and transparent communication with customers and stakeholders, thereby mitigating the negative consequences of cyber incidents and preserving institutional trust.

✓ The study confirmed that integrating cybersecurity strategies with public relations practices enhances the ability of Islamic banks to respond effectively to cyber crises, supports financial stability, and strengthens their reputation within the digital banking environment.

- **Recommendatıons**

✓ The study recommends that Islamic banks strengthen their investments in cybersecurity systems and continuously upgrade their digital infrastructure to reduce the likelihood of cyberattacks and minimize their financial and operational impacts.

✓ The study recommends developing comprehensive cyber crisis management plans that include clear communication and disclosure mechanisms during crises, enabling rapid response while maintaining the confidence of customers and stakeholders.

✓ The study recommends strengthening the role of public relations departments by training their staff in digital crisis management and strategic communication, enabling them to respond effectively to cyber incidents and reduce reputational damage.

✓ The study recommends conducting further empirical research on the impact of cyber risks on the financial performance of Islamic banks across different countries by utilizing financial data and quantitative indicators to provide more comprehensive and accurate findings.

REFERENCES

Aboelfadl, A. M., & Otaibi, F. A. (2025). The Impact of Cyber Risks as a Mediating Variable on the Relationship Between Spending on Cyber Security and Performance in Saudi Islamic Banks with A Field Study. *Journal of Posthumanism*, 5(3), 475-509.

Aktürk, B., Gürbüz, Y. E., & Turkan, Y. S. (2025). The expansion of Islamic Fintech: The digital transformation of financial services in the world and Turkey. In Implications of ICT for Islamic finance and economics (pp. 157-188). IGI Global Scientific Publishing.

Ali, S. A., Hassan, A., Mohammed, F. A., & Seyadi, A. Y. (2025). Public Relations and Cybersecurity. In The Paradigm Shift from a Linear Economy to a Smart Circular Economy: The Role of Artificial Intelligence-Enabled Systems, Solutions and Legislations (pp. 1909-1918*). Cham: Springer Nature Switzerland.*

Alifah, R. N., Subagiyo, R., & Aswad, M. (2025). Cybersecurıty And Operatıonal Rısk In Islamıc Bankıng: Enhancıng Governance And Sharıah Complıance In The Dıgıtal Age. *In Iqtishaduna: International Conference Proceeding* (Vol. 2, pp. 209-212).

Al-Nimer, M., Badwan, N., Al Zobi, M. T., Al-Khazaleh, S., Abdallah-Ou-Moussa, S., & Hamdan, M. (2026). Impact of corporate governance on bank performance in the MENA region: the moderating role of cybersecurity policy. *Information & Computer Security*, 1-28.

August, T., Noh, D., Shamir, N., & Shin, H. (2025). Cyberattacks, operational disruption, and investment in resilience measures. *Management Science*, 71(9), 7390-7413.

Gaies, B., Chaâbane, N., & Sahut, J. M. (2026). Cyber risk, market fear and financial instability: hunting down risk through contagion analysis. Journal of Economic Studies, 53(5), 1012-1032.

Hassan, M. K., Sohel, M. N. I., Choudhury, T., & Rashid, M. (2024). A systematic literature review of risks in Islamic banking system: research agenda and future research directions. *Risk management*, 26(1), 3.

Inobemhe, K. (2026). Public Relations Strategies for Addressing Emerging Cybersecurity Threats in Nigeria's Digital Economy. *Journal of Communication and Public Relations*, 5(1), 54-71.

Junita, B., Brennaf, M. S., Octaviano, D., & Fatiha, Z. D. (2026). Maqasid Al Shariah framework for cybersecurity risk management and data protection in global Islamic banking. *Journal of Business Management and Islamic Banking*, 77-94.

Kryshtal, H., Samofalova, M., Sakhno, L., Fedyna, V., Mokiienko, T., & Yermolaieva, M. (2025). Cyber risks in the financial and banking system: analysis of direct and systemic losses.

Mialkovska, L., Abramova, I., Smolych, D., Hubina, A., Zelenko, O., & Sadova, L. (2025). Crisis Management in the Media Sector: Analyzing Brand Communication Strategies and Public Relations Technologies. *Journal of Management Practices, Humanities and Social Sciences*, 9(6), 302-317.

Oyewole, A. T., Okoye, C. C., Ofodile, O. C., & Ugochukwu, C. E. (2024). Cybersecurity risks in online banking: A detailed review and preventive strategies application. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 21(3), 625-643.

Sarmigi, E., & Saini, M. Z. H. (2025). Trust as a Foundation for Ethical and Resilient Sharia Banking: Public Perception of Security and Reliability. *BANCO: Jurnal Manajemen dan Perbankan Syariah*, 7(1), 68-89.

Waliullah, M., George, M. Z. H., Hasan, M. T., Alam, M. K., Munira, M. S. K., & Siddiqui, N. A. (2025). Assessing The İnfluence Of Cybersecurity Threats And Risks On The Adoption And Growth Of Digital Banking: A Systematic Literature Review. *arXiv preprint arXiv:2503.22710.*

GOVERNMENT EFFECTIVENESS AND GROWTH IN ADVANCED COUNTRIES

Prof. Dr. Mert Topcu
Alanya Alaaddin Keykubat University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Economics, Alanya, Antalya, Turkiye,
ORCID: 0000-0001-8236-9810

ABSTRACT
The goal of this paper is to investigate the impact of government effectiveness on growth in seven advanced countries over the period 2003–2021. The analysis employs the Augmented Mean Group estimator, which accounts for cross-sectional dependence and slope heterogeneity across countries. The findings indicate that government effectiveness does not exert a statistically significant direct effect on economic growth. This result suggests that, in institutionally mature economies, the marginal growth contribution of further improvements in government effectiveness may become less pronounced. The study therefore highlights the importance of considering the level of institutional development when assessing the growth implications of government effectiveness.
Keywords: Government effectiveness, Economic growth, Advanced countries.

INTRODUCTION
Government effectiveness is widely regarded as an important dimension of institutional quality. It is reflected in the capacity of governments to formulate and implement policies, provide public services, and maintain an effective public administration. Through these channels, economic performance can be influenced by lower uncertainty, a stronger investment environment, and a more efficient use of resources.

From a theoretical perspective, the relationship can be explained through institutional and endogenous growth approaches. When public institutions are effective, transaction costs can be reduced, property rights can be protected more reliably, and policy uncertainty can be limited. A more predictable environment can therefore be created for investment and long-term planning. Public resources can also be allocated more efficiently to infrastructure, education, innovation, and other productivity-enhancing areas. In this way, capital accumulation and productivity can be supported, and more favorable conditions for sustained economic growth can be established.

In the existing literature, greater attention has been given to developing, emerging, and transition economies. In these countries, institutional weaknesses are often treated as an important constraint on growth. Much less attention has been paid to developed countries, where institutional structures are generally more established and government capacity is relatively high. Therefore, it remains unclear whether further improvements in government effectiveness still contribute to economic growth once a high level of institutional maturity has been reached.

Against this background, the aim of this study is to examine the impact of government effectiveness on economic growth in a panel of seven developed countries over the period 2003–2021. By focusing on advanced economies, the study tests whether government effectiveness remains relevant for growth under relatively strong institutional conditions. In this way, evidence is provided for a country group that has received comparatively less direct attention in the existing literature. The study therefore seeks to clarify whether the growth effect of government effectiveness persists even after a high level of institutional development has already been achieved.

LITERATURE SURVEY
Government effectiveness has been widely discussed as an institutional determinant of economic performance, yet the empirical evidence is concentrated mainly on developing, emerging, and transition economies. Alam et al. (2017) report a positive relationship between government effectiveness and economic growth in a broad cross-country sample. More country-group-specific evidence is provided by Sasmaz and Sagdic (2020), who find that government effectiveness supports growth in European Union transition economies. Emir (2024) reaches a similar conclusion for BRICS-T countries, while Sori et al. (2024) identify a positive effect in Sub-Saharan Africa. Evidence from Vietnam also points

in the same direction. Hartley and Aldag (2022) show that more effective provincial governance is associated with stronger economic performance, although the magnitude of the relationship differs across provinces with different structural characteristics.

A second group of studies suggests that the effect of government effectiveness may depend on the economic and institutional context in which it operates. Cooray and Nam (2025) show that government effectiveness is positively related to growth and also improves the growth contribution of public social spending. Their sample includes both developed and developing countries, indicating that government capacity may influence the efficiency with which public resources are converted into economic outcomes. Tanjung and Shimada (2025) provide more direct evidence of cross-country heterogeneity. They find that the role of governance differs between emerging and developed economies, and government effectiveness appears particularly important in the developed-country group. Kucukcolak et al. (2026) also emphasize heterogeneity by comparing G7 and E7 economies. Their results suggest that the long-run growth effects of governance vary with institutional maturity. These findings imply that the government effectiveness-growth relationship may not be constant across different stages of development.

At the same time, the literature does not provide fully consistent results. Almohammed and Ekşi (2021) find no significant relationship between a broader governance measure and economic performance in emerging economies. This inconsistency may reflect differences in institutional structures, levels of development, sample composition, and empirical methodology. More importantly, most of the existing evidence is still derived from developing or emerging economies, where weaknesses in public administration and institutional quality are generally more visible. In such settings, improvements in government effectiveness may generate relatively large gains because institutional constraints are more binding.

The case of developed countries is less clearly established. Advanced economies generally operate with stronger administrative systems, more established regulatory structures, and higher levels of institutional capacity. For this reason, the marginal contribution of further improvements in government effectiveness may differ from that observed in developing economies. It may be smaller because institutional quality is already high, or it may remain important because effective governments are better able to manage complex public policies, maintain policy credibility, and support productivity-enhancing conditions. Despite this possibility, relatively few studies examine developed countries as a distinct sample.

This gap provides the motivation for the present study. Existing research offers substantial evidence from developing, emerging, and transition economies, while developed economies are often included only as part of mixed-country samples or comparative frameworks. A focused analysis of developed countries can therefore provide clearer evidence on whether government effectiveness continues to matter for economic growth when a relatively high level of institutional maturity has already been achieved.

MODEL AND DATA

The aim of this study is to examine the influence of government effectiveness on economic growth in seven advanced countries. Given this aim, this study describes economic growth as a function of capital stock and government effectiveness. The paper utilizes annual observations ranging from 2003 to 2021. The analysis includes the following seven advanced countries: Belgium, Denmark, Finland, Germany, the Netherlands, Sweden, and the USA. In this empirical framework, the main explanatory variable is government effectiveness, while capital stock is used as a control variable. The basic econometric version is given in Equation 1 below:

$$growth_{it} = \beta_0 + \beta_1 capital_{it} + \beta_2 goveff_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

where growth is the dependent variable, capital is the control variable, and goveff is the main explanatory variable. β_0 signifies the constant term, while ε_{it} signifies the error term.

We proxy economic growth using annual real GDP (constant 2015 US dollars). Capital stock is measured by gross fixed capital formation as a share of GDP. The data for these two variables are downloaded from the World Development Indicators database provided by the World Bank. Government effectiveness is one of the dimensions of the Worldwide Governance Indicators constructed

by Kaufmann et al. (2011) and is ranked between 0 and 100. The data for government effectiveness are sourced from the Worldwide Governance Indicators database provided by the World Bank.

Table 1. Descriptive Stats

	Growth	capital	Goveff
Observation	133	133	133
Mean	1.573	21.569	86.812
Maximum	6.500	25.115	96.420
Minimum	-8.076	17.389	73.128
Std. Dev.	2.423	1.793	4.874

Table 1 reports the descriptive statistics. These statistics do not show considerable variation across the sample. Government effectiveness is the variable that shows the most cross-country variation.

Table 2. Correlation Matrix

	Growth	capital	Goveff
growth	1.000		
capital	0.079	1.000	
goveff	-0.104	0.093	1.000

Table 2 reports the correlation matrix. It reveals a fairly low positive association between economic growth and capital, and a low negative association between economic growth and government effectiveness. Besides, a low correlation coefficient between capital and government effectiveness reveals no indication of potential multicollinearity between right-hand-side variables.

METHODS AND FINDINGS

Given the relatively short time dimension of the panel and the bounded or rate-based nature of the variables, panel unit-root testing is not treated as a central issue in the empirical strategy. Instead, greater emphasis is placed on cross-sectional dependence and slope heterogeneity, which are directly relevant to the choice of the AMG estimator.

Table 3. Cross-Section Dependence and Homogeneity Results

Variables	**Panel A: BP LM Test**	**Panel B: Adjusted Delta Test**
growth	267.761***	2.175**
capital	119.158***	
goveff	53.782***	

Note: *** and ** denote significance at 1% and 5%, respectively.

In order to test the potential cross-sectional dependence, we utilize the BP LM test proposed by Breusch and Pagan (1980). Moreover, slope homogeneity is also analyzed through a procedure proposed by Pesaran and Yamagata (2008). Test results are reported in Table 3. The Breusch–Pagan LM test, reported in Panel A of Table 3, strongly rejects the null hypothesis of cross-sectional independence for all variables, indicating the presence of significant cross-sectional dependence in all series. Heterogeneity findings, reported in Panel B of Table 3, reveal evidence of slope heterogeneity.

Table 4. Regression Results

Variables	**Coefficient**
capital	0.188 (0.095)**
goveff	-0.034 (0.092)

Note: ** denotes significance at 5%.
Robust standard errors are in parentheses.
Estimates for the constant term are not reported.

Having found cross-section dependence and slope heterogeneity, the slope coefficients will be estimated through a panel time series estimator that is robust to cross-section dependence and heterogeneity. To this end, this paper uses the Augmented Mean Group (AMG) estimator proposed by Eberhardt and Bond (2009), Eberhardt and Teal (2010), and Bond and Eberhardt (2013). Empirical results, reported in Table 4, reveal that the impact of capital on growth is positive and statistically significant. To be more specific, a one-unit increase in capital increases economic growth by 0.188 units. On the other hand, the impact of government effectiveness on economic growth is not statistically significant.

DISCUSSION AND POLICY IMPLICATIONS

The findings suggest that, in advanced economies, improvements in government effectiveness do not necessarily translate into additional economic growth. This result should not be interpreted as evidence that government effectiveness is economically unimportant. Rather, it may indicate that its marginal growth contribution becomes less visible once countries have already reached relatively high levels of administrative capacity and institutional maturity. In such an environment, government effectiveness may function more as a necessary institutional foundation for maintaining economic stability, policy credibility, and the efficient operation of markets than as an independent source of additional growth.

This interpretation is particularly relevant for the countries included in the sample, where government effectiveness is already comparatively high and exhibits relatively limited variation. Under these conditions, further improvements in administrative quality may generate benefits that are not immediately reflected in aggregate GDP growth. Effective governments may instead contribute indirectly by improving the quality of public investment, reducing implementation failures, strengthening regulatory predictability, and supporting the economy's capacity to respond to shocks. Therefore, the absence of a statistically significant direct growth effect should not be equated with the absence of broader economic benefits.

The results also point to an important distinction between institutional quantity and institutional quality at high levels of development. For advanced economies, the policy challenge may no longer be simply to increase overall government effectiveness, but to improve the specific dimensions through which administrative capacity is translated into productive outcomes. Improvements in digital public services, regulatory coordination, innovation policy, infrastructure planning, and the efficiency of public expenditure may therefore be more relevant than broad increases in already high governance scores. In other words, the growth consequences of government effectiveness may increasingly depend on how effectively existing institutional capacity is used rather than on further improvements in its aggregate level.

The positive role of capital formation also has an important policy implication. In institutionally mature economies, sustaining growth may depend more strongly on the ability to convert institutional capacity into productive investment. This suggests that government effectiveness and capital accumulation should not necessarily be considered competing explanations of growth. Effective public institutions may instead play a complementary role by improving the environment in which investment decisions are made and by increasing the efficiency with which public and private capital is allocated. Accordingly, policy efforts aimed at supporting investment, productivity-enhancing infrastructure, technological upgrading, and innovation may yield stronger growth outcomes when accompanied by efficient and predictable public administration.

At the same time, the findings caution against assuming that governance reforms produce uniform economic returns across different stages of development. Institutional improvements that generate substantial growth gains in countries with weak administrative structures may produce smaller marginal effects in advanced economies where basic institutional constraints have already been largely overcome. This possibility reinforces the importance of considering the level of institutional development when evaluating the economic consequences of governance reforms and may help explain why the existing literature reports heterogeneous findings across different country groups.

CONCLUDING REMARKS

This study examines the impact of government effectiveness on economic growth in seven advanced countries over the period 2003–2021, controlling for capital formation.

Using the Augmented Mean Group estimator, the findings show that government effectiveness does not have a statistically significant direct effect. It may potentially show that government effectiveness' marginal growth contribution becomes less visible once countries have already reached relatively high levels of administrative capacity and institutional maturity

Future research could examine these mechanisms more explicitly by distinguishing between the direct and indirect effects of government effectiveness on economic performance. In particular, larger samples of advanced economies, alternative measures of institutional quality, and models incorporating possible nonlinear or threshold effects may provide further evidence on whether the contribution of government effectiveness changes once a certain level of institutional maturity has been reached. Future studies may also investigate whether government effectiveness affects growth primarily through channels such as investment efficiency, innovation, productivity, or resilience to economic shocks.

REFERENCES

Alam, M. R., Kitenge, E., & Bedane, B. (2017). Government effectiveness and economic growth. Economics Bulletin, 37(1), 222–227.

Almohammed, H., & Eksi, İ. H. (2021). Is governance effective in economic growth? Evidence from MSCI countries. Hitit Journal of Social Sciences, 14(1), 40–55.

Bond, S., & Eberhardt, M. (2013). Accounting for unobserved heterogeneity in panel time series models. Discussion paper, Nottingham, UK.

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. The Review of Economic Studies, 47(1), 239-253.

Cooray, A., & Nam, Y.-S. (2025). Public social spending, government effectiveness, and economic growth: An empirical investigation. Applied Economics, 57(1), 52–66.

Eberhardt, M., & Bond, S. (2009). Cross-section dependence in nonstationary panel models: a novel estimator. Munich Personal RePEc Archive Working Paper No. 17870, Germany.

Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). Productivity analysis in global manufacturing production. Economics Series. Working Papers, 515.

Emir, R. T. (2024). An application on the effect of government efficiency on economic growth: Evidence from BRICS-T countries. Journal of the Faculty of Political Science, 6(1), 63–72.

Hartley, K., & Aldag, A. M. (2022). The impact of governance effectiveness on economic growth: Insights from the Vietnam Provincial Competitiveness Index 2007–17. Journal of Southeast Asian Economies, 39(2), 111–126.

Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2011). The worldwide governance indicators: Methodology and analytical issues. Hague Journal on the Rule of Law, 3(2), 220-246.

Kucukcolak, R. A., Bozkurt Ates, G., Kucukoglu, S., & Ilter Kuçukcolak, N. (2026). Governance quality and long-run economic growth: Comparative evidence from G7 and E7 economies. Economic Change and Restructuring, 59, Article 23.

Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. Journal of econometrics, 142(1), 50-93.

Sasmaz, M. Ü., & Sagdic, E. N. (2020). The effect of government effectiveness and rule of law on economic growth: The case of European Union transition economies. İşletme Fakültesi Dergisi, 21(1), 203–217.

Sori, G. K., Birhan, A. T., & Thomas, N. D. (2024). Effect of government effectiveness on economic growth: Evidence from Sub-Saharan Africa. American Journal of Economics and Business Innovation, 3(3), 76–83.

Tanjung, M., & Shimada, Y. (2025). Modelling the impact of governance and economic growth: Insights from ASEAN and developed countries. Journal of Public Affairs, 25, e70048.

URBANIZATION AND GOVERNMENT EXPENDITURE IN DEVELOPED COUNTRIES

Prof. Dr. Mert Topcu

Alanya Alaaddin Keykubat University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Economics, Alanya, Antalya, Turkiye,
ORCID: 0000-0001-8236-9810,

Abstract
This paper investigates the impact of urbanization on government expenditure in six developed countries over the period 2008–2023. The analysis explicitly considers the possibility that this relationship is nonlinear rather than constant across different levels of urbanization. Using a fixed-effects panel framework with Driscoll–Kraay robust standard errors, the results reveal a statistically significant U-shaped relationship between urbanization and government expenditure. This finding suggests that the fiscal consequences of urbanization in developed economies reflect a changing balance between efficiency gains from population concentration and the rising costs associated with highly urbanized systems. The study highlights the importance of incorporating nonlinear urbanization effects into fiscal planning and urban policy design.
Keywords: Urbanization, Government expenditure, Developed countries

INTRODUCTION

The relationship between urbanization and government expenditure is worth investigating because urbanization reshapes both the demand for public services and the cost structure of their provision. Changes in population concentration can alter governments' needs for infrastructure, transportation, housing, healthcare, education, security, and other public services, while also affecting the efficiency with which these services are delivered. Understanding this relationship is therefore important for evaluating the fiscal consequences of urban transformation and for designing more efficient public expenditure policies.

This issue is particularly relevant for developed countries, where urbanization levels are already high and the urban transition is relatively mature. Unlike developing economies, where the main fiscal challenge often arises from the speed of urban expansion, developed countries face the consequences of sustaining highly urbanized societies. High population concentration can improve the efficiency of public service provision through economies of scale and more intensive use of existing infrastructure. At the same time, advanced urbanization may generate substantial fiscal pressures through congestion, infrastructure renewal, housing constraints, environmental management, aging urban systems, and increasing demand for high-quality public services. Therefore, the fiscal consequences of urbanization in developed countries are likely to reflect a balance between the efficiency gains associated with concentration and the rising costs of managing mature and complex urban systems.

From a theoretical perspective, the effect of urbanization on government expenditure may therefore operate in both directions. On the one hand, greater urban concentration may reduce expenditure needs by lowering per capita service provision costs and improving the utilization of existing infrastructure. On the other hand, at higher levels of urbanization, congestion, infrastructure maintenance and renewal, environmental pressures, housing needs, and increasingly complex service demands may raise government expenditure. These competing mechanisms suggest that the relationship may not necessarily be linear. In highly urbanized developed countries, the marginal fiscal effect of further urbanization may change as urban concentration increases, making the investigation of a possible nonlinear or curvilinear relationship especially relevant.

LITERATURE REVIEW

The existing literature can be classified into four main strands. The first strand directly examines whether urbanization expands the size or composition of public expenditure. Jetter and Parmeter (2018) provide the broadest cross-country evidence, showing that urbanization is generally associated with larger government size, especially through education, health, and social expenditure. At the subnational level, Hao and Yuxia (2015) similarly show that rural migrant urbanization increases local government

expenditure on science, technology, and education, suggesting that urbanization affects not only total spending needs but also the allocation of fiscal resources across sectors. Deo (2025), focusing on Nepal, also emphasizes the fiscal pressures generated by rapid urban growth, particularly through growing needs for housing, roads, sanitation, transport, and other urban infrastructure, although fiscal responses may remain insufficient relative to these needs.

A second strand focuses on sector-specific expenditure, particularly health. Cetin and Bakirtas (2019), using data for 89 developing countries, find that urbanization increases healthcare expenditure under both fixed-effects and dynamic panel estimations. Shao et al. (2022) likewise document a positive effect of urbanization on healthcare expenditure in China, while showing that the magnitude of this effect varies across regions and population-aging regimes. By contrast, Nguyen-Phung and Le (2024) find that urbanization reduces inpatient and outpatient household health expenditure in Vietnam, although self-treatment expenditure rises. These contrasting findings suggest that urbanization can create additional expenditure pressures, but may also generate accessibility and efficiency gains that reduce some categories of spending.

A third strand emphasizes the cost structure of urban development and the role of spatial concentration. Bo et al. (2017) show that more elongated and dispersed urban forms are associated with higher per capita public service expenditure in Chinese cities. Their discussion highlights the importance of economies of scale, as greater population concentration may reduce the unit cost of providing infrastructure and public services, whereas urban sprawl can undermine such cost advantages. This strand is particularly important for the present study because it provides a theoretical basis for expecting urbanization to exert both expenditure-increasing and expenditure-reducing effects.

A fourth group of studies does not directly examine aggregate government expenditure but provides evidence that the consequences of urbanization may vary across levels of urban development. Bernini et al. (2021) document nonlinear expenditure responses across different urbanization categories in their analysis of household expenditure and well-being. Similarly, Teklemariam and Ng'ethe (2025) show that the moderating role of urbanization becomes stronger at higher urbanization levels in sub-Saharan Africa, indicating that the socioeconomic consequences of urbanization need not remain constant throughout the urbanization process.

Overall, the literature points to two competing mechanisms. Urbanization may increase government expenditure by raising demand for infrastructure, healthcare, education, transportation, housing, and other public services. At the same time, population concentration may create economies of scale and improve the efficiency of service provision, thereby reducing fiscal costs. Existing studies generally examine one of these channels separately, focus on particular expenditure categories, or model heterogeneity through regions and threshold variables. Although some studies acknowledge nonlinear or regime-dependent effects, the possibility that aggregate government expenditure responds curvilinearly to the level of urbanization itself remains insufficiently examined, particularly in developed countries, where urbanization levels are already high, and the fiscal consequences of further urban concentration may differ from those observed during earlier stages of urban transition. This gap provides the main motivation for testing whether the fiscal effect of urbanization changes across different levels of urbanization rather than assuming a constant linear relationship.

MODEL AND DATA

The goal of this paper is to investigate the impact of urbanization on government expenditure in six developed countries. To this end, we describe government expenditure as a function of trade and urbanization. In this setup, the main independent variable is urbanization, while trade is treated as a control variable. As described in the theoretical setting, we also include the squared term of urbanization to figure out whether the impact of urbanization on government expenditure varies as urbanization increases. The basic econometric version is shown in Equation 1.

$$ge_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 trade_{it} + \alpha_2 urbanization_{it} + \alpha_3 urbanizationsq_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

where ge is the dependent variable, trade is the control variable, and urbanization and urbanizationsq are the main independent variable and its squared term, respectively. α_0 denotes the constant term, while ε_{it} is the error term.

We use annual observations spanning from 2008 to 2023. The analysis includes the following developed countries: Australia, Austria, Canada, France, Switzerland, and the United Kingdom.

Government expenditure is measured by general government final consumption expenditure as a share of GDP. Trade is the sum of exports and imports of goods and services as a percentage of GDP. Finally, urbanization is proxied by urban population as a share of total population. All data are sourced from the World Development Indicators database provided by the World Bank.
Table 1 reports the descriptive statistics. According to the table, the highest standard deviation comes from the trade variable. Government expenditure, on the other hand, displays a more limited degree of variation across observations.

Table 1. Summary Statistics

	ge	Trade	urbanization
Observation	96	96	96
Mean	19.392	71.289	78.970
Maximum	24.839	138.500	87.486
Minimum	10.570	23.401	67.043
Std. Dev.	3.925	34.252	6.141

Table 2 reports the correlation matrix. According to the table, a moderate negative association between trade and government expenditure is found. Besides, there is no indication of multicollinearity among the independent variables.

Table 2. Correlation Matrix

	ge	Trade	urbanization
ge	1.000		
trade	-0.621	1.000	
urbanization	0.053	-0.626	1.000

METHODS AND FINDINGS

The F-test, Breusch–Pagan (1980) LM test, and Hausman (1978) tests are employed to select the appropriate panel data model. The results illustrated in Table 3 indicate that the fixed-effects model is preferred over both the pooled OLS and random-effects models.

Table 3. Pre-Estimation Tests

Tests	**Statistics**
F-test	14.390***
Breusch-Pagan LM Test	124.110***
Hausman Test	77.430***

Note: *** denotes significance at 1%.
In this paper, we use a robust standard error estimator proposed by Driscoll and Kraay (1998) to estimate the slope coefficients. Notice that the error structure in this estimator is assumed to be heteroskedastic, autocorrelated up to some lag, and possibly correlated between the cross-sections.

Table 4. Regression Results

Variables	**Statistics**
trade	-0.132 (0.007)***
urbanization	-6.960 (2.082)***
urbanizationsq	0.043 (0.013)***

Note: *** and ** denote significance at 1% and 5%, respectively.
Robust standard errors are in parentheses.
Estimates for the constant term are not reported.

Table 4 reports the results of the panel data fixed effects estimator with robust standard errors proposed by Driscoll and Kraay (1998). According to the table, the impact of trade on government expenditure is negative and statistically significant. A one-unit increase in trade decreases government expenditure by 0.132 units. On the other hand, the impact of urbanization on government expenditure is statistically significant and displays a U-shaped pattern. This pattern indicates that urbanization is associated with lower government expenditure at relatively lower levels of urbanization, whereas the relationship becomes positive after a certain point. Notice that the estimated inflection point is approximately 80.9%, indicating that the fiscal consequences of urbanization change within the observed range of the sample.

DISCUSSION AND POLICY IMPLICATIONS

The main implication of the findings is that the fiscal consequences of urbanization in developed countries are not uniform across different levels of urban concentration. The estimated turning point of approximately 80.9% lies above the sample mean urbanization rate of 79.0%, which is particularly informative for highly urbanized economies. This suggests that, for the average country in the sample, further urban concentration may still be associated with efficiency gains in public service provision and more intensive use of existing infrastructure. However, once urbanization moves beyond this relatively high level, the balance appears to shift, and the fiscal pressures associated with mature urban systems begin to dominate.

This result carries an important policy message. In developed countries, the fiscal challenge is not simply whether urbanization increases or decreases government expenditure, but rather at what stage the nature of this relationship changes. Below the turning point, policies that support compact urban development, coordinated infrastructure use, and efficient service delivery may help governments benefit from economies of scale. Beyond the turning point, however, additional urban concentration may increasingly generate costs related to congestion, infrastructure renewal, housing shortages, environmental management, transportation bottlenecks, and the provision of more sophisticated public services. Policymakers in highly urbanized economies should therefore not assume that further concentration will continue to generate fiscal efficiency indefinitely.

The fact that the turning point is above the sample mean also implies that many developed countries may be close to a zone in which the marginal fiscal effect of additional urbanization changes direction. This makes forward-looking urban planning particularly important. Fiscal authorities should coordinate expenditure planning with long-term metropolitan strategies, especially in countries approaching very high urbanization rates. Rather than focusing only on expanding public services, policy should increasingly emphasize productivity in service delivery, infrastructure maintenance, congestion management, housing efficiency, and the prevention of urban diseconomies.

More broadly, the findings suggest that mature urbanization should be treated as a fiscal management issue as much as a demographic one. The benefits of density remain important, but they may be conditional on the capacity of governments to manage the increasing complexity of highly urbanized environments. This also helps explain why a linear specification may conceal important differences between countries located at different points of the urbanization process.

CONCLUDING REMARKS

This study examines the impact that urbanization has on government expenditure in six developed countries over the period 2008–2023. The empirical results indicate that urbanization has a statistically significant U-shaped effect on government expenditure, suggesting that its fiscal consequences vary across different levels of urbanization rather than remaining constant.

Future research could examine whether the estimated nonlinear pattern differs across expenditure categories, particularly transportation, housing, health, environmental protection, and local infrastructure. Extending the country sample and considering alternative nonlinear approaches, such as threshold models, could also help identify the institutional, demographic, or fiscal conditions under which the relationship between urbanization and government expenditure changes.

REFERENCES

Bernini, C., Emili, S., & Galli, F. (2021). Does urbanization matter in the expenditure-happiness nexus?. Papers in Regional Science, 100(6), 1403-1428.

Bo, C., Xu, H., & Liu, Y. (2017). Examination of the relationships between urban form and urban public services expenditure in China. Administrative Sciences, 7(4), 39.

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. The Review of Economic Studies, 47(1), 239-253.

Çetin, M. A., & Bakırtaş, İ. (2019). Does urbanization induce the health expenditures? A dynamic macro-panel analysis for developing countries. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (61), 208-222.

Deo, S. K. (2025). Government Expenditure in Urban Development in Comparison to Development Budget in Nepal. Research Nepal Journal of Development Studies, 8(1), 70-80.

Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent covariance matrix estimation with spatially dependent panel data. Review of Economics and Statistics, 80(4), 549-560.

Hao, C., & Yuxia, F. (2025). The Impact of Rural Migrant Urbanization on Local Government Fiscal Allocation and Spending in Science and Technology and Education: Evidence from City Panel Data. Contemporary Social Sciences, 10(4), 139-155.

Hausman, J. A. (1978). Specification tests in econometrics. Econometrica, 46(6), 1251-1271.

Jetter, M., & Parmeter, C. F. (2018). Does urbanization mean bigger governments?. The Scandinavian Journal of Economics, 120(4), 1202-1228.

Nguyen-Phung, H. T., & Le, H. (2024). Urbanization and health expenditure: An empirical investigation from households in Vietnam. Economies, 12(6), 153.

Shao, Q., Tao, R., & Luca, M. M. (2022). The effect of urbanization on health care expenditure: evidence from China. Frontiers in Public Health, 10, 850872.

Teklemariam, N., & Ng'ethe, P. (2025). Moderating Effects of Urbanization on Citizens' Perception of Government Performance and Democratic Support in Sub-Saharan Africa. Urban Science, 9(4), 91.

FISCAL SUSTAINABILITY AND FISCAL SPACE IN TÜRKİYE: CURRENT CHALLENGES AND POLICY OPTIONS

Prof. Dr. Ahmet Niyazi Özker

Bandirma Onyedi Eylul University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Public Finance Department 10200-Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-4510-7829

ABSTRACT
The study examines the current state of Türkiye's recent budget balances, public debt developments, interest payments, and flexible expenditure, and analyses the composition of tax revenue and the distribution of public spending. This study considers the key policy challenge for Türkiye in terms of balancing fiscal discipline with its ability to sustain economic growth with respect to the balance between maintaining fiscal discipline, and at the same time providing enough fiscal space to support economic activity and respond to possible external shock. The study therefore examines the relationship between fiscal sustainability and fiscal space in Türkiye. It also investigates the effects of earthquake-related expenditures, tight international credit conditions, high inflation, exchange-rate volatility, and rising borrowing costs on the fiscal system. It follows from these studies that in addition to being dependent on a country's ability to borrow, fiscal space is also a function of both the quality of public revenue available to governments; the level of efficiency in which governments expend their revenues (expenditure efficiency); the strength of institutions that guide governments in their decisions; and finally, the potential for economic growth. Using a descriptive macro-fiscal analytical framework and recent data from the Ministry of Treasury and Finance, the Presidency of Strategy and Budget, TURKSTAT, the CBRT, and the World Bank, the study finds that although the data indicates that Türkiye has maintained a relatively moderate public debt/GDP ratio, Türkiye's actual fiscal space has significantly decreased due to increasing interest burden, rising interest expenditures, exchange-rate-sensitive debt-service obligations, and persistent structural expenditure rigidities, and continued structural pressure on its budget. "Fiscal sustainability" refers to the maintenance of the long-term viability of a nation's public finances, particularly with regard to reducing or stabilizing the overall level of national debt and ensuring that future generations can meet their obligations without undue hardship.
Key Words: Budget Balance, Fiscal Space, Fiscal Sustainability, Public Debt, Türkiye.
JEL Codes: E62; H61; H63; H68.

INTRODUCTION
The global economy has experienced a number of consecutive and multi-faceted shocks in recent years and therefore continues to demonstrate the function of fiscal policy in the maintenance of the overall health of the economy. Policymakers' focus on public finance resilience — i.e., sustaining public finances and preserving fiscal space — has thus become one of their top priorities. The COVID-19 pandemic put a heavy strain on governments' budgets, and the post-pandemic period was subsequently characterised by intensified inflationary pressures due to increased demand; energy and commodity prices were volatile; international relations were strained; financing rates were high; and there was growing concern over climate-related fiscal risk (IMF, 2023). Collectively, the developments listed above have dramatically changed how the traditional boundaries of fiscal policy are defined. As a result, fiscal sustainability has evolved from an issue related to keeping public debt at a specific level. Overall, as it relates to growth, price stability, fiscal resilience, and a government's capacity to react to potential future disturbances, fiscal sustainability is now much more than a one-dimensional area for the application of fiscal policy (Minarik, 2024).
The Turkish economy has recently been experiencing multiple serious macroeconomic problems including high inflation levels, unstable foreign exchange rates, rising financing costs (due to rising interest rates), and reduced opportunities for economic growth relative to employment. Moreover, due to earthquake destruction in February 2023 there is a need for substantial reconstruction funding; as well as social spending programs (social assistance); infrastructure investments; disaster recovery spending; etc. The types of spending highlight why budgetary flexibility is so important for the Turkish

Government. Considering defence spending, social security payments, energy subsidies; as well as the likely costs associated with responding to climate change; discussions concerning fiscal sustainability in Türkiye cannot be solely based upon current budget deficit numbers and current public debt/GDP ratios. In essence, because factors such as defence spending, social security payments, energy subsidies; and climate change pose an obligation on government spending going forward; any evaluation of fiscal sustainability should consider them (IMF, 2025).

Türkiye's public debt-to-GDP ratio is lower than that of many developed and developing economies. Although Türkiye has an advantageous position vis-a-vis other countries' public debt-to-GDP ratios, this does not automatically translate into an abundant/sustainable amount of fiscal space. Borrowing costs; the composition of debt by currency and interest rate; increases in interest expenses within the budget; volatility in tax revenues; tax expenditures; and increasing inflexibility in government spending should all be taken into consideration when assessing a country's fiscal space. All of these considerations are relevant regardless of whether you are analysing the economic environment or evaluating a specific policy decision. When inflation is high, it makes it increasingly difficult to evaluate fiscal performance through simple numeric changes in the budget. The major issue for Türkiye in this regard is not simply maintaining a commitment to fiscal discipline. Rather, there is a need to strike an optimal relationship between fiscal discipline and creating new fiscal room. In practice, too much fiscal restraint can help achieve positive short-term budget results; yet at the same time it will limit public investment, overall economic development and general welfare. On the other hand, a consistently expansive fiscal policy that exceeds the limits of what is available to fund from government resources can lead to the erosion of long-run fiscal viability (IMF, 2026a)

FISCAL SUSTAINABILITY IN TÜRKİYE AND STRUCTURAL CONSTRAINTS AND FINANCIAL RESILIENCE DYNAMICS

To determine whether Türkiye can achieve sustainable levels of fiscal performance, measuring total public debt relative to Gross Domestic Product (GDP) and/or assessing whether there is a significant difference in the magnitude of the central government budget deficit will not suffice. Although Türkiye has favourable public debt statistics relative to most other countries, a comprehensive evaluation of fiscal sustainability must include an analysis of the financial conditions of the public debt, the burden of interest paid on the debt, the maturity and currency composition of the debt, the structural capacity of public revenue generation and the sensitivity of the budget to unforeseen shocks. Thus, without including these factors, assessing fiscal sustainability is essentially impossible (OECD, 2025). Consequently, the problem facing Türkiye is not one of renewing existing public debt under certain circumstances, but rather how large a portion of future budgetary commitments will have to be devoted to servicing that debt, and thus what limits will exist in terms of other discretionary public expenditures over time.

Structural Determinants of the Fiscal Space in Türkiye: Recent Revenue and Government Expenditure Rigidities

Thus, from a broader perspective, the Turkish government has identified the linkages among the non-interest budget balance, economic growth and real borrowing costs. Excessive fiscal restraint may improve short-term budgetary outcomes; however, it may simultaneously constrain public investment, economic growth, and social welfare. Conversely, a persistently expansionary fiscal stance exceeding the government's financing capacity may undermine medium-term fiscal sustainability. As such, when economic growth occurs, it generates increased revenue flows to the government, which makes managing its debt slightly less difficult. Moreover, when real borrowing costs are greater than the rate of economic growth, the primary budget balance must be even stronger to preserve the sustainability of the public debt. In addition to evaluating the magnitude of its debt stock, Türkiye must evaluate its potential for fiscal sustainability through an assessment of the quality of its public revenues, the proportion of interest expenses contained within its budget and the capacity of fiscal policy to stimulate economic activity (IMF, 2026b). These dimensions—primary balance performance, revenue quality, interest expenditure, and the growth effects of fiscal policy—jointly determine the resilience of the fiscal framework.

Türkiye's second critical challenge lies in constructing a viable structure for generating public revenues. For example, Türkiye's tax structure remains comparatively reliant on indirect taxation, particularly consumption- and transaction-based taxes. Therefore, it is essential to assess the linkage between the sustainability of the budget and the capability of generating revenue separately. Indirect taxes generate immediate cash inflows to the government in the near term; however, their receptivity to economic downturns and changes in domestic demand renders them vulnerable to those events. Conversely, broadening the base of direct taxes, diminishing the informal economy by enhancing transparency and regulation in the area of tax expenditures and increasing the efficiency of collecting taxes are vital initial steps in enlarging Türkiye's long-term fiscal space (OECD, 2025). These actions will help fortify Türkiye's fiscal framework. Increasing fiscal space -- increasing the tax base available to the state -- does not necessarily involve either introducing new taxes or raising tax rates.

Assessments regarding fiscal space in Türkiye also require consideration regarding increasing rigidities in public spending. Mandatory expenditure items (personnel expenses, social security transfers, interest expense etc.) are increasingly consuming a larger percentage of each year's budget. Increasingly rigid public spending creates limitations on a government's ability to rapidly reassign funds during times of recession or significant external shocks. The experience of Türkiye during both the COVID-19 Pandemic and especially during the 2023 earthquakes provide clear evidence that fiscal space is not only a theoretical construct but is actually transformed into political-economic and social policy capabilities when governments face large-scale crises. Reconstruction post-crises/disasters, investment in infrastructure and housing needs along with providing social assistance must occur simultaneously. (IMF, 2021). The biggest problem in terms of policymaking in Türkiye will now arise. Viewing fiscal space as merely a "borrowing gap" that the public sector can draw upon for additional borrowing is unrealistic. Fiscal space represents a policymaking capacity that can be utilised by the public sector in ways that are consistent with maintaining macroeconomic stability and that do not add burdens to future fiscal obligations. The higher the level of inflation and the cost of capital within an economy, the greater the desire for additional funding of public spending via debt. However, the contractionary effect of inflation expectations, interest rates, and risk premiums on fiscal space could grow much faster than desired. As such, both the magnitude of fiscal space and the way it is spent are critical in Türkiye (Republic of Turkey, Ministry of Treasury and Finance, 2021). As such, Türkiye's fiscal plan should be viewed as designed to create long-term objectives—such as increasing government revenue; reviewing tax expenditures; creating efficiency and priorities in expenditure; controlling borrowing costs; and developing buffers against potential budget shocks.

Fiscal Space and the Resilience of Public Finances to Large-Scale Shocks: Public Obligations

It is not just about paying off outstanding public obligations—but ensuring that public finances possess sufficient policy space to absorb future economic, financial, social, and/or natural disasters. A focus on policy space (i.e., fiscal space) will move the conversation regarding fiscal sustainability in Türkiye beyond static debt measures. A strong budget balance provides predictable debt management which enhances confidence among investors in both the country's creditworthiness and stability resulting in lower financing costs thereby expanding fiscal space. High financing burdens from interest on past debts and declining flexibility in the budget because of mandatory expenditures result in narrower fiscal space even if the ratio of gross public debt to Gross Domestic Product is small. More broadly speaking however, Table 1 provides evidence that the 2023 earthquakes constitute an extreme test of Turkey's fiscal resilience. Earthquakes generated a sharp rise in public expenditure requirements while causing a decline in productive capacity across affected regions. Earthquakes additionally generated large reconstruction obligations which will impose additional opportunity costs on Turkey's central government budget. The ultimate central policy challenge facing Turkey therefore involves not only financing reconstruction but restoring Turkey's fiscal space (Presidency of the Republic of Türkiye, Strategy and Budget Office, 2023). To accomplish this objective, Turkey will have to strengthen its tax base improve efficiency in use of public funds control permanent increases in public spending and ensure that reconstruction outlays support long-run productive capabilities. To date, earthquakes provide a good illustration of how interactions among macroeconomic shocks and fiscal space determine longer-run sustainability and resilience of Turkey's public finances. Accordingly, having low levels of gross

public debt does not equate to having expansive fiscal space. Table 1 below presents selected indicators of the fiscal and economic burden of the 2023 in Türkiye:

Table 1. Selected Indicators of the Fiscal and Economic Burden of the 2023 Earthquakes in Türkiye

Indicator	Estimated Value	Source
Direct physical damage	US$34.2 billion	World Bank (2023)
Direct physical damage as a share of 2021 GDP	4.0%	World Bank (2023)
Share of residential buildings in total direct damage	53%	World Bank (2023)
Damage to non-residential buildings	US$9.7 billion	World Bank (2023)
Infrastructure damage	US$6.4 billion	World Bank (2023)
Estimated recovery and reconstruction needs	Approx. US$81.5 billion	World Bank / Government of Türkiye
Estimated total burden on the Turkish economy	US$103.6 billion	Presidency of Strategy and Budget (2023)
Estimated total economic burden as a share of 2023 GDP	Approx. 9%	Presidency of Strategy and Budget (2023)
Population displaced	Approx. 3.3 million people	World Bank
Number of heavily affected provinces	11 provinces	World Bank
Total central government budget allocation for earthquake-related measures in 2025	TRY 584 billion	Presidency of Strategy and Budget (2025)

Source: Compiled by the author based on the World Bank (2023a) and the Republic of Türkiye, Presidency of Strategy and Budget (2023-b, 2025); Presidency of Strategy and Budget of the Republic of Türkiye. (2025-a). Medium-Term Program (2026–2028). Ankara: Presidency of Strategy and Budget.

Table 1 illustrates that the February 2023 earthquakes represented not just a large-scale natural disaster (in terms of loss of life and property) but also a very large macro-fiscal shock for Turkey. The estimated US $34.2 billion in direct physical damage represents about 4% of 2021 Gross Domestic Product (GDP), which gives some idea of the massive destruction of the country's capital stock. A breakdown of this damage is especially important in terms of what it will cost the government to repair. For example, residential building damage accounted for 53% of total direct damages; while damage to non-residential structures and infrastructure totalled US $9.7 billion and US $6.4 billion respectively. These numbers imply that the earthquake has caused much more than just the need to replace homes. There needs to be a very large-scale program to repair roads, public utilities, private businesses, etc. Therefore, the fiscal response to the earthquake will include not just current expenditures (e.g., for emergency housing, food, medicine) but also a large amount of capital expenditures (to repair damaged infrastructure).
It is also important to distinguish between the direct physical damage resulting from the earthquake and the larger economic disruption. While estimates suggest the earthquake resulted in direct physical damage totalling US $34.2 billion, estimates of the cost of recovery and reconstruction were in excess of US $81.5 billion, showing that the costs of restoring economic and social capacity would exceed the cost of replacement of destroyed capital. Moreover, according to estimates made by the Presidency of

Strategy and Budget, the total burden placed upon the Turkish economy due to the earthquake is approximately US $103.6 billion, which is roughly equal to 9 percent of Turkey's 2023 GDP.

The difference between estimated direct physical losses and the estimated total burden reflects not just the cost of damaged capital but also includes lost productivity, employment losses, regional supply chain disruptions, emergency shelter costs, income support costs, reconstruction costs and decreased local economic activity. Thus, there is no reason to interpret only the cost of replacing damaged capital as the fiscal impacts of the earthquake. Instead, we should think of the earthquake as a broad-based economic shock impacting both aspects of the fiscal accounts – i.e. expenditures and revenues (IMF, 2024). However, in relation to fiscal space this simultaneous revenue/expenditure shock is relevant since it diminished the amount of discretionary budgetary resources available for alternative government priorities. Furthermore, the fact that earthquake related expenditures persisted well beyond the immediate post- disaster period also shows that the fiscal impacts cannot be viewed as transitory. The central government allocated TRY 584 billion in the 2025 central government budget for earthquake related activities indicating that reconstruction continues to require a considerable commitment of fiscal resources almost three years after the disaster.

Reconstruction is typically a multiyear endeavour hence the earthquake created a new set of long-term budget constraints for reconstruction as opposed to a single fiscal shock. Thus, budgetary resources that could have gone into educational programs, health programs, investments in productive public goods or reducing debt had to be redirected to reconstruction increasing the "opportunity cost" of public outlays and limiting government's ability to adjust its current fiscal priorities (Gunasekera et al., 2023). Regarding fiscal sustainability however, earthquake related expenditures do not necessarily represent proof of unsustainable fiscal behaviour. Expenditures associated with reconstructing productive capital and infrastructure will help rebuild productive potential, stimulate regional economies and increase future tax revenues and thus may enhance economic growth. The key issue then becomes whether the financing mechanisms used to fund earthquake related spending are sustainable over time. Financing earthquake related spending via a mix of sustainable borrowing arrangements, temporary revenue generating mechanisms and a strategic redirection of resources toward productive uses will likely limit negative effects on future fiscal sustainability.

On the other hand, if earthquake related spending is financed primarily using costly borrowing arrangements or poorly utilized funding sources or if temporary mechanisms become permanent components of public budgets, then future options to adjust fiscal policies will be limited. Thus, as illustrated by Table 1, the evidence clearly establishes that there exists a relationship between fiscal sustainability and fiscal space. While Turkey demonstrated a reasonable level of fiscal space by being able to mobilize a large quantity of resources following the earthquake(s); in addition, Turkey's capacity to continue allocating significant amounts for earthquake related purposes up until 2025 demonstrate how quickly fiscal space can be exhausted when faced with an external shock. In conclusion, the 2023 earthquakes illustrate a useful case study for understanding how exogenous shocks such as natural disasters can affect a country's capacity to maintain long run fiscal sustainability under conditions institutions function effectively and there exist sufficient fiscal space.

Recent Macroeconomic Vulnerabilities, Fiscal Space, and the Capacity for Policy Adjustment in Türkiye

Turkey's recent fiscal performance demonstrates that assessing the fiscal sustainability of countries through the lens of their total public debt or central government deficit alone is no longer viable. The overall picture of the Turkish economy today includes multiple elements, including low public debt and some degree of protection against international fiscal shocks, but also high inflation, high borrowing costs, external financing requirements, reliance on imported energy supplies, tightened budget spending constraints and high sensitivity to large macroeconomic shocks (Gülşen & Çiçek, 2018). In other words, while the Turkish economy enjoys a low level of public debt and provides a measure of fiscal insurance protection internationally, it experiences high prices, expensive borrowing, foreign capital inflows to fund expenditure commitments, dependency upon imported energy supplies, constrained budget expenditure possibilities and sensitivity to adverse macroeconomic events (Ayla & Karış, 2019). A multi-dimensional view of fiscal sustainability; i.e., fiscal space and the ability to adjust policies in

response to changing circumstances, present themselves as complementary aspects of an overarching approach. Table 2 presents Selected Indicators of EU-Defined General Government Debt and Inflationary Adjustment in Türkiye for 2026-2028:

Table 2. Selected Indicators of EU-Defined General Government Debt and Inflationary Adjustment in Türkiye

Indicator	Period	Value (%)	Status	Official Source
EU-Defined General Government Debt Stock / GDP	Q1 2026	**23.1**	Actual	Ministry of Treasury and Finance
EU-Defined General Government Debt Stock / GDP	2026	**24.7**	MTP Projection	Presidency of Strategy and Budget
EU-Defined General Government Debt Stock / GDP	2027	**24.7**	MTP Projection	Presidency of Strategy and Budget
EU-Defined General Government Debt Stock / GDP	2028	**24.2**	MTP Projection	Presidency of Strategy and Budget
Annual Consumer Price Inflation	July 2026	**31.75**	Actual	TURKSTAT / CBRT
Year-End Consumer Inflation	2026	**28.0**	CBRT Forecast	CBRT Inflation Report 2026-III
Interim Inflation Target	2026	**24.0**	Target	CBRT
Inflation Forecast / Interim Target	2027	**15.0**	Forecast / Target	CBRT
Inflation Projection / Interim Target	2028	**9.0**	Projection / Target	CBRT

Source: Author's compilation based on Ministry of Treasury and Finance, Turkish Economy (July 2026); Presidency of Strategy and Budget, Medium-Term Program 2026–2028; TURKSTAT, Consumer Price Index, July 2026; Central Bank of the Republic of Türkiye, Inflation Report 2026-III (13 August 2026).

As seen in Table 2, one of the defining characteristics of Turkey's fiscal architecture is that the country's stock of outstanding public debt is still below international benchmarks. Data provided by Turkey's Ministry of Treasury and Finance indicates that as of Q1-2026, the general government gross debt-to-GDP ratio stood at approximately 23.1%. The Medium-Term Program outlines projections for future levels of this indicator: 24.7% at the end of FY-2026, 24.7% in FY-2027, and 24.2% in FY-2028.
An even greater challenge facing Turkey's current economic outlook however is that domestic prices are still highly volatile and therefore price stability remains unattainable. Annual consumer inflation rates were estimated at 31.75% as of July-2026 according to TÜIK data. In its August-2026 Inflation Report, CBRT estimated year-end inflation at 28%. Additionally, CBRT outlined interim targets for 2026 (24%), 2027 (15%) and 2028 (9%). CBRT reported in the same document that inflation expectations remained above forecasts and targets and that a variety of factors including energy prices, food prices, administered prices and geopolitics would create considerable uncertainty in achieving disinflation. These findings have created substantial public concern. However, simply because prices fell over time does not necessarily indicate that they are currently stable (Ağaslan, 2025). Prices may have decreased recently but it is clear that we are experiencing a period of transition from a very high inflation environment to one characterized by lower levels of inflation.

High inflation represents much more than simply higher taxes due to increased tax revenues. Although high inflation will clearly increase tax bases thereby generating additional revenue for governments in the short term, it also produces rapid increases in wages/pensions/social benefits/government expenditures on good/services/investment outlays. In addition to reducing major government budget expenditures in terms of real numbers, high inflation creates rigidities in discretionary spending in economies adjustments for past price increases are commonplace. When inflationary expectations are elevated then nominal interest rates tend to be high and thus nominal interest rates create higher costs associated with government borrowing. For example, there are two ways in which inflation affects fiscal sustainability: First, inflation creates nominal incomes for governments in the short run. Second, inflation raises spending (nominal interest payment) and risk premiums -- ultimately reducing available fiscal space (Acaravcı & Yıldız, 2018). Clearly, given the level of inflation is above 30 percent in Turkey and given that inflationary expectations are above targets -- the implications for fiscal sustainability are still applicable.

Beyond its impact on consumer confidence and consumption, this interaction will also affect how the central bank responds to inflation. The Central Bank of the Republic of Turkey has taken a number of steps to combat inflation through monetary policy. These include raising the one-week repo rate to 37 per cent in late June/early July 2026, and establishing an average funding cost of around 40 per cent. These actions are designed to reinforce the disinflation process by limiting aggregate demand; by limiting the extent to which inflation rises as a result of exchange-rate movements; and by anchoring inflation expectations. While these actions may be required to restore price stability, they will generate significant fiscal implications. Higher market interest rates will make it more expensive for the government to borrow from the private sector and increase the amount that must be spent each year to refinance public sector debt as it matures. Therefore, a greater proportion of government spending could go toward servicing existing public sector debt rather than productive public investment or other forms of countercyclical fiscal intervention (Korucu & Alçın, 2019).

Therefore, the relationship between monetary policy and fiscal space is inherently interconnected. Tight monetary policy may ultimately improve fiscal conditions in the long run through lower inflation and risk premia, but in the short run it will reduce effective fiscal space through higher debt servicing and refinancing requirements. Thus, improving fiscal sustainability will require coordination with the current disinflation strategy. Against this backdrop exists a direct relationship between tight monetary policy applied in Turkey and fiscal space. At the meeting held in late-June/July-2026, CBRT kept the one-week repo rate at 37 percent. In its August-2026 Inflation Report, CBRT stated that financial conditions were tight and that the average funding cost had been maintained at 40 percent. Tight monetary policy seeks to assist the disinflation process by controlling aggregate demand/exchange rate pass-throughs/expectations. Nevertheless, tight monetary policy also imposes a second-order effect on public finances. Specifically, when market interest rates remain high then new borrowing by the Treasury and refinancing maturating debt becomes increasingly costly. High market interest rates produce increasing costs via rising interest expenditures in government budgets. In terms of monetary policy to fight inflation -- it imposes restrictions on the extent of fiscal space in the near-term (Bulut & Cura, 2023).

DISCUSSION

The low public debt-to-GDP ratio is an apparent advantage to the public budget. However, the financing conditions (interest burden), the currency composition, the rigidity of budget outlays, the structure of tax receipts and the overall economy's sensitivity to external shocks mean that a low public debt-to-GDP ratio does not necessarily mean you have enough fiscal space. The fiscal management capacity of Türkiye—its ability to mobilise revenues, manage expenditures and debt, and preserve fiscal flexibility against potential shocks is dependent on the characteristics of the debt, the amount of flexibility in using the debt and the overall resiliency of the fiscal space to potential shocks. Therefore, a government's fiscal space cannot be defined solely by its ability to borrow further.

Fiscal space means the extent to which the public sector can meet unforeseen spending requirements arising from new economic, social or environmental events without destabilising the economy or placing significant future fiscal burdens on it. For Turkey, sustainable fiscal space means having adequate

revenue generation capacity, reasonable borrowing costs, appropriate spending priorities and being able to modify public finance administration to respond to potential shocks. Therefore, fiscal space can increase not just through introducing new taxes or raising current tax rates, but also by modifying the existing public revenue framework. A good example of this would be that Turkey relies almost entirely on indirect taxation. Therefore, there is a major constraint placed on the Turkish Government's ability to conduct effective fiscal policy. Indirect taxation creates a great deal of revenue over the short term based on consumer purchases and transactions. When aggregate demand decreases and the rate of economic growth slows down, the revenue generated from these types of taxes can decrease very rapidly. In contrast, increasing direct taxation may result in a more stable and equitable tax system. Therefore, it is not about collecting more taxes; it is about making sure that government revenue is less sensitive to changes in the economy and therefore more predictable. The findings suggest that making structural modifications like these will enable not only to collect more revenue for the budget but also to make the flexibility of fiscal policies in times of economic hardship better (Akar, 2013).

An important finding of the research is that Turkey has limited fiscal space because of excessive spending. Mandatory expenditures (personnel expenses, social security transfers, interest payments, etc.) comprise a big portion of total obligatory spending in the budget. These rising costs thus restrict the government's ability to divert funds in a timely manner when responding to economic difficulties or shocks. Obviously, differentiating between a government's total budget size and its fiscal flexibility is crucial. Although a large public budget enables a government to exercise a great deal of intervention power in terms of implementing spending programs (especially since most of the spending is obligatory), a large budget size alone does not equate to high levels of intervention power if most of the spending is obligatory. The analysis identifies increasing pressure on Türkiye’s discretionary budgetary capacity. To some degree, one of the central problems facing Turkish fiscal policy is not so much the absolute level of total public spending but rather the downward trend in the percent of discretionary spending relative to total public spending. The analysis indicates that this downward trend in discretionary spending can create significant implications for fiscal balance.

The figures analysed in this report show that physical damages from the earthquake cost $34.2 billion; reconstruction/recovery costs are estimated at around $81.5 billion; and all economic losses caused by the earthquake cost approximately $103.6 billion. Furthermore, eleven provinces were severely damaged and approximately 3.3 million people were forced from their homes; thus it is obvious that the financial consequences caused by the earthquake go far beyond merely rebuilding costs. Hence, the shock exerts pressures on both sides of the budget simultaneously — namely on revenues and expenditures.

Lastly, although the sheer amount of expenditures stemming from the earthquake by itself indicates nothing about the availability of cash for a deficit, if a government concentrates its post-earthquake expenditures on rebuilding housing stock, roads, infrastructure, and productive capabilities, then such expenditures can create positive impacts on production capability in various areas and thereby increase tax revenues in subsequent years. Rather than focusing on the sheer magnitude of expenditures what matters is how those expenditures are financed and whether they are done in an efficient manner. If expenditures are financed with expensive debt or if expenditures are conducted inefficiently or if temporary commitments made under emergency circumstances become permanent obligations, then such expenditures can lead to reduced fiscal flexibility in later years.

Using temporary revenue measures together with sustainable borrowing practices and giving priority to productive expenditures can help create a balanced approach to funding earthquake-related expenditures. This type of funding approach can assist in mitigating adverse impacts from earthquake-related expenditures on long-run fiscal sustainability. In Turkey, fiscal sustainability and fiscal space are mutually reinforcing dimensions of fiscal resilience rather than fixed policy benchmarks. Good budget balancing and predictable practices in managing debt can increase fiscal space. On the other hand, an appropriately structured and sufficiently large fiscal space can protect budgets from unpredictable shocks.

CONCLUSION

While Turkey has lower-than-average public debt-to-GDP ratios (that is, compared to other countries), it is equally important to recognize that having a lower public debt-to-GDP ratio does not ensure a longer-term reduction in debt. The actual amount that we may spend depends on the cost of borrowing, interest payments on the debt, the type of currency and repayment period of the debt, how government revenues are produced, the proportion of mandatory expenses within the budget, and how sensitive the government's budget is to changes in macroeconomic conditions. So while it is not sufficient to have debt that could potentially be paid off — the ability of the government budget to withstand future macro-economic and monetary difficulties is similarly vital. As for revenue generation, the relative dependence on indirect taxes and the lack of stability in tax collection means that generating steady sources of income will always be problematic. Similarly, mandatory expenditures include wages of personnel, social security outlays, and interest payments making it extremely challenging to adjust the overall size of the budget. Thus, neither raising additional taxes nor raising the rate of already collected taxes will suffice to increase the size of the budget.

Increasing the breadth of the tax base, decreasing the scope of the informal economy, improving the efficiency of tax expenditures, increasing tax collections, and structuring public spending based upon its economic and social value would seem to be essential priorities to establish a greater fiscal capability. The 2023 earthquakes represented an extraordinary external shock testing Turkey's fiscal resilience. Therefore, while earthquake-related expenditures represent a significant portion of those losses, the earthquake did not solely cause reconstruction costs. Turkey's relatively low public debt evidenced its ability to absorb such large financial burdens. Post-earthquake spending illustrated how rapidly fiscal space can be activated in response to significant exogenous shocks, resulting in rapid activation of spending, regardless of location. It also demonstrated how expansive post-earthquake spending can result in significant opportunity costs regarding future budget priorities. Turkey currently has an increasingly dominant influence from inflation and debt service costs in its current fiscal environment. A tight monetary policy to stabilize prices increases borrowing and refinancing costs for the Treasury in the near term thereby increasing the interest burden of the budget. Consequently, monetary and fiscal policies must be viewed jointly rather than independently, and fiscal policies must support monetary policies for fiscal sustainability. Therefore, in this context, Turkey's primary objective in developing its medium-term fiscal plan is two-fold; first to maintain a relatively low level of debt but secondly to restore and enhance its budget.

That is, Turkey seeks to achieve a balance between strict fiscal prudence and facilitating economic expansion through its fiscal policy, and this point clearly illustrates a structure in which stringent budgetary provisions can inhibit public investment and expansionary activity. Expansive fiscal policies that exceed financing capabilities can also diminish fiscal sustainability. Therefore, in Turkey, the most critical factors guiding decision-making processes regarding policy initiatives should be the type of expenditures undertaken, the expense of financing those expenditures, and the contributions made by public assets toward long-term productive potential. Additionally, for Turkey, high inflation rates combined with high financing costs and inflexible spending structures and maintaining existing fiscal buffers during periods of extreme external shocks exacerbate these issues. Therefore, when evaluating Turkey's fiscal sustainability, relying solely on the principle that public debt remains below a certain percentage threshold is not sufficient. To achieve fiscal sustainability for Turkey, a strong and diversified source of public revenues, prudent public expenditures, sustainable debt management practices, synchronized cooperation between monetary and fiscal authorities, and established fiscal reserves to utilize during periods of crisis are fundamental components of an appropriate course of action. Long-term objectives for Turkey do not focus exclusively on maintaining a minimum acceptable level of public debt as an indicator of success; instead, Turkey aims to present itself with clear short-term challenges and policy alternatives along with a vast flexible reservoir of available fiscal space.

REFERENCES

Acaravcı, A. & Yıldız, T. (2018). Türkiye'nin enerji bağımlılığı. *Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi*, 4(2), 137–152.

Ağaslan, E. (2025). Financing the current account deficit in the Turkish economy: ARDL bounds test approach. *Bulletin of Economic Theory and Analysis*, 10(2), 553–572.

Akar, S. (2013). Vergi gelirlerinin esnekliği ve istikrarı: Merkezi bütçe sınıflandırmasına dayalı ampirik bir analiz. *Maliye Dergisi*, 165, 27–37.

Ayla, D. & Karış, Ç. (2019). Türkiye'de enerji ithalatı ve cari açık üzerine bir değerlendirme. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32, 380–412.

Bulut, F. Ş., & Cura, S. (2023). Türkiye'de mali alanı kısıtlayan faktörlerin belirlenmesi ve incelenmesi. *Fiscaoeconomia*, 7(1), 568–605.

Central Bank of the Republic of Türkiye (CBRT) (2026). *Inflation Report 2026-III*. Ankara: Central Bank of the Republic of Türkiye.

Gunasekera, R., Ishizawa Escudero, O. A., Daniell, J. E., Pomonis, A., Macabuag, J. L. D. C., Brand, J., & Cox, K. D. (2023). *Global rapid post-disaster damage estimation (GRADE) report: February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquakes—Türkiye report.* (Report No. 180417). Washington, DC: World Bank Group.

Gülşen, M. A. & Çiçek, U. (2018). Türkiye'de kamu kesimi kaynak tahsisinde etkinliğin sağlanması amacıyla mali alan oluşturma çabaları. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5(2), 107–118.

IMF (2021). *Turkey: 2021 Article IV consultation—Press release; staff report; and statement by the Executive Director for Turkey*. (IMF Country Report No. 21/110). Washington, DC: International Monetary Fund (IMF).

IMF (2023). *Fiscal monitor: Climate crossroads—Fiscal policies in a warming world*. Washington, DC: International Monetary Fund (IMF).

IMF (2024). *Republic of Türkiye: 2024 Article IV consultation—Press release; staff report; and statement by the Executive Director for the Republic of Türkiye*. (IMF Country Report No. 24/312). Washington, DC: International Monetary Fund.

IMF (2025). *Fiscal monitor: Fiscal policy under uncertainty*. Washington, DC: International Monetary Fund (IMF).

IMF (2026a). *Fiscal monitor: Fiscal policy under pressure—High debt, rising risks*. Washington, DC: International Monetary Fund (IMF).

IMF (2026b). *Republic of Türkiye: 2025 Article IV consultation—Press release; staff report; and statement by the Executive Director for the Republic of Türkiye* (IMF Country Report No. 26/43). Washington, DC: International Monetary Fund (IMF).

Korucu, G. N. & Alçın, S. (2019). The impact of capital flows on current account deficit for Turkey. *Journal of Life Economics*, 6(1), 21–34.

Minarik, J. J. (2024). *Fiscal risks, fiscal sustainability and rethinking fiscal rules (GOV/SBO(2024)10)*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Retrieved from https://one.oecd.org/document/GOV/SBO%282024%2910/en/pdf

Ministry of Treasury and Finance of the Republic of Türkiye (2026). *Turkish Economy*. Ankara: Ministry of Treasury and Finance.

OECD (2025). *OECD economic surveys: Türkiye 2025 (Vol. 2025/8)*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Publishing.

Presidency of Strategy and Budget of the Republic of Türkiye (2023a). *Türkiye earthquakes recovery and reconstruction assessment (TERRA).* Ankara, Türkiye: Presidency of Strategy and Budget.

Presidency of the Republic of Türkiye, Strategy and Budget Office. (2023b). Türkiye earthquakes recovery and reconstruction assessment. Ankara, Türkiye: Presidency of Strategy and Budget.

Presidency of Strategy and Budget of the Republic of Türkiye (2025-a). *Medium-Term Program (2026–2028)*. Ankara: Presidency of Strategy and Budget.

Presidency of Strategy and Budget of the Republic of Türkiye, (2025-b*). 2025 yılı yatırım programı [2025 Annual Investment Programme published*]. Ankara, Türkiye: Presidency of Strategy and Budget.

Republic of Turkey, Ministry of Treasury and Finance (2021). *Public finance report 2021-II*. Ankara, Turkey: Republic of Turkey, Ministry of Treasury and Finance.

Turkish Statistical Institute (TURKSTAT). (2026). *Consumer Price Index, July 2026*. Ankara: TURKSTAT Presidency of the Republic of Türkiye.

World Bank (2023a). *Global rapid post-disaster damage estimation (GRADE) report: February 6, 2023 Kahramanmaraş earthquakes—Türkiye report*. Washington, DC: World Bank.

World Bank (2023b). *World Bank approves $1 billion for Türkiye to help restore rural homes and essential public services to people in earthquake-affected areas*. Washington, DC: World Bank.

FINANCIAL SUSTAINABILITY IN PROFESSIONAL FOOTBALL CLUBS: AN EVALUATION OF THE DUTCH FOOTBALL MODEL

PROFESYONEL FUTBOL KULÜPLERİNDE FİNANSAL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK: HOLLANDA FUTBOL MODELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assoc. Prof. Dr. Meltem KESKİN
Ankara Yıldırım Beyazıt University, ŞUBF
ORCID: 0000- 0002-8536-4940

ABSTRACT

Professional football clubs have transformed into corporate structures evaluated not only by their sporting success but also by their financial sustainability. Rising transfer costs, player salaries, fluctuations in broadcasting revenues, and financial regulations have made the long-term economic stability of clubs a strategic management issue. This study aims to conceptually examine the Dutch football model, a prominent example of sustainable financial management in European football, from a financial sustainability perspective. The research evaluates the player development-focused structure, transfer revenue-based financing model, financial discipline, infrastructure investments, and corporate governance practices of Dutch professional football clubs within the framework of national and international literature. Furthermore, the interaction between UEFA's financial sustainability regulations and the Dutch football ecosystem is examined, and the key dynamics that enhance the economic resilience of clubs are discussed. The study reveals that financial sustainability in football clubs depends not only on revenue growth but also on the efficient use of resources, long-term planning, risk management, and corporate governance principles. In this context, the Dutch football model is considered a sustainable management approach that strikes a balance between sporting success and financial stability and can offer applicable policy recommendations for football ecosystems in different countries. The research is expected to provide a conceptual contribution to the literature on sports economics and sports finance, as well as to create a theoretical framework for future empirical studies on sustainable financial management of football clubs.

Keywords: Financial sustainability, professional football clubs, the Dutch football model, sports economics.

ÖZET

Profesyonel futbol kulüpleri, günümüzde yalnızca sportif başarılarıyla değil, aynı zamanda finansal sürdürülebilirlik kapasiteleriyle de değerlendirilen kurumsal yapılara dönüşmüştür. Artan transfer maliyetleri, oyuncu ücretleri, yayın gelirlerindeki dalgalanmalar ve finansal düzenlemeler, kulüplerin uzun vadeli ekonomik istikrarını stratejik bir yönetim konusu hâline getirmiştir. Bu çalışma, Avrupa futbolunda sürdürülebilir finans yönetimi açısından öne çıkan örneklerden biri olan Hollanda futbol modelini finansal sürdürülebilirlik perspektifinden kavramsal olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, Hollanda profesyonel futbol kulüplerinin oyuncu yetiştirme odaklı yapısı, transfer gelirlerine dayalı finansman modeli, mali disiplin anlayışı, altyapı yatırımları ve kurumsal yönetim uygulamaları ulusal ve uluslararası literatür çerçevesinde değerlendirilmektedir. Ayrıca UEFA'nın finansal sürdürülebilirlik düzenlemeleri ile Hollanda futbol ekosistemi arasındaki etkileşim ele alınarak, kulüplerin ekonomik dayanıklılıklarını artıran temel dinamikler tartışılmaktadır. Çalışma, futbol kulüplerinde finansal sürdürülebilirliğin yalnızca gelir artışına değil, aynı zamanda kaynakların etkin kullanımı, uzun vadeli planlama, risk yönetimi ve kurumsal yönetişim ilkelerine de bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda Hollanda futbol modeli, sportif başarı ile mali istikrar arasında denge kurabilen sürdürülebilir bir yönetim yaklaşımı olarak değerlendirilmekte ve farklı ülke futbol ekosistemleri için uygulanabilir politika önerileri sunabilecek nitelikte bir örnek model olarak ele alınmaktadır. Araştırmanın, spor ekonomisi ve spor finansı literatürüne kavramsal katkı sağlamasının yanı sıra futbol kulüplerinin sürdürülebilir finans yönetimine ilişkin gelecekte gerçekleştirilecek ampirik çalışmalara da teorik bir çerçeve oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Finansal sürdürülebilirlik, profesyonel futbol kulüpleri, Hollanda futbol modeli, spor ekonomisi.

INTRODUCTION

Professional football has evolved into a global industry that goes beyond sporting competition, managing significant economic resources, carrying high levels of financial risk, and involving the consideration of diverse revenue streams. The economic structure of professional football clubs relies on numerous revenue streams, including broadcasting rights, sponsorship and commercial revenues, matchday revenues, income from UEFA competitions, and resources from player transfers; however, player salaries, transfer expenses, stadium and infrastructure investments, and other operational costs place significant financial pressure on clubs. The unique economic structure of European professional football necessitates a constant balance between sporting success and financial performance (Neale, 1964; Szymanski, 2010).

The primary goal of football clubs is not limited to achieving sporting success. The clubs' ability to sustain their operations in the long term, meet their financial obligations on time, and maintain stable sporting investments are also crucial for their corporate success. However, the high level of competition in professional football can lead clubs to use more resources for sporting success, creating significant pressure on wages, transfer spending, and debt. In particular, the ability of clubs to spend more than their income to achieve their sporting goals is considered one of the main causes of financial sustainability problems in professional football (Storm & Nielsen, 2012).

The financial risks arising from these problems in European football have influenced the development of UEFA's policies aimed at regulating the financial structures of clubs. Initially, the financial regulations implemented by UEFA were shaped within the framework of the Financial Fair Play approach, but later evolved into the UEFA Club Licensing and Financial Sustainability Regulations system, which focuses on the long-term financial stability of clubs. The new approach focuses not only on the financial results of clubs in a specific period, but also on complementary elements such as solvency, financial stability, and cost control (Franck, 2014; UEFA, 2026).

In UEFA's approach to financial sustainability, clubs need to have a spending structure that is consistent with their revenues. In this context, current regulations aim to control player and coaching staff salaries, transfer costs, and agent fees in relation to the income clubs generate from football activities. Under the Squad Cost Rule, limiting these expenditures to a certain percentage of club revenues emerges as an important mechanism to prevent excessive spending for sporting success from threatening the long-term financial structure (UEFA, 2026). However, there are differing assessments in the literature regarding how financial regulations affect the balance of competition among clubs. Some studies argue that financial regulations can increase fiscal discipline, while others point out that these regulations may protect the existing advantages of traditionally strong clubs (Peeters & Szymanski, 2014; Franck, 2014).

In terms of financial sustainability, player development and transfer revenues can become a significant strategic resource, especially in small and medium-sized national football markets. In football economies with limited domestic markets, it is not always possible for clubs to compete with major European leagues that generate high broadcasting and commercial revenues. Therefore, developing young players, increasing their sporting value, and transferring them under suitable conditions can be considered both a sporting and financial strategy for clubs. The role of transfer revenues in covering clubs' operating expenses is particularly evident in developing football economies; however, this model can also make clubs more vulnerable to fluctuations in the transfer market (Gouveia et al., 2026).

In this context, the Dutch football model constitutes a unique example worthy of examination in terms of financial sustainability. Although the Dutch football economy operates on a more limited domestic market compared to Europe's largest football markets, it is in a strong position, particularly in player development, infrastructure investment, and bringing young talents into the international transfer market. Monitoring the financial structures of clubs and subjecting them to specific financial and institutional criteria to ensure their continued operation are also important elements of this model. The Royal Dutch Football Association (KNVB)'s professional football licensing system requires clubs to regularly report on their financial status and meet specific financial, organizational, and sporting criteria (KNVB, 2024).

One of the striking aspects of the Dutch model is that infrastructure can be considered not only as a sporting activity but also as a long-term economic investment. The fact that clubs like Ajax generate significant transfer revenue from players developed in their youth academies demonstrates the financial

value-creating capacity of their player development system (Keskin, 2024). According to CIES Football Observatory data, Ajax has generated approximately €454 million in revenue from the transfer of players developed in its youth academy over the last decade, placing it among the most successful clubs worldwide in terms of youth academy-related transfer revenue (CIES Football Observatory, 2026). This situation suggests that infrastructure investments can serve not only as a mechanism for developing sporting talent but also as a strategic asset supporting the financial sustainability of clubs. However, a financial structure based solely on transfer revenues should not be considered a sustainable model. Since the player transfer market depends on numerous variables such as the economic conjuncture, the sporting performance of clubs, the market value of players, and international demand, transfer revenues do not represent a stable and predictable source of income. Research on small football economies shows that transfer revenues can offset operating losses, but heavy reliance on the transfer market can expose clubs to significant financial risks (Alajbeg et al., 2022). Therefore, a sustainable football financing model needs to include not only transfer revenues but also elements such as cost control, revenue diversification, infrastructure investments, corporate governance, and long-term financial planning.

Another factor that makes the study of the Dutch football model important is that the national licensing system and the European-level financial sustainability regulations complement each other. While the KNVB professional football licensing system emphasizes monitoring the financial situation of clubs, ensuring the continuity of their operations, and meeting certain financial and institutional standards, UEFA's financial sustainability system is based on solvency, financial stability, and cost control for clubs participating in European cups (KNVB, 2024; UEFA, 2026). Therefore, evaluating the Dutch football model in terms of financial sustainability requires not only examining the revenue and expenditure structures of the clubs, but also considering both national and international regulatory mechanisms.

The main objective of this study is to conceptually examine the Dutch professional football model from a financial sustainability perspective and to identify the fundamental elements that constitute its economic resilience. To this end, the study evaluates the player development and infrastructure structure of Dutch football clubs, their financing mechanisms based on transfer revenues, their approach to financial discipline, their corporate governance practices, and their relationship with UEFA's financial sustainability regulations. The main argument of the study is that the financial sustainability of the Dutch football model is not based on a single revenue source, but rather on a complementary structure encompassing player development, selective transfer policies, cost control, corporate governance, and long-term financial planning.

The study's contribution to the literature can be evaluated from two perspectives. Firstly, the study addresses the financial sustainability of football clubs not only through profitability or debt indicators, but also through institutional mechanisms that enable the conversion of sporting resources into economic value. Secondly, it evaluates the Dutch football model within the context of UEFA's financial sustainability regulations, which are gaining increasing importance in European football, and provides a conceptual framework regarding the relationship between player development and financial discipline. In this respect, the study aims to create a theoretical basis for comparing different national football systems in terms of financial sustainability and for developing future empirical research.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

Assessing financial sustainability in professional football clubs requires a multi-dimensional approach that is not limited to examining only the balance of income and expenses or financial performance indicators. The interaction between the sporting success goals and economic objectives of football clubs, player and infrastructure investments, the opportunities and risks offered by the transfer market, the diversification of revenue sources, cost control, corporate governance, and national and international regulatory mechanisms constitute the fundamental components of financial sustainability. Therefore, this study examines the Dutch professional football model within the framework of the relationship between the economic and institutional mechanisms that shape financial sustainability. Accordingly, the scope and basic characteristics of the concept of financial sustainability in professional football clubs are first explained; then, the financial sustainability capacity of the Dutch football model is evaluated

within a holistic framework through its revenue structure, fiscal discipline, player development and infrastructure investments, transfer revenues, corporate governance, and regulatory mechanisms.

The Concept of Financial Sustainability in Professional Football Clubs

The economic structure of professional football clubs exhibits characteristics that differ significantly from those of classical businesses. In football clubs, sporting success, fan loyalty, brand value, player performance, and financial results are interconnected and mutually influence each other. Therefore, evaluating the fundamental performance of clubs solely through profitability or revenue size can lead to insufficient consideration of the unique economic structure of the football sector. The classical approach to professional sports economics suggests that clubs may have an objective function that prioritizes sporting success rather than profit maximization (Sloane, 1971).

The ability of football clubs to spend more than their income in pursuit of sporting success makes the issue of financial sustainability in the sector more complex compared to other sectors. While clubs can transfer high-paid players, increase wage expenses, and resort to high short-term debt for sporting success, these expenditures can put significant pressure on the club's financial structure if sporting goals are not achieved. In European professional football, the continued operation of clubs despite chronic deficits and debt has led to the emergence of a special financial behavior pattern in football economics known as the "soft budget constraint (Storm & Nielsen, 2012). In this context, financial sustainability should be considered not merely as a football club making a profit in a specific period, but as its ability to meet its current and future financial obligations, continue its sporting activities, avoid excessive debt, create a cost structure consistent with its revenues, and maintain its long-term value creation capacity. Therefore, financial sustainability is not a static financial outcome, but rather a dynamic process that refers to the preservation of the club's sporting, economic, and institutional capacity over time. In line with this approach, financial sustainability in football clubs should be addressed by considering the stability of revenues, control of expenses, keeping debts at a manageable level, effective management of player assets, infrastructure investments, rationality of transfer policy, corporate governance, and financial audit mechanisms together. Studies on the economic structure of European football also show that clubs must constantly strike a balance between sporting and financial performance (Leach & Szymanski, 2015).

Key Dimensions of Financial Sustainability

Financial sustainability in football clubs can be considered a multi-dimensional structure. This study examines the financial sustainability of the Dutch football model through six key dimensions: fiscal discipline, revenue structure and diversification, player development and infrastructure investments, transfer revenues and transfer dependency, corporate governance, and regulatory compliance. While each of these dimensions affects the financial resilience of football clubs from a different perspective, when considered together they reveal the holistic structure of financial sustainability. The key characteristics of these dimensions, their contributions to financial sustainability, and the risks they may bring are summarized in Table 1.

Table 1. Key Dimensions of Financial Sustainability in Football Clubs

Size	Key element	Contribution to financial sustainability	Key risk
Fiscal discipline	Income-expenditure balance, wage control, debt management	Limits excessive spending and financial vulnerability	Excessive spending due to sporting goals
Revenue structure	Broadcasting, commercial, matchday, UEFA and transfer revenues	Enables diversification of revenue sources	Avoids dependence on a single revenue source
Infrastructure and player development	Academies, training, scouting and player development	Creates sporting and economic value at low cost	Long-term return on investment

Transfer Model	Player buying and selling and transfer of developed players	Can generate high transfer income and capital	Fluctuations in the transfer market
Corporate Governance	Transparency, auditing, professional management	Ensures rationalization of financial decisions	Management errors and conflicts of interest
Regulatory compliance	KNVB and UEFA licensing/financial regulations	Supports financial discipline and continuity	Regulations limit competition

As the table shows, financial sustainability is not the result of a single financial indicator. For example, high transfer income may reduce a club's liquidity problems in the short term; however, if the club cannot generate regular and predictable operational income, excessive reliance on transfer income can create a new financial risk. Similarly, investments in infrastructure, while creating costs in the short term, can generate both sporting and economic value in the long term. Therefore, what is important for sustainability is that these elements work together as a complementary system, not independently of each other.

Structural Characteristics of the Dutch Football Model

The Dutch football model occupies a unique position within the economic hierarchy of European football. The Dutch Eredivisie does not possess the same financial capacity as Europe's highest-grossing leagues in terms of commercial revenue, such as the English Premier League, Spanish La Liga, or German Bundesliga. This situation is leading Dutch clubs to develop alternative value-creating mechanisms to compete with these high-income European leagues. At the forefront of these mechanisms is player development and nurturing.

One of the striking features of the Dutch football system is its football culture, which is based on the systematic development of young players. UEFA's studies on the financial and sporting structures of European clubs also indicate that in football systems with strong player development traditions, such as France, the Netherlands, and Croatia, transfer activities have a significant impact on the financial situation of clubs (UEFA, 2010). This structure allows for the development of youth academies in Dutch football not only as a field for sporting training, but also as a strategic asset generating economic value. Bringing a player into the club's youth system at a young age, providing them with sporting training, preparing them for the professional level, and subsequently helping them reach a high market value represents a long-term investment process for the club. The economic rationale behind this model is shown in Figure 1.

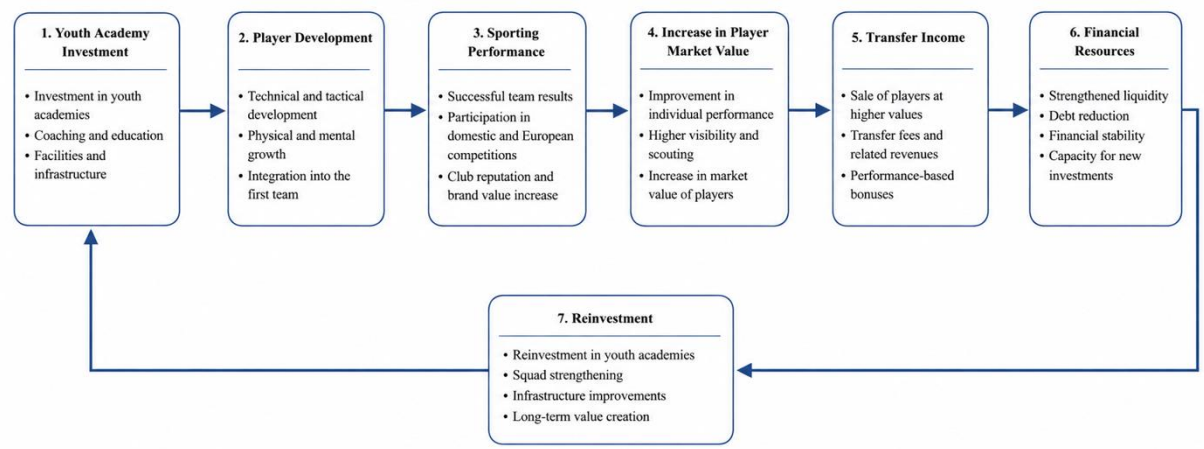


Figure 1. Economic Logic of Dutch Football

The sustainable functioning of the cycle shown in Figure 1 depends not only on developing good players, but also on integrating the developed players into the club's sporting structure, transferring them at the right time, and using transfer revenues in a way that strengthens the club's long-term financial structure.

The Financial Value of Player Development and Infrastructure Investments

The importance of infrastructure investments for financial sustainability stems from the fact that human capital in football clubs is also an economic asset. A club's investment in its youth academy doesn't just produce sporting talent; successfully developed players can create significant economic value in the club's balance sheet and future transfer revenues. One of the most visible examples of this relationship is the Ajax model. In its 2023/24 annual report, Ajax clearly states that due to the financial disparity between itself and Europe's largest football economies, its capacity to consistently acquire top-level players is limited, and therefore it sees its "development" capacity as one of its core strategic advantages. The club also positions infrastructure investments at the heart of its long-term strategy for creating sporting and economic value (AFC Ajax, 2024). The current economic consequences of this approach are also noteworthy. According to research published by the CIES Football Observatory in 2026, Ajax generated approximately €454 million in revenue from the transfer of players from its youth academy in the last decade, ranking second worldwide after Benfica in this area (CIES Football Observatory, 2026). This data shows that the youth academy system has the capacity not only to produce sporting success but also to generate a high level of economic value. However, focusing solely on transfer revenues is insufficient when evaluating the financial sustainability of youth academy investments. A successful youth academy system can reduce a club's transfer spending, fund a certain portion of the first-team squad from internal sources, provide control over player salaries, and support the continuity of the sporting identity. Therefore, the financial contribution of the youth academy is not limited to direct transfer revenues but also includes indirect effects such as avoided transfer costs, management of player salaries, sporting continuity, and the development of brand value. At this point, an important feature of the Dutch model emerges: the youth academy transforms from a cost-generating sporting department into a long-term value-creating mechanism.

Transfer Revenues and Transfer-Focused Financing Model

The second important element of the financial structure of the Dutch football model is transfer income. Transfer income can be a significant source of financing, especially for clubs operating in leagues that do not have high commercial and broadcasting revenues. However, the irregular, seasonal, and market-dependent nature of transfer income indicates that this revenue also represents a significant risk factor. Empirically, it has been shown that the transfer market in European football does not automatically equalize income distribution among clubs, and that the transfer system can provide significant economic advantages, particularly to medium-sized clubs with high player development capacity. Hoey, Peeters, and Principe, who examined data from 202 clubs in eight European leagues between 2013 and 2018, show that the transfer system does not significantly reduce income inequality in favor of smaller clubs, but rather that some medium-sized clubs generate high revenues from the transfer market (Hoey et al., 2021). This finding is particularly important for the Netherlands. Because while the strongest clubs in the Netherlands have a lower regular income base compared to clubs in Europe's larger leagues, they possess significant advantages in creating economic value through player development and transfers. This makes the transfer market in Dutch football not only a sporting activity but also a fundamental component of financial strategy. However, the fact that transfer revenues have become the cornerstone of financial sustainability creates a two-pronged structure. On the one hand, high transfer income can reduce a club's debt, finance infrastructure investments, and create resources for new sporting investments. On the other hand, a lack of transfer income can lead to significant deficits in the club's budget. Therefore, the sustainability of transfer income depends not so much on the continuity of player sales, but on the club's ability to use transfer income in a way that does not replace core operational revenues. For this reason, in the financial logic of the Dutch model, transfer income should not be considered as the sole source of sustainability, but rather as a value creation and resource reallocation mechanism linked to infrastructure, sporting performance, and financial discipline.

The Balance Between Income Diversification and Transfer Dependence

One of the key elements of financial sustainability is diversification of revenue. For clubs, establishing a balanced structure between broadcasting revenue, commercial revenue, sponsorship, matchday revenue, revenue from UEFA competitions, and transfer revenue is crucial for reducing financial risk. This is even more critical for Dutch clubs, as the national league's commercial and broadcasting revenues are not at the same level as Europe's biggest leagues. Therefore, clubs' financial structures may be more sensitive to sporting success, participation in European competitions, and revenue from player transfers. Ajax's own financial report also states that the financial situation is significantly dependent on the sporting scenario and player transfers. The club has utilized tools such as financing transfer receivables and access to credit facilities within the scope of liquidity management; at the same time, it has aimed to make operational costs more aligned with revenue levels (AFC Ajax, 2024). This shows that financial sustainability cannot be explained solely by generating "high transfer income." What is truly important is that the resources obtained during periods of high transfer income are used in a way that strengthens the club's structural financial capacity. In other words, a sustainable model is one that transforms transfer income into future revenue generation capacity, rather than consuming it.

Fiscal Discipline and Cost Control

The third fundamental dimension of financial sustainability is financial discipline. In football clubs, one of the most significant cost elements is player and coaching staff salaries. In addition, transfer fees, agent and brokerage fees, and investments in infrastructure, facilities, and stadiums also constitute important expense items.

This cost structure has played a significant role in the development of UEFA's financial sustainability system. UEFA's new system rests on three fundamental pillars: solvency, financial stability, and cost control. The system also aims for clubs to operate in line with their revenues and to achieve long-term financial sustainability (UEFA, 2026). Specifically, the Squad Cost Rule links player and coaching staff salaries, transfer costs, and agent fees to club revenues. UEFA regulations stipulate a permanent upper limit of 70% for the squad cost ratio from the 2025/26 season onwards (UEFA, 2025). This regulation has twofold implications for Dutch clubs. Firstly, it limits the tendency to engage in excessive wage and transfer spending to compete with high-income European clubs. Secondly, it forces clubs to create sporting budgets that take into account their current revenue-generating capacity. This increases the strategic importance of financial discipline for clubs operating in leagues with more limited revenue bases, such as the Netherlands.

However, the impact of financial regulations on competition is debatable. Financial Fair Play regulations may reduce clubs' wage and turnover ratios, but they could potentially strengthen the existing advantages of traditional, high-income clubs (Peeters & Szymanski, 2014). Therefore, the main goal of financial discipline is not just to reduce spending, but to align spending with revenue-generating capacity. In this respect, the Dutch model emphasizes a strategy of creating sporting competitiveness by utilizing player development capacity rather than resorting to high-cost transfers to compensate for a limited revenue base.

KNVB Licensing System and Corporate Financial Discipline

Another important element of the Dutch football model in terms of sustainability is the national-level licensing and monitoring mechanisms. The KNVB's professional football licensing system is not merely an administrative mechanism that permits clubs to engage in sporting activities. The system aims to monitor the financial situation of clubs, their infrastructure and safety conditions, organizational structure, youth academies, legal structure, personnel, and administrative processes within a specific standard framework (KNVB, 2026). One of the fundamental aims of the KNVB's licensing system is to ensure the continuity of professional football organizations. Therefore, financial reporting, monitoring of clubs' financial status, financial rating, and mechanisms for improving negative equity are key elements of the system (KNVB, 2026). This structure demonstrates that financial sustainability is not solely left to the voluntary choice of club management. The regulatory framework limits clubs' financial risks to a certain extent externally and obliges clubs to comply with specific standards to ensure their long-term sustainability. Thus, in the Dutch model, corporate sustainability manifests itself at two levels.

The first level is the club's internal management capacity. The second level is the KNVB's licensing and monitoring system. The combined operation of these two mechanisms creates a corporate framework that prevents financial discipline from being solely dependent on the personal decisions of managers.

Corporate Governance and Financial Sustainability

Corporate governance is one of the less visible dimensions of financial sustainability, often as important as direct financial indicators. Professionalization of club management structures, transparency in decision-making processes, accurate and timely reporting of financial information, control of conflicts of interest, and accountability of governing bodies all contribute to reducing financial risks.

UEFA's club licensing system also considers good governance as one of the fundamental standards in European football. The system evaluates sporting, social and environmental sustainability, infrastructure, personnel and administrative structure, legal and financial criteria together (UEFA, 2025). This approach requires that a football club be considered not just a sporting team, but a complex organization with numerous stakeholders. Actors such as fans, players, coaching staff, employees, sponsors, investors, public institutions, federations and UEFA are directly or indirectly affected by the club's financial decisions.

One of the striking aspects of the governance structure in Dutch football is the institutional representation of professional football clubs within the national football management system. Since 1997, Eredivisie clubs have been organized under an independent legal structure called Eredivisie CV, developing a collective representation mechanism in the governance of professional football (CIES Football Observatory, 2023). Therefore, financial sustainability should not be evaluated simply in terms of "the club having money," but rather through questions such as who uses the money, under what rules, for what purpose, and under what control mechanisms.

Interaction of UEFA Financial Sustainability Regulations with the Dutch Model

An assessment of the Dutch football model in terms of financial sustainability requires considering both national and European regulations. The KNVB's national licensing system regulates clubs operating in Dutch professional football, while UEFA's financial sustainability system imposes additional financial and managerial standards for clubs participating in European competitions.

UEFA's current financial sustainability system is built on three fundamental pillars: solvency, financial stability, and cost control. Solvency refers to clubs having no overdue debts to football clubs, employees, UEFA, or public authorities; financial stability assesses football earnings and acceptable levels of deviation; and cost control ensures that player and coaching staff costs are linked to club revenues (UEFA, 2025). These regulations align to a certain extent with the fundamental economic logic of the Dutch model. This is because, for Dutch clubs to compete with Europe's highest-earning clubs, they need not only to spend heavily but also to effectively utilize their existing revenue streams and transform their player development capacity into economic value. However, UEFA regulations can also create some limitations for the Dutch model. Since high-earning clubs have higher revenues, revenue-related spending limits do not create absolute equality. This creates tension between financial sustainability and competitive balance. The Financial Fair Play literature also raises arguments about whether financial regulations, while improving the financial situation of clubs, can protect the existing advantages of traditionally strong clubs (Franck, 2014; Peeters & Szymanski, 2014). Therefore, the compatibility of the Dutch model with the UEFA system is not limited to simply complying with the regulations. The real advantage of the Dutch model is that financial constraints can be transformed from a factor that reduces sporting competitiveness into a strategy that promotes player development and resource efficiency.

The Balance Between Sporting Success and Financial Sustainability

One of the key characteristics of football clubs is that the relationship between financial sustainability and sporting success is not linear. Higher spending can often create higher sporting quality; however, higher sporting spending does not always translate into higher revenue or success. The uncertainty of transfer and wage markets, in particular, makes it difficult to predict the financial return on sporting investment. Therefore, in the sustainability strategies of football clubs, an approach of "more efficient

use of resources" rather than "more spending" is gaining importance. In the Dutch model, developing players from youth academies emerges as a strategic mechanism in this respect.

A significant advantage of the player development strategy is that sporting performance and economic value can be generated from the same investment process. A developed player can contribute to the first team sportively; the same player can then be transferred to another club for a high transfer fee, generating financial resources. Thus, a single player investment can generate both sporting and financial returns. However, this model also has risks. Not every youth player reaches the professional level, not every player who reaches the professional level generates high transfer value, and it is not possible to transfer every player who reaches high market value at the right time. Therefore, the youth model is a probabilistic, not a deterministic, value creation mechanism. For this reason, in terms of sustainability, the success of the youth system should be evaluated not on the transfers of individual players, but on the total economic and sporting return of the player portfolio it creates in the long term.

Financial Risk Management and Economic Resilience

Financial sustainability also requires risk management. Football clubs are sensitive to sporting results, player injuries, the transfer market, European cup participation, broadcasting revenues, sponsorship deals, and macroeconomic conditions. Therefore, in sustainable club management, it is important to create alternative scenarios instead of budgeting based on a single scenario. In particular, accepting uncertain revenues such as European Cup participation as the primary source of budget financing can lead to serious financial problems in the event of sporting failure.

Ajax's financial report also highlights the impact of the sporting scenario and player transfers on the financial structure, using cash flow projections for different seasons (AFC Ajax, 2024). Within this framework, economic resilience in the Dutch model can be considered through a three-pronged safety mechanism: regular operational revenues; player development and transfer income; cost control; and financial reserves. If any of these three elements weakens, the other two must support the system. Therefore, true sustainability depends not only on high revenues but also on the club's capacity to continue operations in the face of revenue shocks.

The Holistic Financial Sustainability Mechanism of the Dutch Model

It is evident that the financial sustainability of the Dutch football model cannot be explained by a single practice. The model emerges from the interaction of numerous complementary economic and institutional mechanisms. The conceptual structure of this relationship is shown in Figure 2.

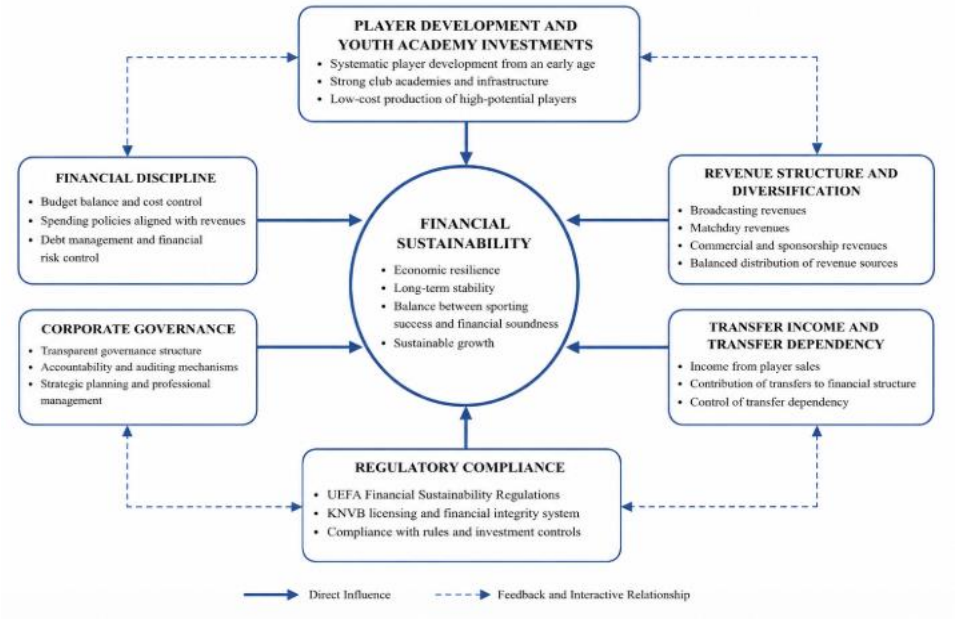


Figure 2. Financial Sustainability Mechanism in the Dutch Football Model

As shown in Figure 2, the starting point of the model is infrastructure investments. However, infrastructure alone is not expected to create financial sustainability. Infrastructure needs to develop players, for players to create sporting value, for their market value to increase, and for them to be transferred under appropriate conditions. The redirection of resources obtained from transfers back into infrastructure, debt reduction, or the development of sporting capacity reveals the cyclical nature of the model. Financial discipline, corporate governance, and regulatory mechanisms are built upon this cycle. Therefore, in the Dutch model, financial sustainability is considered not only a result of market success but also a result of the intersection of corporate control mechanisms and the capacity to create economic value.

Strengths of the Dutch Model

The first strong point of the Dutch football model in terms of financial sustainability is that limited financial resources can be compensated for by player development capacity. Instead of competing with Europe's richest clubs through high transfer spending, investing in human capital creates a cost advantage. The second strong point is that infrastructure investments can generate both sporting and financial returns simultaneously. Using young players in the first team can reduce transfer costs, while acquiring successful players can generate significant economic resources. Ajax's transfer revenue of approximately €454 million from players developed in their youth academy over the last decade illustrates the economic dimension of this mechanism (CIES Football Observatory, 2026). The third strong point is the monitoring of clubs' financial and corporate structures through the KNVB's licensing system. This system makes it possible to monitor financial problems not only after a crisis occurs, but also, to a certain extent, preventively (KNVB, 2026). The fourth strong point is that the national licensing system significantly complements the UEFA financial sustainability system. Thus, Dutch clubs are subject to financial discipline standards at both national and European levels.

Limitations and Financial Risks of the Dutch Model

Despite the strengths of the Dutch model, it cannot be said to be without financial risks. Sensitivity to transfer income is a particularly significant area of vulnerability. Since transfer income is cyclical and unpredictable, it is risky for clubs to budget based on the assumption of consistently high transfer revenues. A second major risk is that Dutch clubs have more limited revenues compared to major European leagues. This leads to greater reliance on player development and transfer strategies to maintain international sporting competitiveness. A third risk is that the continuity of the sporting squads of Dutch clubs may be disrupted as a result of successfully developed players being transferred to clubs in higher-income European leagues. Thus, player transfers undertaken with the aim of creating financial value may negatively impact sporting performance in the short term. The fourth risk is that the transfer market could also unequalize the distribution of income among clubs in the Netherlands. Empirical research examining the European transfer system shows that smaller clubs do not generate large and regular revenues from the transfer market, and that transfer income is concentrated more in mid- and upper-tier clubs (Hoey et al., 2021). Therefore, the Dutch model should not be considered a financial sustainability model applicable to all Eredivisie clubs to the same extent. In particular, there are significant differences in the financial capacity of clubs with high brand value, European Cup experience, and strong infrastructure, such as Ajax, compared to smaller clubs.

Transferability of the Dutch Model to Other Country Football Ecosystems

When transferring the Dutch football model to other countries, it is necessary to consider its fundamental principles rather than directly copying the model. This is because each country's football market differs in terms of population, broadcasting revenues, fan culture, sponsorship capacity, football infrastructure, player pool, international connections, and institutional regulations.

However, five fundamental policy principles can be derived from the Dutch model. First, infrastructure investments should be considered not merely as sporting expenditures, but as long-term economic investments. Second, a direct link should be established between the development of young players and the club's first-team strategy. Third, transfer revenues should be directed towards investments that strengthen the club's financial capacity, rather than being used to continuously finance current expenses.

Fourth, financial discipline mechanisms should be established to ensure that clubs make wage and transfer expenditures in line with their revenues. Fifth, financial sustainability should not be left solely to the preferences of club management; it should be supported by independent and transparent licensing, auditing, and reporting systems. These principles are particularly important for countries with income levels similar to the Netherlands, or those struggling to compete with Europe's larger football economies. However, when implementing the model, it is crucial to remember that the infrastructure system is not solely about physical facility investment; it must encompass a holistic approach including training, coach quality, scouting, data analytics, player health, psychological development, and sporting philosophy.

Conceptual Evaluation of the Dutch Model

It can be argued that the financial sustainability of the Dutch football model is based on four fundamental principles. The first principle is "resource efficiency." When a club cannot use the same amount of financial resources as its high-income competitors, it strives to generate higher sporting value from its available resources. The second principle is "transformation of human capital into economic value." Investment in young players produces sporting talent, and the transfer of successful players translates into financial value. The third principle is "financial discipline." Instead of directing all available resources to short-term sporting expenditures, costs must be kept in line with revenues, and financial risks must be limited. The fourth principle is "corporate assurance." The KNVB licensing system and UEFA financial sustainability regulations limit the financial and managerial behavior of clubs within certain standards.

When these four mechanisms are considered together, the Dutch model can be summarized as follows:
Financial sustainability = Resource efficiency + Investment in human capital + Fiscal discipline + Corporate governance

However, this statement is not a mathematical formula for financial sustainability, but rather a relational model summarizing the conceptual framework of the study. Accordingly, the success of the Dutch football model stems not from having the same financial capacity as high-income clubs, but from its ability to manage financial constraints through player development, cost control, and corporate governance. The youth development system generates transfer revenue, transfer revenue supports financial capacity, fiscal discipline limits the uncontrolled consumption of resources, and corporate governance ensures the continuity of these processes. Therefore, from the perspective of the study's conceptual approach, financial sustainability is not a linear process beginning with increased revenue and continuing with the efficient use of revenue; rather, it is a cyclical system in which sporting production, player development, the transfer market, financial management, and corporate regulation continuously reproduce each other.

The most important feature of this system is that it treats sporting success and financial sustainability not as alternatives to each other, but as two goals that can support each other under appropriate governance mechanisms. However, it should also be noted that this relationship is not automatic and needs to be constantly re-managed due to the uncertainty of the transfer market, income disparities, sporting failures, and competitive inequalities in European football. While the effects of Financial Fair Play regulations on financial discipline are positive, their potential effects on competitive balance continue to be debated in the literature (Franck, 2014; Peeters & Szymanski, 2014). Therefore, the Dutch model should not be considered a perfect financial sustainability model directly applicable to all countries; rather, it should be evaluated as a reference model demonstrating that it is possible to create an integrated structure between infrastructure, player development, transfer strategy, financial discipline, and corporate governance in football economies with limited income capacity.

METHODOLOGY

This study is designed as a qualitative and conceptual research aiming to evaluate the Dutch professional football model from a financial sustainability perspective. The research does not employ a quantitative sample; instead, it assesses the financial sustainability of football clubs through a document analysis focusing on aspects such as player development systems, transfer revenues, financial discipline, and corporate governance. This approach allows for the examination of financial sustainability not only

through financial ratios but also through the mechanisms that shape the economic and corporate structures of the clubs.

The research's data sources consist of three main groups. The first group includes the Club Licensing and Financial Sustainability Regulations published by UEFA, European club finance and investment reports, and corporate reports on financial sustainability. The second group utilizes corporate documents published by the Royal Dutch Football Federation (KNVB) concerning the professional football licensing system, financial integrity, and the financial status of clubs. The third group examines academic studies on the economics of professional football, financial sustainability, financial regulations, player transfers, infrastructure investments, and club governance.

A thematic approach was adopted in the analysis of the documents. The sources examined were evaluated under six main themes: financial sustainability and fiscal discipline, revenue structure and revenue diversification, player development and infrastructure investments, transfer revenues and transfer dependency, corporate governance, and UEFA financial sustainability regulations. Subsequently, the relationships between these themes were interpreted holistically within the context of the Dutch football model.

This study does not develop a new financial index that directly measures the financial sustainability of the Dutch football model. Instead, it comparatively and conceptually evaluates the findings presented in the existing academic and institutional literature. Therefore, the aim of the research is not to statistically test the financial performance of Dutch clubs, but to reveal the institutional and economic mechanisms that support financial sustainability. Following this method, the findings of the research are evaluated in conjunction with the transfer revenue-based structure of the Dutch football model, as well as infrastructure investments, player development, cost control, and institutional audit mechanisms. Thus, the aim is to identify elements of the Dutch football model that can be transferred to different national football systems and to create a conceptual framework for future empirical research.

CONCLUSION AND DISCUSSION

The economic structure of professional football differs from that of classical businesses in that sporting goals are the determining factor in financial decisions. For clubs, the fan interest, broadcasting revenues, sponsorship opportunities, and international visibility that sporting success can provide can encourage high spending tendencies in the short term. This leads clubs to make decisions considering not only their current revenues but also the potential future sporting and commercial returns. Therefore, the financial decision-making process in football clubs reveals a unique structure that requires managing the relationship between sporting competitiveness and economic capacity, rather than solely focusing on profitability.

This study's assessment indicates that the relationship takes on a different dimension within the Dutch football system, particularly through the connection between player development and the player market. In the economic activities of Dutch clubs, the discovery, training, and preparation of young players for professional levels are not viewed solely as a sporting activity. This process also constitutes an investment that creates economic value for the clubs to utilize in the future. In such an approach, the development of a footballer can be considered part of the club's intangible assets, and the player's career progress can also affect the club's economic outcomes. The remarkable aspect of the Dutch football model is that player development is not merely an element of the youth academy organization, but is linked to the club's sporting and economic strategy. Preparing a young player for professional levels can, to a certain extent, reduce the club's need to purchase players from the transfer market, and can also create a new source of income if the player is transferred later. Thus, the economic return on youth academy investments does not manifest as a direct, short-term return, but rather as an increase in value over time. However, an important distinction must be made here: there is no automatic relationship between the development of a footballer and that footballer providing a high economic return to the club. A player's rise to professional level depends on numerous variables, including injuries, sporting performance, contract terms, the state of the transfer market, and the club's bargaining power. Therefore, the youth development system should be viewed not as a guaranteed income mechanism, but as a strategic investment area with uncertainty but high long-term value creation potential.

The transfer market, within this framework, creates a two-way economic outcome. While player sales can provide clubs with significant resources, considering transfer revenues as a stable and predictable income stream can pose a financial risk. The timing of transfer activities, the market values of players, and demand conditions in European football can significantly alter the income clubs receive over time. Therefore, high transfer income alone does not necessarily mean a sound financial structure. More importantly, the club's ability to utilize transfer market opportunities within a financial framework that allows it to continue its operations is crucial. This assessment demonstrates that explaining the economic logic of the Dutch model solely through player sales is insufficient. Behind player sales lie complementary processes such as scouting activities, training infrastructure, technical staff, providing professional opportunities for young players, and appropriate transfer timing. Therefore, the economic outcome is a result of the club's long-term sporting production capacity, rather than a single transfer transaction. Studies examining the importance of the football market on clubs' financial structures also indicate that the economic value of players should be evaluated in conjunction with sporting performance, market conditions, and clubs' transfer strategies. This structure of Dutch football is also significant in terms of the quality of its revenue sources. For clubs, establishing a sustainable economic structure depends not only on finding new revenue streams but also on evaluating the sources of existing revenue and their stability. Matchday revenue, broadcasting revenue, sponsorship and commercial revenue, and player transfer revenue all have different risk characteristics. Therefore, diversifying revenue streams can be considered a factor that mitigates the impact of any decline in one revenue stream on the club as a whole. On the other hand, there is not always a linear relationship between revenue growth and financial resilience in football clubs. When revenue growth is met with a higher increase in wage and transfer spending during the same period, it may put the club's financial situation under more pressure rather than improving it. In the case of the Netherlands, financial discipline should not be considered independently of revenue generation capacity. Establishing an appropriate relationship between the club's economic capacity and the level of sporting spending is important for long-term stability. In particular, keeping wage and transfer expenses in line with the club's ability to generate regular revenue can limit the financial consequences of external shocks such as failures in the transfer market or non-qualification for European competitions.

UEFA's approach to financial sustainability is also important at this point. The current regulatory structure adopts a more comprehensive assessment approach that evaluates clubs not only on their past financial results, but also on their solvency, financial stability, and the relationship between team costs and the club's revenue capacity. Within UEFA's regulatory framework, financial sustainability is linked to the clubs' ability to continue their operations in the long term and to meet their financial obligations. For the Dutch football system, the significance of these regulations is that they create an external framework that encourages clubs to use their existing financial resources more controllably. However, it should not be assumed that financial rules will have the same effect on all clubs. Even if clubs with high revenue capacity and those with smaller budgets operate within the same financial limits, their capacity to utilize these limits will differ. From this perspective, the key feature of the Dutch model is that it develops a different method of generating value to maintain sporting competitiveness in an environment where financial resources are limited. It may not be possible for clubs to compete at the same level in terms of budget size with Europe's highest-income football economies. In contrast, developing young players, identifying the right players early on, and evaluating them within the sporting system creates areas where a competitive advantage can be built with lower financial resources. It is particularly important to note that youth development should not be viewed solely as a cost-reducing tool. Investing in youth development also creates institutional capacity that shapes the club's sporting identity and long-term player pool. The economic output of this capacity becomes apparent over time. Therefore, when evaluating youth development spending, considering only the expenses of the relevant period can overlook the true economic value of the investment.

The institutional structure of the Dutch football system is also an important complement to this economic process. The KNVB's professional football licensing system includes various criteria related to financial reporting, financial rating, payment obligations, improvement of negative equity, and control mechanisms, ensuring that clubs' financial situations are monitored within specific standards. This structure demonstrates that financial sustainability is not solely determined by the preferences of club

managers. A club's financial decisions are also shaped by the federation's licensing system, UEFA regulations, financial reporting standards, and the expectations of external stakeholders. Thus, financial management becomes a multi-layered process, starting from the club's internal decisions and extending to national and international football governance.

From a corporate governance perspective, there is a strong link between financial sustainability and transparency. Standardizing financial reporting can help make clubs' financial situations comparable and identify problems earlier. The KNVB's financial reporting regulations, which establish specific rules for the reporting system used to assess the financial situation of licensees, also support this approach. A key finding of this study is that financial sustainability is a broader construct than the sum of individual decisions made at the club level. Instead of a club managing its transfer policy, wage policy, infrastructure budget, borrowing decisions, and commercial activities independently, these should be evaluated within the same long-term strategy. Especially during periods of increased pressure for sporting success, managers pushing financial limits for short-term sporting results can restrict the club's room for maneuver in later periods. The "soft budget constraint" debate in European football highlights the structural nature of this problem (Storm & Nielsen, 2012). Therefore, the most important idea that the Dutch model can offer to other countries is not the direct copying of a specific club's management practices. More meaningful is the redirection of resources generated within the football economy to areas that will increase football's future production capacity. Investing in young players, improving technical training capacity, strengthening scouting systems, and aligning financial decisions with long-term goals are among the elements of this approach that can be adapted to different football systems. However, it would be incorrect to conclude that the success of the Dutch example stems solely from management choices. The country's football culture, the historical experience of the clubs, their expertise in developing young players, their position in the European football market, and international player mobility are among the conditions that contributed to the formation of this structure. Therefore, when applying the lessons learned from the Dutch model to different countries, institutional, economic, and sporting differences must be taken into account.

The study's findings are based on interpreting the relationships between existing academic literature and institutional documents. This also allows the study to serve as a starting point for future research. In this context, future research could empirically test the relationships between infrastructure spending, player sales revenue, wage expenses, indebtedness, revenue diversification, and sporting success using long-term financial data from professional clubs in the Netherlands. Analyses conducted using panel datasets covering several seasons of Eredivisie clubs, in particular, could more clearly reveal the economic consequences of infrastructure investments. Furthermore, comparing the Netherlands with different football economies such as Portugal, Belgium, Denmark, or Turkey could contribute to understanding whether similar transfer and infrastructure strategies produce the same results in different institutional environments. At a more advanced stage, developing a financial sustainability index that considers infrastructure investment, revenue diversification, wage/revenue ratio, transfer dependency, indebtedness, and sporting performance together could make the relationships conceptually presented in this study measurable.

REFERENCES

AFC Ajax. (2024). *Annual report 2023/2024*. AFC Ajax N.V. https://english.ajax.nl/articles/annual-figures-of-afc-ajax-nv-20232024

Alajbeg, D., Bubas, Z., & Moric Milovanovic, B. (2022). Financial health and self-sustainability of a small European football league: The realities of top-flight Croatian football. *Sustainability, 14*(24), 16599. https://doi.org/10.3390/su142416599

CIES Football Observatory. (2026). *Most profitable football academies: Last decade*. CIES International Centre for Sports Studies. https://www.cies.ch/research/news/news-detail/article/most-profitable-football-academies-last-decade

Franck, E. (2014). Financial Fair Play in European club football: What is it all about? *International Journal of Sport Finance, 9*(3), 193–217. https://doi.org/10.1177/155862351400900302

Gouveia, M., Pinho, M., & Pires, P. B. (2026). Players as strategic assets in Portuguese professional football: Financial sustainability and competitive outcomes in a transfer-driven model. *Sport,*

Business and Management: An International Journal. Advance online publication. https://doi.org/10.1108/SBM-08-2025-0213

Hoey, S., Peeters, T., & Principe, F. (2021). The transfer system in European football: A pro-competitive no-poaching agreement? *International Journal of Industrial Organization, 75,* Article 102695. https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2020.102695

KESKİN, M. (2024). Share Impact-Level Analysıs of Match Results of o European Football Club: AFC AJAX. *International Journal of Eurasia Social Sciences*, *15*(57), 1375-1386. https://doi.org/10.35826/ijoess.4488

KNVB (2024). *Licentiesysteem betaald voetbal*. Koninklijke Nederlandse Voetbalbond. https://www.knvb.nl/downloads/bestand/28914/samenvatting-knvb-licentiesysteem-betaald-voetbal-september-2024

KNVB (2026). *Financiële integriteit*. Koninklijke Nederlandse Voetbalbond. https://www.knvb.nl/themas/financi%C3%ABle-integriteit

Leach, S., & Szymanski, S. (2015). Making money out of football. *Scottish Journal of Political Economy*, *62*(1), 25–50. https://doi.org/10.1111/sjpe.12065

Neale, W. C. (1964). The peculiar economics of professional sports: A contribution to the theory of the firm in sporting competition and in market competition. *The Quarterly Journal of Economics, 78*(1), 1–14. https://doi.org/10.2307/1880543

Peeters, T., & Szymanski, S. (2014). Financial Fair Play in European football. *Economic Policy, 29*(78), 343–390. https://doi.org/10.1111/1468-0327.12031

Sloane, P. J. (1971). The economics of professional football: The football club as a utility maximiser. *Scottish Journal of Political Economy, 18*(2), 121–146. https://doi.org/10.1111/j.1467-9485.1971.tb00979.x

Storm, R. K., & Nielsen, K. (2012). Soft budget constraints in professional football. *European Sport Management Quarterly, 12*(2), 183–201. https://doi.org/10.1080/16184742.2012.670660

Szymanski, S. (2010). The financial crisis and English football: The dog that will not bark. *International Journal of Sport Finance, 5*(1), 28–40. https://doi.org/10.1177/155862351000500103

UEFA. (2010). *The European club footballing landscape: Club licensing benchmarking report*. Union of European Football Associations. https://ecfil.uefa.com/

UEFA. (2025). *UEFA Club Licensing and Financial Sustainability Regulations: Edition 2025*. Union of European Football Associations. https://documents.uefa.com/r/UEFA-Club-Licensing-and-Financial-Sustainability-Regulations-2025-Online

UEFA. (2026). *Financial sustainability*. Union of European Football Associations. https://www.uefa.com/running-competitions/integrity/financial-sustainability/

UEFA. (2026). *UEFA Club Licensing and Financial Sustainability Regulations: Edition 2026*. Union of European Football Associations. https://documents.uefa.com/r/UEFA-Club-Licensing-and-Financial-Sustainability-Regulations-2026-Online

ENDİKASYON DIŞI (OFF-LABEL) İLAÇ KULLANIMININ ETİK BOYUTLARI VE TÜRKİYE'DEKİ ARAŞTIRMA BOŞLUĞU

THE ETHICAL DIMENSIONS OF OFF-LABEL DRUG USE AND THE RESEARCH GAP IN TÜRKİYE

Dr. Öğr. Üyesi Merve ERDEM
Maltepe Üniversitesi, Tıp Fakültesi
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8616-991X

Özet
Endikasyon dışı (off-label) ilaç kullanımı, bir ilacın ruhsatlandırıldığı endikasyon, yaş grubu, doz veya uygulama yolu dışında farklı bir şekil, doz ya da kombinasyonla kullanılmasını ifade eder. Off-label ilaç kullanımı, en sık onkoloji, pediatri, psikiyatri gibi alanlarda görülmekte olup tıbbın birçok alanında bu uygulamaya başvurulmaktadır. Yasal olarak serbest olan bu uygulama, kanıt temelinin ruhsatlı kullanıma kıyasla görece zayıf olması nedeniyle önemli etik sorunlara yol açmaktadır. Bu çalışma, off-label kullanımın doğurduğu etik sorunları kavramsal bir çerçevede haritalamayı ve konunun Türkiye'deki araştırma görünürlüğünü değerlendirmeyi amaçlamaktadır. İlgili ulusal ve uluslararası literatür taranarak, etik sorunlar başlıca şu eksenlerde ele alınmıştır: hastanın kanıtı sınırlı bir kullanıma çoğu zaman farkında olmadan maruz kalması ve aydınlatılmaması, ahlaki bir fail olarak hekimin üstlendiği klinik, hukuki ve ahlaki sorumluluk, nadir hastalıklarda araştırma ve ruhsatlandırma eksikliğinden doğan adalet sorunları ve Türkiye'de geri ödeme reddi nedeniyle tedavi yükünün hastaya kayması. Bu sorunlar, hekim-hasta ilişkisinden ilaç araştırmalarına ve sağlık politikalarına uzanan oldukça geniş etik bir tartışma alanı oluşturmaktadır. İncelenen literatür, off-label kullanımın genellikle mali boyutlarının tartışıldığını, ancak etik boyutunun hem uluslararası literatürde yetersiz kaldığını hem de Türkiye'de bu konunun hekim deneyimini ve etik tutumlarını doğrudan inceleyen ampirik/nitel çalışmaların neredeyse bulunmadığını göstermektedir. Bu durum, Türkiye bağlamında özgün ve öncelikli bir araştırma boşluğuna işaret etmektedir. Çalışma, bu boşluğun doldurulmasına yönelik nitel araştırmaların gerekliliğini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: off-label ilaç kullanımı, tıp etiği, aydınlatılmış onam.

Abstract
Off-label drug use refers to the use of a medicine outside its approved indication, age group, dose, or route of administration; that is, in a different form, dose, or combination. Off-label drug use is most common in fields such as oncology, pediatrics, and psychiatry, and is practiced across many areas of medicine. Although legally permissible, this practice raises significant ethical concerns because its evidence base is relatively weak compared to on-label use. This study aims to map the ethical problems arising from off-label use within a conceptual framework and to assess the visibility of this topic in research conducted in Türkiye. Through a review of relevant national and international literature, the ethical concerns are examined along the following axes: patients' frequent unawareness of off-label use, limited evidence, and inadequate information; the clinical, legal, and moral responsibility assumed by the physician as a moral agent; justice-related problems arising from a lack of research and licensing for rare diseases; and the shifting of the treatment burden onto patients due to reimbursement refusals in Türkiye. These problems constitute a multilayered ethical domain extending from the physician-patient relationship to pharmaceutical research and health policy. The reviewed literature shows that the financial dimensions of off-label use are generally discussed, whereas its ethical dimension remains insufficiently addressed in the international literature. In Türkiye, empirical or qualitative studies directly examining physicians' experiences and ethical attitudes are virtually nonexistent. This points to an original and pressing research gap in the Turkish context. The study underscores the need for qualitative research to address this gap.
Keywords: off-label drug use, medical ethics, informed consent.

FROM RDW-CV TO RDW-SD: GLOBAL RESEARCH TRENDS, METHODOLOGICAL REPORTING, AND CLINICAL APPLICATIONS OF RED CELL DISTRIBUTION WIDTH IN CARDIOMETABOLIC DISEASES

RDW-CV'DEN RDW-SD'YE: KARDİYOMETABOLİK HASTALIKLARDA ERİTROSİT DAĞILIM GENİŞLİĞİNİN KÜRESEL ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİ, METODOLOJİK RAPORLANMASI VE KLİNİK UYGULAMALARI

Dr. Öğr. Üyesi Kemal Ozan LÜLE
Gaziantep Üniversitesi Tıp Fakültesi, İç Hastalıkları Anabilim Dalı
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0003-3582-9663

ABSTRACT
Background: Red cell distribution width (RDW), a routinely available component of the complete blood count, has evolved from an index used mainly in anemia assessment into a biomarker investigated across cardiovascular and metabolic disorders. However, the growth, thematic structure, and visibility of the two principal RDW metrics RDW coefficient of variation (RDW-CV) and RDW standard deviation (RDW-SD) have not been characterized comprehensively. Methods: A bibliometric analysis was conducted in the Web of Science Core Collection at 10 Agust 2026. Records were retrieved using RDW-related topic terms combined with cardiometabolic terms required to appear in the title, abstract, or author keywords. Articles and reviews indexed in SCI-Expanded, SSCI, or ESCI were eligible. Non-human/experimental-only studies, retracted publications, and records in which RDW was not explicitly identifiable in the title, abstract, or author keywords were removed. Results: The final corpus comprised 1,614 publications from 1999 to 10 August 2026, with 33,539 citations across 651 journals and 86 countries/regions. Annual output increased markedly after 2012 and reached 189 publications in 2025. China (n=606), Turkey (n=286), and the United States (n=182) were the leading contributors. Mortality, inflammation, prognosis, heart failure, diabetes mellitus, atrial fibrillation, ischemic stroke, and myocardial infarction dominated the author-keyword landscape. The RDW subtype was not explicitly identifiable from title/abstract/author-keyword metadata in 1,510 records (93.6%); RDW-CV alone was explicit in 48 (3.0%), RDW-SD alone in 34 (2.1%), and both in 22 (1.4%). Conclusions: Cardiometabolic RDW research has expanded substantially and diversified from cardiovascular prognosis toward broader metabolic and data-intensive applications. Greater explicit reporting of the RDW metric used may improve interpretability and comparability across studies.
Keywords: Red Cell Distribution Width; Rdw-Sd; Rdw-Cv; Cardiometabolic Disease; Bibliometric Analysis

ÖZET
Amaç: Tam kan sayımında rutin olarak raporlanan eritrosit dağılım genişliği (RDW), başlangıçta ağırlıklı olarak anemilerin değerlendirilmesinde kullanılan bir parametre iken zaman içinde kardiyovasküler ve metabolik hastalıklarda araştırılan bir biyobelirteç hâline gelmiştir. Buna karşın RDW literatürünün büyüme eğilimi, tematik yapısı ve iki temel ölçüm biçimi olan RDW değişim katsayısı (RDW-CV) ile RDW standart sapmasının (RDW-SD) literatürdeki görünürlüğü yeterince bütüncül olarak incelenmemiştir. Yöntem: Web of Science Core Collection veri tabanında 10 Ağustos 2026 tarihinde bibliyometrik analiz gerçekleştirildi. RDW ile ilişkili konu terimleri; kardiyometabolik terimlerin başlık, özet veya yazar anahtar kelimelerinde bulunmasını şart koşacak şekilde birleştirildi. SCI-Expanded, SSCI veya ESCI kapsamında indekslenen makale ve derlemeler değerlendirildi. Yalnızca hayvan/deneysel çalışma niteliğindeki yayınlar, geri çekilmiş yayınlar ve başlık, özet veya yazar anahtar kelimelerinde RDW'nin açıkça tanımlanamadığı kayıtlar dışlandı. Bulgular: Nihai veri seti 1999–10 Ağustos 2026 döneminde yayımlanan 1.614 kayıttan oluştu; bu yayınlar 651 dergide yer aldı, 86 ülke/bölgeyi temsil etti ve toplam 33.539 atıf aldı. Yıllık yayın sayısı 2012 sonrasında belirgin biçimde artarak 2025'te 189'a ulaştı. Çin (n=606), Türkiye (n=286) ve Amerika Birleşik Devletleri (n=182) en üretken ülkelerdi. Anahtar kelime yapısında mortalite, inflamasyon, prognoz, kalp yetersizliği, diabetes mellitus, atriyal fibrilasyon, iskemik inme ve miyokard infarktüsü öne çıktı.

Kayıtların 1.510'unda (%93,6) RDW alt tipi başlık/özet/yazar anahtar kelimesi düzeyinde açıkça belirlenemedi; 48 kayıtta (%3,0) yalnız RDW-CV, 34 kayıtta (%2,1) yalnız RDW-SD ve 22 kayıtta (%1,4) her iki ölçüm açıkça belirtildi. Sonuç: Kardiyometabolik RDW literatürü belirgin şekilde büyümüş ve kardiyovasküler prognozdan daha geniş metabolik ve veri-yoğun uygulamalara doğru çeşitlenmiştir. Kullanılan RDW ölçüm biçiminin daha açık raporlanması çalışmalar arası yorumlanabilirliği ve karşılaştırılabilirliği artırabilir.
Anahtar Kelimeler: Eritrosit Dağılım Genişliği; RDW-SD; RDW-CV; Kardiyometabolik Hastalık; Bibliyometrik Analiz

INTRODUCTION

Red cell distribution width (RDW) describes heterogeneity in circulating erythrocyte volume and is automatically generated by modern hematology analyzers as part of the complete blood count. Historically, its principal clinical role was to support the differential diagnosis of anemia. Over the last two decades, however, RDW has attracted substantial interest as a marker associated with inflammation, nutritional status, impaired erythropoiesis, oxidative stress, renal dysfunction, and adverse clinical outcomes. This transition is particularly evident in cardiovascular medicine, where early large-scale studies identified RDW as an independent prognostic marker in chronic heart failure and in patients with established coronary disease (Felker et al., 2007; Tonelli et al., 2008). Subsequent work extended these observations to the general population and to a broad range of cardiovascular conditions (Patel et al., 2009; Danese et al., 2015).

The biological meaning of an elevated RDW is not disease-specific. It is better understood as an integrative signal reflecting disturbances that affect red-cell production, maturation, survival, or volume distribution. This partly explains why RDW has been investigated in heterogeneous clinical contexts and why it has repeatedly appeared in prognostic models despite being inexpensive and routinely available. Reviews have highlighted associations with cardiovascular disease, diabetes, kidney and liver disorders, infection, malignancy, and mortality, while also emphasizing analytical heterogeneity and the need for cautious interpretation (Salvagno et al., 2015). Thus, the expansion of RDW research represents both an opportunity and a methodological challenge: a parameter that is almost universally available may provide useful risk information, but only if its measurement and reporting are sufficiently transparent.

An additional complication is that "RDW" is not a single universally expressed metric. RDW-CV is a relative measure, expressed as a percentage and mathematically related to mean corpuscular volume (MCV), whereas RDW-SD is an absolute measure of the width of the erythrocyte volume distribution, typically expressed in femtoliters. Analytical platform and calculation method can influence the reported value, and RDW-SD may behave differently from relative RDW measures because it does not incorporate MCV in the same way (Hoffmann et al., 2015; Salvagno et al., 2015). In many clinical papers, however, the term "RDW" is used without making the subtype immediately visible in the title, abstract, or keywords. This can complicate rapid evidence synthesis and cross-study interpretation, particularly when RDW-SD and RDW-CV are treated as interchangeable constructs.

Bibliometric analysis is useful when a field has become too large and fragmented for simple narrative description. It can quantify growth, identify productive countries and journals, characterize highly cited contributions, and map the conceptual structure of a research domain (Aria & Cuccurullo, 2017). Reporting guidance for biomedical bibliometric reviews also emphasizes transparent data sources, reproducible search strategies, explicit eligibility criteria, data refinement, and clear interpretation of descriptive indicators (Montazeri et al., 2023). Against this background, the present study aimed to map global research trends in RDW-related cardiometabolic literature, identify its dominant clinical themes, and examine how explicitly RDW-CV and RDW-SD are visible in bibliographic metadata.

METHODS

Study Design and Data Source

A bibliometric review with a descriptive evidence-mapping component was conducted using the Web of Science Core Collection (Clarivate). The search and export were completed on 10 August 2026. No language restriction was applied. The analysis focused on bibliographic performance, publication trends,

country and journal productivity, citation impact, author-keyword structure, and the explicit visibility of RDW-CV and RDW-SD in title/abstract/author-keyword metadata. Because the study used publicly indexed bibliographic information and did not involve individual-level human data, ethics committee approval was not required.

Search Strategy and Eligibility Criteria

The search used a two-component structure. The first component captured RDW terminology in the Web of Science Topic field: "red cell distribution width," "red blood cell distribution width," "erythrocyte distribution width," "RDW-SD," "RDW SD," "RDW-CV," or "RDW CV." The second component required a cardiometabolic term to be present in the title, abstract, or author keywords. These terms included cardiometabolic, cardiovascular disease, coronary artery disease, acute coronary syndrome, myocardial infarction, heart failure, atrial fibrillation, atherosclerosis, stroke, cerebrovascular disease, hypertension, blood pressure, diabetes, hyperglycemia, dysglycemia, HbA1c, glycated hemoglobin/haemoglobin, obesity, metabolic syndrome, insulin resistance, dyslipidemia, and hyperlipidemia. Wildcards were used where appropriate.

The initial query identified 1,973 records. The corpus was restricted to Article or Review Article document types (n=1,668) and to the Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), Social Sciences Citation Index (SSCI), or Emerging Sources Citation Index (ESCI), leaving 1,666 records. Data were exported as Full Record and Cited References. During refinement, 43 non-human/veterinary or experimental-only studies and three retracted publications were excluded. A final metadata audit identified six additional records in which RDW was not explicitly present in the title, abstract, or author keywords and had entered through broader Topic metadata. The final bibliometric corpus therefore comprised 1,614 unique records.

Data Processing and Bibliometric Indicators

Records were processed using reproducible Python scripts. Duplicate checking was performed using the unique Web of Science accession number. Publication year, source title, author names, institutional addresses, countries/regions, citation counts, DOI information, author keywords, titles, and abstracts were extracted from the Web of Science plain-text format. Country productivity was calculated by full counting: a publication involving more than one country contributed one publication to each represented country. Citation counts reflect Web of Science values at the time of export and therefore should be interpreted as time-dependent descriptive indicators rather than direct measures of methodological quality.

Author-keyword terms were normalized for common synonyms and spelling variants. For example, "red blood cell distribution width," "red cell distribution width," and "RDW" were harmonized when appropriate; disease-name variants such as "T2DM" and "type 2 diabetes" were standardized. The generic RDW term was removed from the thematic co-occurrence network so that clinical and conceptual themes would remain visible. Co-occurrence links were constructed from author keywords appearing within the same record. Network visualization was used to provide an interpretable overview of the dominant research themes rather than to infer causal relationships or evidence quality.

RDW-CV and RDW-SD Reporting Classification

Each record was automatically classified according to whether explicit RDW-SD and/or RDW-CV terminology appeared in the title, abstract, or author keywords. Four categories were defined: RDW-CV only, RDW-SD only, both RDW-CV and RDW-SD, and unspecified subtype. Importantly, "unspecified subtype" refers only to bibliographic metadata visibility. It does not establish that the full-text article failed to report the analyzer, unit, or RDW formulation. This distinction was maintained throughout interpretation to avoid overstating the methodological finding.

RESULTS

Corpus Characteristics and Publication Growth

The final dataset included 1,614 publications spanning 1999–2026. These records accumulated 33,539 citations, corresponding to a mean of 20.8 citations per record (median 7), and were distributed across 651 journals and 86 countries/regions. The literature remained very small before 2009 but expanded substantially thereafter. Publication volume rose from 43 records in 2012 to 100 in 2020, 144 in 2022,

170 in 2024, and 189 in 2025. A total of 144 publications had already been indexed by 10 August 2026; because 2026 represents a partial year, it should not be directly compared with complete calendar years.

Table 1. Main characteristics of the final bibliometric corpus.

Indicator	Value
Initial records identified	1,973
Final bibliometric corpus	1,614
Publication period	1999–10 August 2026
Total citations	33,539
Mean citations per record	20.8
Median citations per record	7
Journals represented	651
Countries/regions represented	86
Internationally coauthored publications	197 (12.2%)

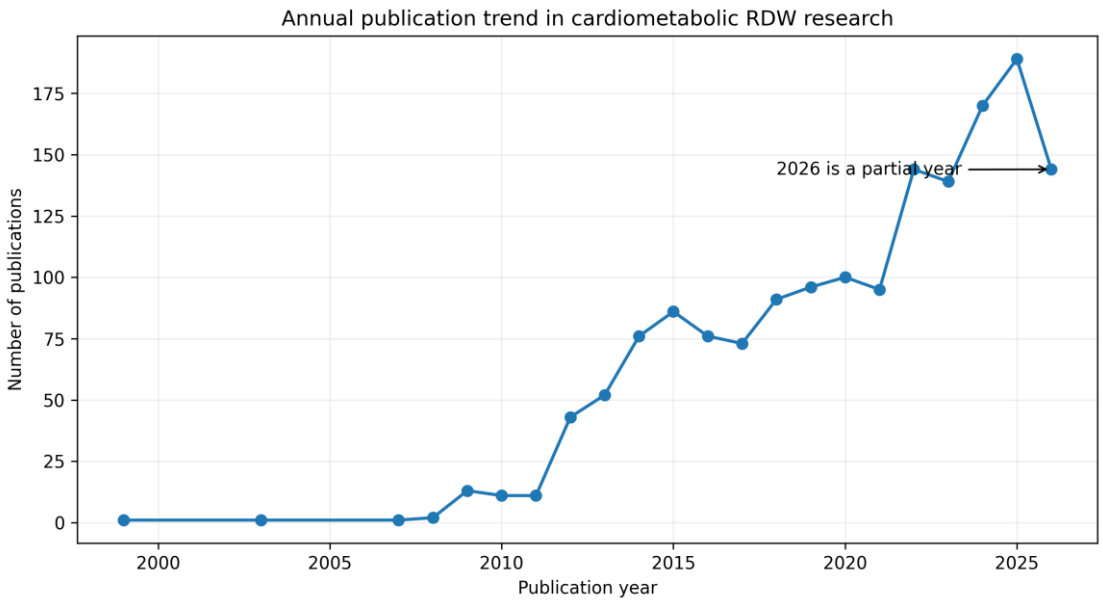


Figure 1. Annual publication trend in cardiometabolic RDW research. The 2026 value represents a partial year through 10 August 2026.

Geographic and Journal Contributions

China was the largest contributor with 606 publications (37.5% of the corpus under full counting), followed by Turkey with 286 (17.7%) and the United States with 182 (11.3%). Italy (n=66), the United Kingdom (n=52), Poland (n=46), Japan (n=45), Iran (n=43), Spain (n=42), and India (n=37) completed the top ten. International collaboration was identified in 197 publications (12.2%), indicating that a substantial proportion of output remained nationally concentrated. Among institutions, Capital Medical University, Tianjin Medical University, Chongqing Medical University, Zhejiang University, Nanjing Medical University, and Central South University were among the most productive, reflecting the strong contribution from China; University of Health Sciences Turkey was also among the leading institutions. The most productive journals were Scientific Reports (n=46), Medicine (n=44), PLOS ONE (n=36), Frontiers in Cardiovascular Medicine (n=34), and BMC Cardiovascular Disorders (n=27). The citation profile, however, differed from simple productivity. The most highly cited record in the dataset was the broad clinical review by Salvagno et al. (2015), followed by the landmark heart-failure analysis by Felker et al. (2007) and the coronary-disease analysis by Tonelli et al. (2008). This pattern shows that the intellectual foundation of the field was established by early prognostic cardiovascular studies and later consolidated by integrative reviews.

Table 2. Top five countries and journals by publication count (country values use full counting).

Leading Contributors

Country	Publications	Journal	Publications
China	606	Scientific Reports	46
Turkey	286	Medicine	44
United States	182	PLOS ONE	36
Italy	66	Frontiers in Cardiovascular Medicine	34
United Kingdom	52	BMC Cardiovascular Disorders	27

Thematic Structure and Clinical Applications

The author-keyword structure was dominated by outcome-oriented and inflammatory concepts. The most frequent normalized author keywords were mortality (n=155), inflammation (n=131), prognosis (n=129), heart failure (n=125), biomarker (n=95), diabetes mellitus (n=79), atrial fibrillation (n=69), cardiovascular disease (n=67), ischemic stroke (n=66), myocardial infarction (n=63), coronary artery disease (n=58), and stroke (n=56). These patterns show that RDW has been used primarily as a prognostic or risk-stratification biomarker rather than as a disease-specific diagnostic test. The field originated around heart failure, coronary disease, myocardial infarction, and mortality, then expanded into atrial fibrillation, cerebrovascular disease, diabetes, metabolic disorders, and broader multimarker approaches.

The co-occurrence network also illustrates substantial overlap between cardiovascular outcomes and systemic processes such as inflammation. Recent records increasingly include large public databases, data-driven risk models, and composite indices. This suggests a transition from isolated association testing toward integration of RDW into multivariable prediction frameworks. Such evolution is clinically intuitive because RDW is inexpensive, repeatedly measured, and available in routine care; nevertheless, bibliometric prominence should not be interpreted as proof of incremental clinical utility. Discrimination, calibration, decision-curve analysis, external validation, and comparison against established risk models remain necessary when RDW is proposed for prediction.

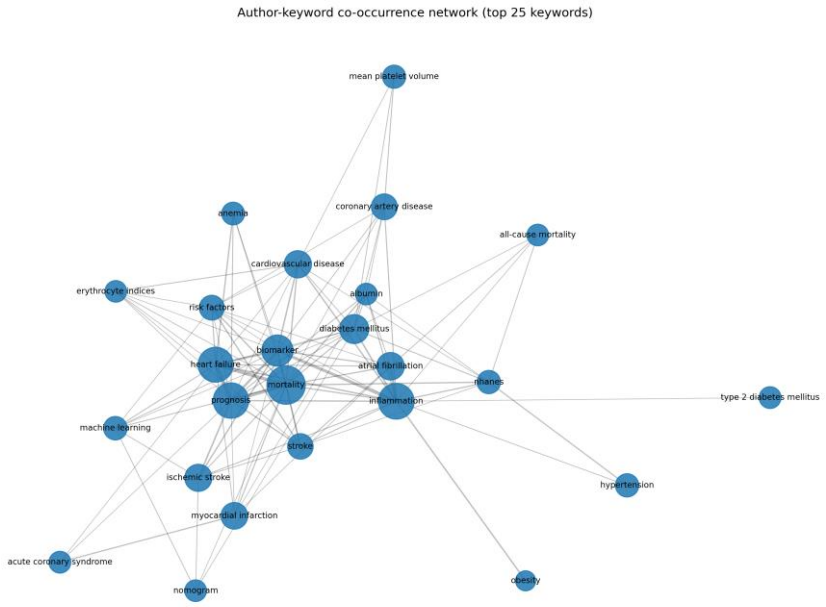


Figure 2. Author-keyword co-occurrence network. The generic RDW term was removed to emphasize clinical and conceptual themes.

Visibility of RDW-CV and RDW-SD

The principal methodological observation was the limited explicit visibility of the RDW subtype in bibliographic metadata. Among 1,614 records, 1,510 (93.6%) did not identify an RDW subtype in the title, abstract, or author keywords. RDW-CV alone was explicitly identified in 48 records (3.0%), RDW-SD alone in 34 (2.1%), and both RDW-CV and RDW-SD in 22 (1.4%). Thus, RDW-SD was explicitly visible in 56 records and RDW-CV in 70 records when combined categories were considered. Explicit subtype reporting became more apparent in recent years, although it still represented a small minority of the overall literature.

This finding is important because RDW-SD and RDW-CV are analytically related but not identical. RDW-CV is influenced by MCV because it is a relative measure, while RDW-SD provides an absolute dispersion measure. Prior methodological work has demonstrated that age, analyzer technology, and the interaction with MCV can affect RDW interpretation (Hoffmann et al., 2015). Therefore, studies evaluating RDW as a clinical biomarker should clearly identify the metric, unit, analyzer or laboratory platform when relevant, and analytical handling. At the same time, the current bibliometric classification should not be treated as a full-text reporting audit: a paper categorized as "unspecified subtype" may provide adequate technical information in its Methods section.

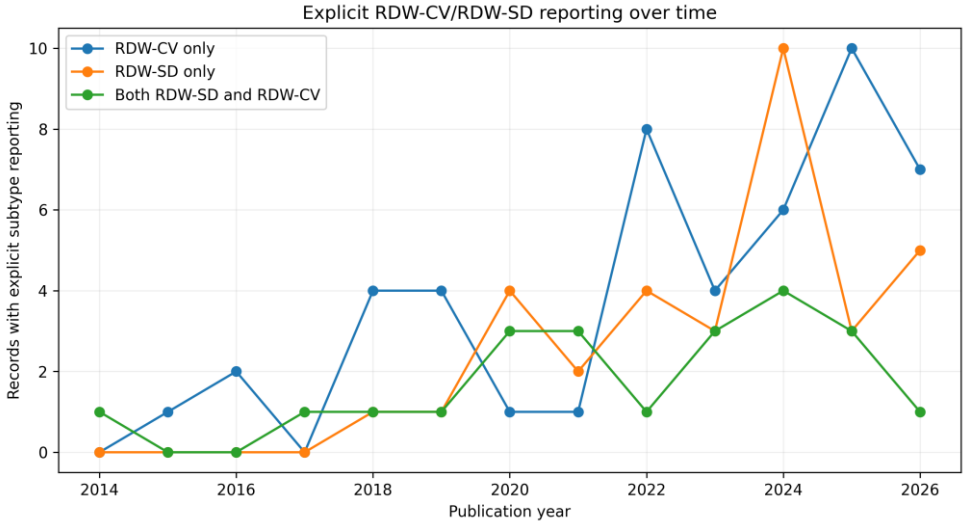


Figure 3. Explicit RDW-CV/RDW-SD reporting in title, abstract, or author keywords over time.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This bibliometric analysis demonstrates a clear transformation of RDW research within cardiometabolic medicine. What began as a relatively small literature surrounding erythrocyte heterogeneity and cardiovascular prognosis has developed into a large and diverse research domain encompassing more than 1,600 publications. The acceleration after 2012 and the record output in 2024–2025 indicate that interest in RDW is not merely historical. Instead, routine hematological data continue to be repurposed as low-cost biomarkers in increasingly data-rich clinical settings.

The citation structure provides a coherent historical explanation for this growth. Felker et al. (2007) showed that RDW was among the strongest routine laboratory predictors of morbidity and mortality in two heart-failure cohorts, while Tonelli et al. (2008) demonstrated a graded relationship between RDW and death and cardiovascular events among patients with coronary disease. These studies helped reposition RDW from a hematology descriptor to a candidate prognostic biomarker. Subsequent population-based work showed associations with mortality outside narrowly defined cardiovascular cohorts (Patel et al., 2009), and reviews summarized the rapidly expanding range of cardiovascular and systemic applications (Danese et al., 2015; Salvagno et al., 2015). The current keyword landscape—dominated by mortality, prognosis, inflammation, heart failure, diabetes, atrial fibrillation, stroke, and myocardial infarction—closely reflects that intellectual trajectory.

The geographic distribution is also notable. China accounted for more than one third of the corpus under full counting, while Turkey ranked second. These results indicate strong research activity in countries where retrospective hospital cohorts, routine laboratory datasets, and accessible complete blood count parameters are frequently used for clinically oriented observational studies. However, productivity should not be conflated with evidence strength. Bibliometric counts describe research activity and visibility; they do not establish that the most productive countries, institutions, or journals produce the most valid or clinically useful evidence. Citation measures similarly favor older publications because they have had more time to accumulate citations.

The central methodological contribution of this analysis is the distinction between "RDW" as a generic bibliographic label and explicit RDW-CV/RDW-SD terminology. More than 90% of records did not reveal the subtype in title, abstract, or author keywords. This does not necessarily represent poor full-text reporting, but it limits discoverability and complicates rapid comparison across studies. The distinction matters because RDW-CV mathematically incorporates MCV, whereas RDW-SD reflects absolute dispersion of the red-cell volume distribution. Analyzer-specific methods may also contribute to between-study heterogeneity (Hoffmann et al., 2015; Salvagno et al., 2015). Therefore, an apparent association reported simply as "RDW" may not be fully comparable with another study unless measurement details are known.

From a clinical perspective, the growing interest in RDW-SD deserves particular attention. RDW-SD has the conceptual advantage of avoiding direct normalization by MCV, but this does not justify a general claim that RDW-SD is clinically superior to RDW-CV. Performance can vary by population, endpoint, analyzer, and model specification. The more defensible conclusion from the present bibliometric evidence is that the two metrics should be named explicitly and evaluated separately when both are available. Future prognostic studies should also move beyond statistically significant associations. Demonstrating incremental discrimination, calibration, net benefit, reproducibility, and external validation is necessary before RDW-based measures can be recommended as components of clinical decision tools.

The author-keyword network suggests another important transition: RDW is increasingly being embedded in composite biomarkers and prediction models rather than analyzed only as an isolated covariate. This reflects a broader movement in internal medicine toward extracting additional value from routinely collected laboratory data. Such approaches are attractive because they are scalable and inexpensive. Yet they also increase the risk of overfitting, data-driven threshold selection, and optimistic claims when models are developed in single-center retrospective cohorts. Future research would benefit from prespecified analyses, adequate adjustment for anemia and nutritional status, careful handling of MCV and renal function, transparent analyzer information, and validation in independent populations.

Several limitations should be considered. First, only the Web of Science Core Collection was used; Scopus, PubMed, and other databases may include additional records. A single-database strategy was chosen to maintain consistent citation metadata and avoid complex duplicate harmonization, but it limits coverage. Second, the search targeted cardiometabolic terminology and therefore does not represent the entire RDW literature. Third, country and institution analyses depend on Web of Science address standardization, and residual naming variants may remain. Fourth, citation counts are dynamic and time-dependent. Fifth, the RDW-CV/RDW-SD classification was based on title, abstract, and author keywords rather than full-text extraction; it should therefore be interpreted as a measure of metadata visibility rather than a definitive assessment of methodological reporting quality. Finally, 2026 was incomplete at the time of data extraction. These limitations are consistent with the broader need for transparent search, refinement, and reporting procedures in biomedical bibliometric studies (Montazeri et al., 2023).

Research on RDW in cardiometabolic disease has expanded from a small cardiovascular prognostic literature into a broad international field spanning heart failure, coronary disease, arrhythmia, stroke, diabetes, inflammation, and data-driven risk modeling. China, Turkey, and the United States were the leading contributors, while mortality and prognosis remained the dominant conceptual themes. The most important reporting observation was that RDW-CV and RDW-SD were explicitly identifiable in bibliographic metadata for only a small proportion of publications.

Future studies should clearly specify the RDW metric used and should distinguish statistical association from demonstrated incremental clinical value. This would improve comparability, reproducibility, and the clinical interpretability of an otherwise highly accessible hematological biomarker.

REFERENCES

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Danese, E., Lippi, G., & Montagnana, M. (2015). Red blood cell distribution width and cardiovascular diseases. *Journal of Thoracic Disease*, *7*(10), E402–E411. https://doi.org/10.3978/j.issn.2072-1439.2015.10.04

Felker, G. M., Allen, L. A., Pocock, S. J., Shaw, L. K., McMurray, J. J. V., Pfeffer, M. A., Swedberg, K., Wang, D., Yusuf, S., Michelson, E. L., & Granger, C. B. (2007). Red cell distribution width as a novel prognostic marker in heart failure: Data from the CHARM Program and the Duke Databank. *Journal of the American College of Cardiology*, *50*(1), 40–47. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2007.02.067

Hoffmann, J. J. M. L., Nabbe, K. C. A. M., & van den Broek, N. M. A. (2015). Effect of age and gender on reference intervals of red blood cell distribution width (RDW) and mean red cell volume (MCV). *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, *53*(12), 2015–2019. https://doi.org/10.1515/cclm-2015-0155

Montazeri, A., Mohammadi, S., Hesari, P. M., Ghaemi, M., Riazi, H., & Sheikhi-Mobarakeh, Z. (2023). Preliminary guideline for reporting bibliometric reviews of the biomedical literature (BIBLIO): A minimum requirements. *Systematic Reviews*, *12*, 239. https://doi.org/10.1186/s13643-023-02410-2

Patel, K. V., Ferrucci, L., Ershler, W. B., Longo, D. L., & Guralnik, J. M. (2009). Red blood cell distribution width and the risk of death in middle-aged and older adults. *Archives of Internal Medicine*, *169*(5), 515–523. https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.11

Salvagno, G. L., Sanchis-Gomar, F., Picanza, A., & Lippi, G. (2015). Red blood cell distribution width: A simple parameter with multiple clinical applications. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, *52*(2), 86–105. https://doi.org/10.3109/10408363.2014.992064

Tonelli, M., Sacks, F., Arnold, M., Moye, L., Davis, B., & Pfeffer, M. (2008). Relation between red blood cell distribution width and cardiovascular event rate in people with coronary disease. *Circulation*, *117*(2), 163–168. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.727545

MEDITERRANEAN DIET IN NAFLD AND MASLD: A BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS OF GLOBAL RESEARCH TRENDS

NAFLD VE MASLD'DE AKDENİZ DİYETİ: KÜRESEL ARAŞTIRMA EĞİLİMLERİNİN BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK ANALİZİ

Uzm. Dr. Özge ÖZSOY
Araban State Hospital, Department of Internal Medicine
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-9643-8514

Dr. Öğr. Üyesi Nezihe OTAY LÜLE,
Gaziantep University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3664-6383

ABSTRACT

Objective: This study aimed to map the global development of Mediterranean-diet research across the transition from non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD) to metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD), with emphasis on publication growth, geographic contribution, citation impact, thematic structure, and nomenclature change. Methods: The Web of Science Core Collection was searched on 12 August 2026. Disease terms covering NAFLD, NASH, MAFLD, MASLD, and MASH were combined with Mediterranean-diet expressions in titles, abstracts, and author keywords. The initial search yielded 486 records. After restriction to articles and reviews indexed in SCI-EXPANDED, SSCI, or ESCI, 414 records remained. A focused relevance screen required liver disease/hepatic steatosis to be explicit in the title and Mediterranean diet to be explicit in the title or author keywords, or repeatedly discussed in the abstract. Non-human experimental studies were excluded. The final corpus comprised 232 publications. Results: The corpus covered 2011-2026 and accumulated 8,984 citations. Publication activity accelerated after 2020, reaching 39 papers in 2022 and 34 in 2025. Italy (n=77), Spain (n=44), and the United States (n=30) were the leading contributors, and 32.8% of papers involved international collaboration. Nutrients was the most productive journal (n=59). Keyword structure centered on hepatic steatosis, physical activity, insulin resistance, obesity, metabolic syndrome, and inflammation, whereas lifestyle, intermittent fasting, the gut-liver axis, and fibrosis emerged more recently. MASLD/MASH terminology expanded sharply after 2024 while legacy NAFLD/NASH terminology persisted. Conclusion: Mediterranean-diet research in steatotic liver disease has evolved from metabolic and weight-centered questions toward integrated lifestyle and mechanistic themes. The nomenclature transition is rapid but remains incomplete, creating a period of substantial terminological overlap.
Keywords: Mediterranean Diet; NAFLD; MASLD; Bibliometrics; Nutrition; Steatotic Liver Disease.

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, non-alkolik yağlı karaciğer hastalığından (NAFLD) metabolik disfonksiyonla ilişkili steatotik karaciğer hastalığına (MASLD) uzanan terminolojik dönüşüm içinde Akdeniz diyeti araştırmalarının küresel gelişimini bibliyometrik ve tematik olarak incelemeyi amaçladı. Yöntem: Web of ScienceCore Collection 12 Ağustos 2026 tarihinde tarandı. Hastalık terminolojisi (NAFLD, NASH, MAFLD, MASLD ve MASH) ile Akdeniz diyeti terimleri başlık, özet ve yazar anahtar kelimelerinde eşleştirildi. İlk taramada 486 kayıt saptandı. Makale ve derleme türleriyle SCI-EXPANDED, SSCI ve ESCI indeksleri sınırlandırıldıktan sonra 414 kayıt kaldı. Odaklı uygunluk taramasında karaciğer hastalığı/hepatik steatozun başlıkta açık olması ve Akdeniz diyetinin başlık, yazar anahtar kelimeleri veya özette tekrarlayan biçimde yer alması arandı; insan dışı deneysel çalışmalar çıkarıldı. Nihai analiz 232 yayın üzerinde gerçekleştirildi. Bulgular: Yayınlar 2011-2026 dönemini kapsadı ve 8.984 atıf aldı. Üretim 2020 sonrasında belirgin hızlandı; 2022'de 39, 2025'te 34 yayın kaydedildi. İtalya (n=77), İspanya (n=44) ve Amerika Birleşik Devletleri (n=30) en üretken ülkelerdi; uluslararası ortak yazarlık oranı %32,8 idi. Nutrients 59 yayınla en üretken dergi oldu. Anahtar kelime yapısı hepatik steatoz, fiziksel aktivite, insülin direnci, obezite ve inflamasyon etrafında yoğunlaşırken son yıllarda yaşam tarzı, aralıklı açlık, gut-karaciğer ekseni ve fibrozis daha görünür hale geldi. 2024 sonrasında MASLD/MASH terminolojisinin hızla benimsendiği görüldü. Sonuç: Akdeniz diyeti ve steatotik karaciğer hastalığı literatürü, klasik metabolik hedeflerden daha bütüncül yaşam tarzı ve mekanistik eksenlere doğru

genişlemektedir. Terminolojik geçiş hızlı olmakla birlikte eski ve yeni adlandırmalar halen birlikte kullanılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Akdeniz Diyeti; NAFLD;MASLD;Bibliyometri;Beslenme;Steatotik Karaciğer Hastalığı.

INTRODUCTION

Metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD) is the contemporary term for the condition historically described as non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD), and metabolic dysfunction-associated steatohepatitis (MASH) has replaced non-alcoholic steatohepatitis (NASH). The revised nomenclature was introduced to better reflect the close relationship between hepatic steatosis and cardiometabolic dysfunction and to reduce limitations associated with exclusion-based and potentially stigmatizing terminology (Kanwal et al., 2024). Current European guidance likewise places lifestyle modification, including dietary change, physical activity, weight management, and management of cardiometabolic comorbidities, at the center of MASLD care (European Association for the Study of the Liver et al., 2024).

Among dietary patterns, the Mediterranean diet has received sustained attention because it emphasizes vegetables, fruits, legumes, whole grains, nuts, fish, and olive oil while limiting highly processed foods and excess saturated fat. Early intervention work demonstrated that a Mediterranean diet could reduce hepatic steatosis and improve insulin sensitivity even without major weight loss (Ryan et al., 2013; Abenavoli et al.,2018). Subsequent randomized trials showed clinically meaningful reductions in hepatic fat with Mediterranean or Mediterranean-style approaches, including conventional and green-Mediterranean interventions (Properzi et al., 2018; Yaskolka Meir et al., 2021). Systematic reviews and meta-analyses have consequently evaluated its effects on hepatic steatosis, insulin resistance, weight-related outcomes, and broader cardiometabolic risk (Kawaguchi et al., 2021).

The literature has also broadened beyond a narrow diet-versus-control framework. Mediterranean-diet research in steatotic liver disease now intersects with physical activity, obesity, gut microbiota, inflammatory pathways, dietary timing, fibrosis risk, and personalized lifestyle interventions. At the same time, the field has undergone a major nomenclature transition from NAFLD/NASH through the intermediate MAFLD terminology to MASLD/MASH. This creates a bibliographic challenge: closely related studies may be indexed under different disease labels despite addressing the same clinical continuum.

Broad bibliometric work has already mapped nutrition and NAFLD research as a whole. For example, Shakhshir and Zyoud (2024) analyzed 1,905 Scopus-indexed publications on diet and NAFLD and identified dietary intervention and inflammation/oxidative stress as major thematic clusters. A more focused map of Mediterranean-diet research, however, is useful because this dietary pattern has become a recurrent clinical and mechanistic theme across the NAFLD-to-MASLD transition. The present study therefore aimed to characterize global publication trends, geographic and journal productivity, citation influence, thematic evolution, and nomenclature change in Mediterranean-diet research related to NAFLD, MAFLD, and MASLD.

METHODS

Study design and data source. A descriptive bibliometric and thematic analysis was conducted using records exported from the Web of Science Core Collection. The final search was performed on 12 August 2026. Bibliometric analysis was selected because it enables quantitative assessment of publication growth, research influence, collaboration, and thematic development across a defined scientific corpus (Donthu et al., 2021). No language restriction was applied. Because 2026 was incomplete at the time of data extraction, results for that year were interpreted as partial-year data.

Search strategy. Disease terminology included “nonalcoholic fatty liver disease,” “non-alcoholic fatty liver disease,” NAFLD, NASH, “metabolic dysfunction-associated fatty liver disease,” MAFLD, “metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease,” MASLD, and the corresponding steatohepatitis terminology. These terms were combined with “Mediterranean diet,” “Mediterranean dietary pattern,” “Mediterranean-style diet,” and closely related expressions.

To reduce noise from Keywords Plus, both disease and dietary concepts were required to occur in the title, abstract, or author-keyword fields. The initial query returned 486 records.

Eligibility and focused relevance screen. Article and Review Article document types were retained, reducing the set to 414 records. The corpus was restricted to SCI-EXPANDED, SSCI, and ESCI; this did not remove additional records. A focused relevance screen was then applied to avoid retaining broad lifestyle papers in which the Mediterranean diet or steatotic liver disease was mentioned only incidentally. Liver disease/hepatic steatosis had to be explicit in the title, while Mediterranean diet had to be explicit in the title or author keywords or be repeatedly discussed in the abstract. This yielded 237 directly focused records. Five primary non-human experimental articles were excluded, resulting in a final corpus of 232 records. No duplicate Web of Science identifiers or retracted publications were identified in the final set.

Bibliometric variables and thematic analysis. Publication year, document type, source title, author names, institutional addresses, countries, author keywords, citation counts, and cited references were extracted from the Web of Science records. Country productivity used full counting: each country represented in a publication received one publication credit. International collaboration was defined as the presence of affiliations from at least two countries. Author keywords were normalized for common variants (e.g., NAFLD/non-alcoholic fatty liver disease; MASLD/metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease). Keyword co-occurrence was calculated at the document level. Terminology trends were assessed by annual occurrence of NAFLD/NASH, MAFLD, and MASLD/MASH expressions in titles, abstracts, or author keywords. Citation counts reflect the Web of Science export date and should be interpreted as time-dependent indicators rather than direct measures of study quality.

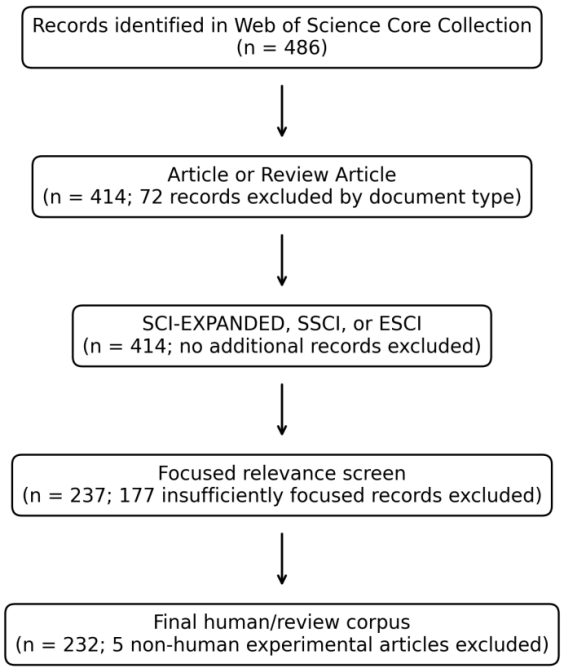


Figure 1. Selection of the bibliometric corpus.

RESULTS

General characteristics. The final corpus contained 232 publications published between 2011 and 2026. Of these, 165 were articles and 67 were reviews. The publications appeared in 94 journals and included 1,583 distinct author-name strings from 46 countries or regions. The corpus had received 8,984 Web of Science citations by the extraction date, corresponding to a mean of 38.7 and a median of 16.5 citations per record. Internationally coauthored publications accounted for 32.8% of the corpus.

Table 1. General bibliometric profile of the final corpus.

2. **Indicator**	3. **Value**
4. Final publications	5. 232
6. Publication period	7. 2011-2026 (2026 partial)
8. Articles	9. 165
10. Reviews	11. 67
12. Distinct journals	13. 94
14. Distinct author-name strings	15. 1,583
16. Countries/regions	17. 46
18. Total citations	19. 8,984
20. Mean citations per publication	21. 38.7
22. Median citations per publication	23. 16.5
24. International collaboration	25. 76 publications (32.8%)

Temporal growth. The field was small before the mid-2010s and expanded substantially after 2020. Annual output increased from 15 publications in 2020 to 18 in 2021 and peaked at 39 in 2022. Publication counts remained high in 2023 (n=28), 2024 (n=26), and 2025 (n=34). A further 27 records were already indexed in 2026 by 12 August, indicating that the apparent decline in 2026 reflects incomplete-year coverage rather than a confirmed reduction in research activity.

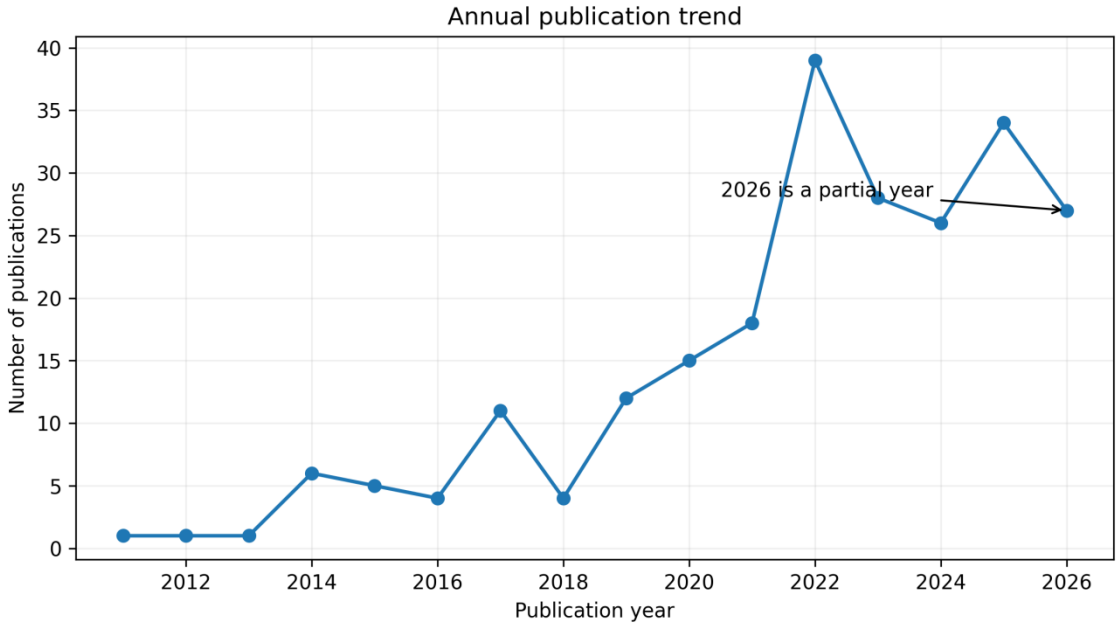


Figure 2. Annual publication output. The 2026 value represents a partial year.

Geographic and journal distribution. Italy was the most productive country (n=77), followed by Spain (n=44), the United States (n=30), Australia (n=24), and Iran (n=12). The strong representation of Italy and Spain is consistent with the geographic and cultural origin of the Mediterranean dietary pattern, although the presence of the United States, Australia, China, and other non-Mediterranean countries indicates broad internationalization. Nutrients was the dominant publication venue with 59 papers, followed by Frontiers in Nutrition (n=11), Antioxidants (n=7), World Journal of Gastroenterology (n=7), British Journal of Nutrition (n=6), and Clinical Nutrition (n=6).

Table 2. Leading countries and journals by publication count.

26. **Country**	27. **n**	28. **Journal**	29. **n**
30. Italy	31. 77	32. Nutrients	33. 59
34. Spain	35. 44	36. Frontiers In Nutrition	37. 11
38. United States	39. 30	40. Antioxidants	41. 7
42. Australia	43. 24	44. World Journal Of Gastroenterology	45. 7
46. Iran	47. 12	48. British Journal Of Nutrition	49. 6
50. Serbia	51. 11	52. Clinical Nutrition	53. 6
54. United Kingdom	55. 11	56. World Journal Of Hepatology	57. 4
58. China	59. 10	60. Journal Of Clinical Medicine	61. 4

Citation structure. The most cited publication was the 2017 Journal of Hepatology review "Treatment of NAFLD with diet, physical activity and exercise" (1,076 citations), followed by Ryan et al.'s 2013 randomized crossover trial of Mediterranean diet in NAFLD (620 citations). The DIRECT PLUS green-Mediterranean trial ranked third (230 citations). Highly cited records therefore included both broad lifestyle syntheses and pivotal clinical intervention studies, indicating that the intellectual structure of the field has been shaped jointly by clinical guidance and experimental dietary evidence.

Table 3. Five most cited publications in the final corpus.

62. **Year**	63. **Publication**	64. **Journal**	65. **Citations**
66. 2017	67. Treatment of NAFLD with diet, physical activity and exercise	68. Journal Of Hepatology	69. 1076
70. 2013	71. The Mediterranean diet improves hepatic steatosis and insulin sensitivity in individual...	72. Journal Of Hepatology	73. 620
74. 2021	75. Effect of green-Mediterranean diet on intrahepatic fat: the DIRECT PLUS randomised cont...	76. Gut	77. 230
78. 2018	79. Mediterranean diet and nonalcoholic fatty liver disease	80. World Journal Of Gastroenterology	81. 225
82. 2017	83. The Mediterranean dietary pattern as the diet of choice for non-alcoholic fatty liver d...	84. Liver International	85. 224

Nomenclature transition. NAFLD/NASH terminology dominated the literature through 2022. MAFLD appeared in this corpus in 2022 and was most visible during the transitional period of 2023-2024. MASLD/MASH first appeared in 2023 and expanded rapidly thereafter. In 2025, MASLD/MASH terminology occurred in 32 of 34 records, while NAFLD/NASH terminology still appeared in 15, demonstrating substantial overlap rather than abrupt replacement. In the partial 2026 dataset, MASLD/MASH appeared in 23 of 27 records, compared with six records still using NAFLD/NASH terminology.

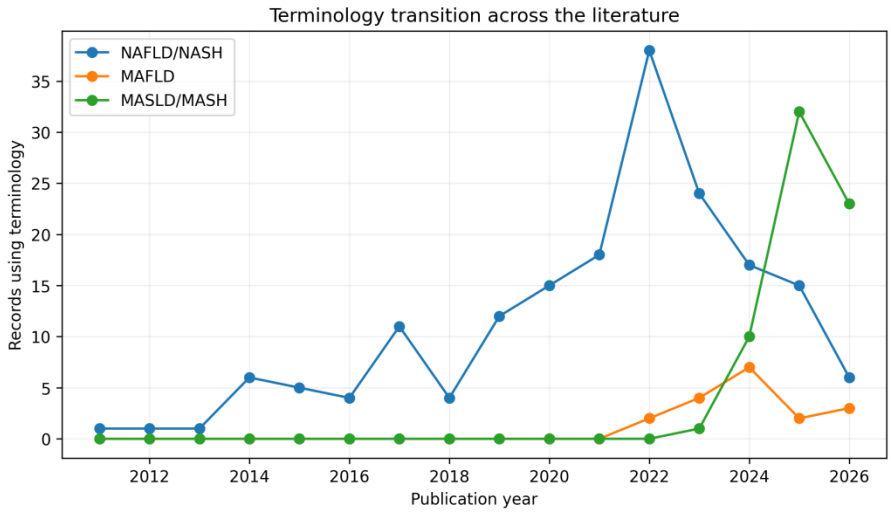


Figure 3. Annual use of legacy and contemporary disease terminology. Categories are non-mutually exclusive.

Thematic structure. Author-keyword analysis identified Mediterranean diet (n=173) and NAFLD (n=119) as the dominant indexing terms. Excluding the defining disease and diet labels, the most frequent themes were hepatic steatosis (n=49), physical activity (n=27), insulin resistance (n=24), obesity (n=23), metabolic syndrome (n=21), inflammation (n=14), intermittent fasting (n=10), ketogenic diet (n=10), lifestyle (n=9), liver fibrosis (n=9), and weight loss (n=8). Average publication years suggested a thematic shift: insulin resistance and weight loss were relatively established themes, whereas lifestyle, intermittent fasting, the gut-liver axis, exercise, dietary patterns, and fibrosis were concentrated more strongly in recent years.

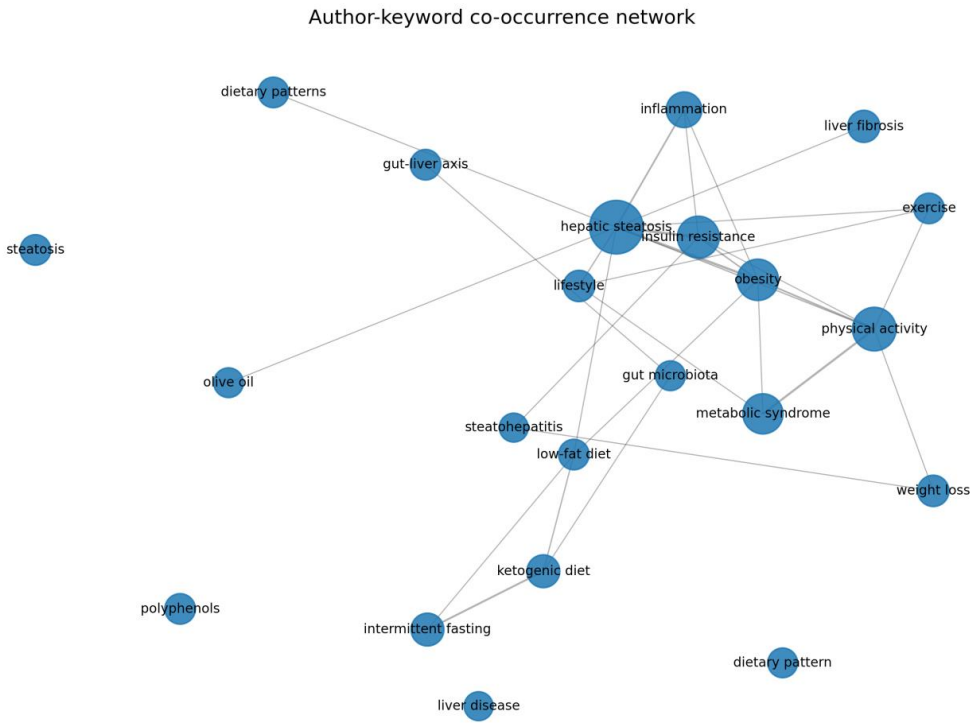


Figure 4. Co-occurrence network of frequent author keywords. Defining labels (Mediterranean diet, NAFLD, MAFLD, MASLD, NASH/MASH) were omitted to improve thematic readability.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This focused bibliometric analysis shows that Mediterranean-diet research in steatotic liver disease has moved from a relatively small clinical niche to a sustained international research area. The rapid rise after 2020 coincides with greater clinical attention to lifestyle intervention, improved non-invasive assessment of hepatic fat, and increasing recognition of steatotic liver disease as a cardiometabolic disorder. The strong citation performance of early lifestyle reviews and randomized dietary studies suggests that the field has been shaped by a relatively small group of foundational papers that connected diet composition with measurable liver and metabolic outcomes.

The geographic distribution is notable. Italy and Spain together accounted for more than half of the country-level publication credits, which is unsurprising given the historical roots of the Mediterranean dietary pattern and the presence of established nutrition and hepatology research networks in Southern Europe. Nevertheless, approximately one third of the corpus involved international collaboration, and substantial output from the United States and Australia indicates that the Mediterranean diet is now treated as a transferable dietary model rather than a regionally confined cultural pattern. This internationalization is clinically relevant because adherence instruments, food availability, baseline dietary habits, and cultural adaptation can materially affect intervention fidelity and external validity.

The thematic findings also indicate a broadening of the research question. Early clinical work focused heavily on hepatic steatosis, weight loss, and insulin resistance. Ryan et al. (2013) provided influential evidence that liver fat and insulin sensitivity could improve with a Mediterranean diet even without substantial weight loss, while subsequent trials compared Mediterranean approaches with low-fat diets and assessed longer-term changes in hepatic fat (Properzi et al., 2018). The green-Mediterranean DIRECT PLUS trial further expanded interest toward diet composition, plant-derived components, and reductions in intrahepatic fat (Yaskolka Meir et al., 2021). Meta-analytic evidence has supported beneficial effects on steatosis-related indices and insulin resistance, although heterogeneity in intervention design and outcome measurement remains important (Kawaguchi et al., 2021).

More recent keywords point toward integrated lifestyle and mechanistic research. Physical activity, lifestyle, gut microbiota, the gut-liver axis, fibrosis, and intermittent fasting now occur alongside the Mediterranean diet rather than as separate research domains. This evolution is consistent with current MASLD guidance, which conceptualizes treatment as a multimodal cardiometabolic strategy rather than a single nutrient intervention (European Association for the Study of the Liver et al., 2024). The emerging prominence of fibrosis is particularly important because fibrosis stage is a major determinant of liver-related prognosis, whereas the increasing visibility of gut-liver axis terminology reflects a shift toward mechanistic explanations for how dietary patterns may influence hepatic inflammation and metabolism.

The nomenclature analysis provides a second major finding. The literature was almost entirely indexed under NAFLD/NASH before 2023, followed by a brief MAFLD transition and rapid uptake of MASLD/MASH after the multisociety nomenclature change. However, the new terminology has not simply replaced the old labels: both frequently coexist within the same records. This overlap is expected during a transition period, but it has practical implications for evidence retrieval. Searches limited to MASLD alone will systematically miss most of the foundational Mediterranean-diet evidence generated under NAFLD terminology. Future reviews and bibliometric studies should therefore continue to combine legacy and contemporary disease labels for several years.

The present study is deliberately narrower than the broad diet-NAFLD bibliometric analysis by Shakhshir and Zyoud (2024). That broader work identified 1,905 publications and emphasized dietary interventions and inflammation/oxidative stress. By focusing on the Mediterranean diet and including the NAFLD-to-MASLD nomenclature transition, the current analysis reveals a different geographic pattern dominated by Italy and Spain and makes the terminology shift visible as a research phenomenon in its own right. This narrower scope is more suitable for examining the maturation of one clinically important dietary pattern rather than the entire nutrition literature.

Several limitations should be considered. First, only the Web of Science Core Collection was used; Scopus, PubMed, and other databases may contain additional records. Second, a focused relevance screen was applied to improve specificity, and this may have excluded papers in which steatotic liver disease was important but not explicit in the title.

Third, citation counts favor older publications and should not be equated with methodological quality. Fourth, author-keyword analyses depend on the terminology supplied by authors and on normalization decisions. Fifth, country productivity used full counting, so multinational papers contribute to more than one country. Finally, 2026 was incomplete at the extraction date, and its publication count should not be directly compared with complete calendar years.

Mediterranean-diet research in NAFLD and MASLD has expanded markedly over the past decade and now forms a recognizable international research domain. The field remains anchored in hepatic steatosis, insulin resistance, obesity, and weight-related outcomes, but more recent work increasingly integrates physical activity, lifestyle, gut-liver mechanisms, fibrosis, and alternative dietary strategies. Italy and Spain remain the principal publication centers, while international collaboration has broadened the geographic reach of the field. The rapid emergence of MASLD/MASH terminology after 2023 is clear, but persistent use of NAFLD/NASH demonstrates that the nomenclature transition is still incomplete. For literature retrieval and evidence synthesis, legacy and contemporary disease terms should therefore be used together. Future research would benefit from culturally adapted Mediterranean-diet interventions, standardized adherence assessment, longer follow-up, and liver-specific outcomes that extend beyond short-term changes in hepatic fat.

REFERENCES

Abenavoli, L., Di Renzo, L., Boccuto, L., Alwardat, N., Gratteri, S., & De Lorenzo, A. (2018). Health benefits of Mediterranean diet in nonalcoholic fatty liver disease. Expert Review of Gastroenterology & Hepatology, 12(9), 873-881. https://doi.org/10.1080/17474124.2018.1503947

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 133, 285-296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

European Association for the Study of the Liver, European Association for the Study of Diabetes, & European Association for the Study of Obesity. (2024). EASL-EASD-EASO Clinical Practice Guidelines on the management of metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease (MASLD). Journal of Hepatology, 81(3), 492-542. https://doi.org/10.1016/j.jhep.2024.04.031

Kanwal, F., Neuschwander-Tetri, B. A., Loomba, R., & Rinella, M. E. (2024). Metabolic dysfunction-associated steatotic liver disease: Update and impact of new nomenclature on the American Association for the Study of Liver Diseases practice guidance on nonalcoholic fatty liver disease. Hepatology, 79(5), 1212-1219. https://doi.org/10.1097/HEP.0000000000000670

Kawaguchi, T., Charlton, M., Kawaguchi, A., Yamamura, S., Nakano, D., Tsutsumi, T., Zafer, M., &Torimura, T. (2021). Effects of Mediterranean diet in patients with nonalcoholic fatty liver disease: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression analysis of randomized controlled trials. Seminars in Liver Disease, 41(3), 225-234. https://doi.org/10.1055/s-0041-1723751

Properzi, C., O'Sullivan, T. A., Sherriff, J. L., Ching, H. L., Jeffrey, G. P., Buckley, R. F., Tibballs, J., MacQuillan, G. C., Garas, G., & Adams, L. A. (2018). Ad libitum Mediterranean and low-fat diets both significantly reduce hepatic steatosis: A randomized controlled trial. Hepatology, 68(5), 1741-1754. https://doi.org/10.1002/hep.30076

Romero-Gómez, M., Zelber-Sagi, S., & Trenell, M. (2017). Treatment of NAFLD with diet, physical activity and exercise. Journal of Hepatology, 67(4), 829-846. https://doi.org/10.1016/j.jhep.2017.05.016

Ryan, M. C., Itsiopoulos, C., Thodis, T., Ward, G., Trost, N., Hofferberth, S., O'Dea, K., Desmond, P. V., Johnson, N. A., & Wilson, A. M. (2013). The Mediterranean diet improves hepatic steatosis and insulin sensitivity in individuals with non-alcoholic fatty liver disease. Journal of Hepatology, 59(1), 138-143. https://doi.org/10.1016/j.jhep.2013.02.012

Shakhshir, M., &Zyoud, S. H. (2024). Mapping global research trends: Nutrition associations with nonalcoholic fatty liver disease - A Scopus bibliometric analysis. World Journal of Gastroenterology, 30(24), 3106-3119. https://doi.org/10.3748/wjg.v30.i24.3106

Yaskolka Meir, A., Rinott, E., Tsaban, G., Zelicha, H., Kaplan, A., Rosen, P., Shelef, I., Youngster, I., Shalev, A., Blüher, M., Ceglarek, U., Stumvoll, M., Tuohy, K., Diotallevi, C., Vrhovsek, U., Hu, F., Stampfer, M., & Shai, I. (2021). Effect of green-Mediterranean diet on intrahepatic fat: The DIRECT PLUS randomised controlled trial. Gut, 70(11), 2085-2095. https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-323106

Zelber-Sagi, S., Salomone, F., &Mlynarsky, L. (2017). The Mediterranean dietary pattern as the diet of choice for non-alcoholic fatty liver disease: Evidence and plausible mechanisms. Liver International, 37(7), 936-949. https://doi.org/10.1111/liv.13435

MICROBIAL RISK ASSESSMENT: CONVENTIONAL APPROACHES VS. MACHINE LEARNING AND THEIR IMPACT ON PREDICTIVE MICROBIOLOGY A COMPREHENSIVE NARRATIVE REVIEW

MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİ: GELENEKSEL YAKLAŞIMLAR VS. MAKINE ÖĞRENIMI VE BUNLARIN TAHMINE DAYALI MIKROBIYOLOJI ÜZERINDEKI ETKISI

Gökçe Deniz ACAR
ASELSANNET, Research & Development Department, Ankara, Turkiye,
ORCİD: ID/0009-0004-0036-9243,

Burak ERSEN
ASELSANNET, Research & Development Department, Ankara, Turkiye,
ORCİD: ID/0009-0003-9951-9186,

Ahmet KOLUMAN
Pamukkale University, Faculty of Technology, Department of Biomedical Engineering, Denizli, Türkiye,
ORCİD: ID/0000-0001-5308-8884

ABSTRACT

Microbial risk assessment (MRA) constitutes a systematic, science-based framework designed to estimate the probability and magnitude of adverse health effects arising from exposure to biological hazards. Conventionally structured around the four-stage paradigm of hazard identification, hazard characterisation, exposure assessment, and risk characterisation, MRA has served as the principal instrument for informing regulatory decisions in food safety, water quality, and environmental health over several decades. Predictive microbiology, which seeks to describe and forecast the behaviour of microorganisms in foods and other matrices under defined environmental conditions, has historically provided the quantitative underpinning for the exposure assessment tier of this framework through mechanistic growth, survival, and inactivation models.

The emergence of machine learning (ML) technologies has, however, impacted this paradigm. Algorithms including artificial neural networks (ANNs), support vector machines (SVMs), random forests (RFs), gradient boosting machines (GBMs), and deep learning architectures offer data-driven alternatives—and increasingly complementary tools—capable of capturing complex, nonlinear relationships among microbial, physicochemical, and environmental variables without requiring explicit mathematical specification of underlying mechanisms. This review provides a comprehensive comparative analysis of conventional and ML-based approaches to MRA and predictive microbiology, examining their theoretical foundations, empirical performance, interpretability, data requirements, and regulatory acceptance. Critical differences in model transparency, extrapolation behaviour, and uncertainty quantification are evaluated. Integration strategies that harness the mechanistic rigour of classical models alongside the representational flexibility of ML are discussed in detail. Finally, outstanding challenges—including data scarcity, model validation, and interpretability—as well as future perspectives involving hybrid mechanistic–ML models, physics-informed learning, Bayesian approaches, explainable AI, and adaptive learning strategies are outlined.

We conclude that hybrid mechanistic–ML frameworks, rather than full replacement of conventional methods, currently offer the most scientifically defensible path for advancing MRA and predictive microbiology.

Keywords: Quantitative microbial risk assessment, Predictive microbiology, Machine Learning, Artificial neural networks, Dose-response modelling, Food safety, Pathogen growth modelling**.**

ÖZET

Mikrobiyal risk değerlendirmesi (MRD), biyolojik tehlikelere maruziyet sonucunda ortaya çıkabilecek olumsuz sağlık etkilerinin olasılığını ve büyüklüğünü tahmin etmeye yönelik sistematik ve bilimsel temellere dayanan bir çerçevedir.

Geleneksel olarak tehlikenin tanımlanması, tehlikenin karakterizasyonu, maruziyet değerlendirmesi ve risk karakterizasyonu olmak üzere dört temel aşamadan oluşan bu yaklaşım, uzun yıllardır gıda güvenliği, su kalitesi ve çevre sağlığı alanlarında düzenleyici karar alma süreçlerinin temel araçlarından biri olarak kullanılmaktadır. Belirli çevresel koşullar altında gıda ve diğer ortamlarda mikroorganizmaların davranışlarını tanımlamayı ve öngörmeyi amaçlayan tahmine dayalı mikrobiyoloji ise, büyüme, yaşamını sürdürme ve inaktivasyon süreçlerini açıklayan mekanistik modeller aracılığıyla, bu çerçevenin maruziyet değerlendirmesi basamağına nicel temel sağlamıştır.
Bununla birlikte, makine öğrenmesi (MÖ) teknolojilerinin gelişimi bu geleneksel yaklaşımda önemli değişimlere yol açmıştır. Yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makineleri (DVM), rastgele ormanlar (RO), gradyan artırma makineleri (GAM) ve derin öğrenme mimarileri gibi algoritmalar, altta yatan mekanizmaların açık matematiksel olarak tanımlanmasını gerektirmeksizin; mikrobiyal, fizikokimyasal ve çevresel değişkenler arasındaki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri ortaya koyabilen veri odaklı alternatifler ve giderek tamamlayıcı araçlar sunmaktadır. Bu derleme, mikrobiyal risk değerlendirmesi ve tahmine dayalı mikrobiyoloji alanlarında kullanılan geleneksel ve makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımları; kuramsal temelleri, ampirik performansları, yorumlanabilirlikleri, veri gereksinimleri ve düzenleyici kabul düzeyleri açısından kapsamlı ve karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Ayrıca model şeffaflığı, ekstrapolasyon davranışı ve belirsizliklerin nicelendirilmesi bakımından iki yaklaşım arasındaki temel farklılıklar değerlendirilmektedir. Klasik modellerin mekanistik sağlamlığını, makine öğrenmesinin temsil gücü ve esnekliğiyle birleştiren bütünleşik modelleme stratejileri ayrıntılı olarak tartışılmaktadır. Son olarak; veri yetersizliği, model doğrulama ve yorumlanabilirlik gibi mevcut zorlukların yanı sıra hibrit mekanistik–makine öğrenmesi modelleri, fizik bilgisiyle yönlendirilen öğrenme (physics-informed learning), Bayesyen yaklaşımlar, açıklanabilir yapay zekâ ve uyarlanabilir öğrenme stratejileri gibi geleceğe yönelik araştırma alanları ele alınmaktadır.
Sonuç olarak, geleneksel yöntemlerin tamamen yerini alacak yaklaşımlar yerine, mekanistik modeller ile makine öğrenmesini birleştiren hibrit çerçevelerin, mikrobiyal risk değerlendirmesi ve tahmine dayalı mikrobiyoloji alanlarının geliştirilmesi açısından günümüzde bilimsel olarak en güçlü ve savunulabilir yaklaşımı sunduğu değerlendirilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Kantitatif mikrobiyal risk değerlendirmesi, Tahmine dayalı mikrobiyoloji, Makine öğrenmesi, Yapay sinir ağları, Doz-tepki modellemesi, Gıda güvenliği, Patojen büyüme modellemesi

1. GİRİŞ

Gıda, su ve çevre sistemlerindeki mikrobiyal tehlikelerin kontrolü, halk sağlığının temel sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) küresel tahminlerine göre, kontamine gıdaların tüketimi her yıl yaklaşık 600 milyon hastalık vakasına ve 420.000 ölüme yol açmaktadır; yük özellikle beş yaşın altındaki çocuklar ve düşük gelirli bölgelerde yoğunlaşmaktadır (World Health Organization 2015). Bu yükün azaltılmasına yönelik bilimsel ve düzenleyici yaklaşımlarda kantitatif mikrobiyal risk değerlendirmesi (QMRA), patojenlerin ortaya çıkışından maruziyete ve enfeksiyon riskine kadar olan süreçlerin olasılıksal olarak değerlendirilmesini sağlayan temel bir çerçeve haline gelmiştir (Haas vd., 2014). QMRA'nın gelişimiyle paralel olarak tahmine dayalı mikrobiyoloji, mikrobiyal büyüme, hayatta kalma ve inaktivasyonun çevresel koşullara bağlı olarak modellenmesine yönelik matematiksel bir yaklaşım olarak gelişmiştir (McMeekin vd., 1993; Ross & McMeekin, 1994). Bu çerçevede birincil modeller mikrobiyal popülasyonun zaman içindeki değişimini, ikincil modeller ise bu davranışın sıcaklık, pH ve su aktivitesi gibi çevresel değişkenlerle ilişkisini tanımlar. Özellikle Gompertz ve benzeri sigmoidal modeller, mikrobiyal büyüme eğrilerinin nicel olarak tanımlanmasında temel yaklaşımlar arasında yer almıştır (Zwietering vd., 1990). Tahmine dayalı mikrobiyolojiye ilişkin yazılım ve karar destek araçlarının geliştirilmesi de bu modellerin araştırma ve gıda endüstrisindeki kullanımını kolaylaştırmıştır (Tenenhaus-Aziza & Ellouze, 2015).
Bununla birlikte, geleneksel modelleme yaklaşımlarının önemli sınırlılıkları bulunmaktadır. Mekanistik ve ampirik modeller, deneysel olarak yeterince karakterize edilmemiş karmaşık etkileşimleri veya suşlar ve hücreler arasındaki heterojenliği tam olarak temsil etmekte zorlanabilir. Benzer şekilde, QMRA'nın farklı aşamalarındaki parametreler çoğu zaman sınırlı veya heterojen verilerden tahmin edilmekte ve bu durum model sonuçlarında belirsizliğe yol açmaktadır (Haas vd., 2014).

Doz-yanıt modellerinde ise özellikle insan verilerinin sınırlı olduğu durumlarda farklı kaynaklardan elde edilen verilerin birleştirilmesi ek belirsizlikler doğurabilmektedir. Dolayısıyla temel sorun, geleneksel QMRA ve tahmine dayalı mikrobiyolojinin yerini tamamen alacak tek bir yöntemin geliştirilmesinden ziyade, mevcut mekanistik ve olasılıksal çerçevelerin daha yüksek boyutlu, heterojen ve dinamik verilerle nasıl desteklenebileceğidir.

Bu bağlamda makine öğrenimi (ML), tahmine dayalı mikrobiyoloji ve mikrobiyal risk analizine tamamlayıcı bir yaklaşım olarak giderek daha fazla ilgi görmektedir. Yapay sinir ağları, mikrobiyal büyüme modellemesi ve büyüme/büyümeme sınıflandırması gibi problemlerde kullanılan ilk veri odaklı yöntemler arasında yer alırken (Jeyamkondan vd., 2001; Hajmeer & Basheer, 2002; Yu vd., 2006), sonraki çalışmalar rastgele ormanlar, destek vektör makineleri, gradyan artırma yöntemleri ve derin öğrenme gibi daha gelişmiş algoritmaları patojen büyümesi ve hayatta kalması, gıda bozulması ve mikrobiyal sınıflandırma gibi problemlere uygulamıştır.

ML'nin tahmine dayalı mikrobiyolojideki yaygın kullanımına karşın, ML çıktılarının doğrudan QMRA'nın maruziyet, tehlike karakterizasyonu veya risk tahmini aşamalarına entegre edilmesine ilişkin metodolojik çerçeve litearütde daha az gelişmiştir. Bu entegrasyon; model yorumlanabilirliği, dış doğrulama, belirsizliklerin temsil edilmesi, veri setleri arasındaki dağılım farklılıkları ve düzenleyici açıdan savunulabilirlik gibi konuları gündeme getirmektedir.

Bu nedenle ML'nin QMRA'daki rolünün, geleneksel mekanistik ve olasılıksal modellerin basit bir alternatifi olarak değil, yüksek boyutlu verilerden bilgi çıkarma, heterojenliği temsil etme, maruziyet tahminlerini geliştirme ve dinamik karar süreçlerini destekleme kapasitesi üzerinden değerlendirilmesi daha uygun görülebilir. Bu derleme, geleneksel QMRA ve tahmine dayalı mikrobiyoloji yaklaşımları ile ML tabanlı yöntemleri karşılaştırmalı olarak ele almakta; ML'nin mevcut yöntemleri tamamlayabileceği alanları, metodolojik sınırlılıklarını ve gelecekteki entegrasyon olanaklarını değerlendirmektedir.

2. MEWORK GELENEKSEL MİKROBİYAL RİSK DEĞERLENDİRMESİNİN TEMELLERİ

2.1 Dört Aşamalı Kantitatif Mikrobiyal Risk Değerlendirmesi Paradigması

QMRA'nın resmi bir bilimsel disiplin olarak kodlanması, 1980'lerde Ulusal Bilimler Akademisi'nin (NAS) çalışmalarından ortaya çıkmış, daha sonra Codex Alimentarius Komisyonu tarafından biyolojik ajanlara uyarlanmış ve Haas vd. (2014) tarafından dönüm noktası niteliğindeki metinlerde resmileştirilmiştir. Çerçeve, birbirine bağımlı dört aşamadan oluşmaktadır: (i) tehlike tanımlama, (ii) tehlike karakterizasyonu (doz-yanıt modellemesini kapsayan), (iii) maruziyet değerlendirmesi ve (iv) risk karakterizasyonu. Her aşama, nihai risk tahminine kadar yayılan belirli nicel girdiler, varsayımlar ve belirsizlik kaynakları sunar.

2.1.1 Tehlike Tanımlama

Tehlike tanımlama, belirli bir biyolojik ajanın (bakteri, virüs, parazit veya prion) belirli maruziyet koşulları altında olumsuz sağlık etkilerine neden olup olamayacağının belirlenmesi işlemidir. Bu aşama, epidemiyolojik gözetim verilerinden, salgın araştırmalarından, zorlu çalışmalardan ve klinik ve çevresel literatürün sistematik incelemelerinden yararlanır (Lammerding & Fazil, 2000). Bu aşamada oluşturulan nitel yargılar, takip eden nicel analizin kapsamını tanımlar ve böylece tüm risk değerlendirmesi üzerinde temel bir etki yaratır.

2.1.2 Tehlike Karakterizasyonu ve Doz-Yanıt Modellemesi

Tehlike karakterizasyonu veya doz-yanıt değerlendirmesi, duyarlı bir konakçı tarafından alınan bir patojenin dozu ile belirli bir sağlık sonucu (tipik olarak enfeksiyon, hastalık veya ölüm) olasılığı arasında nicel bir ilişki kurmayı amaçlar. Bu ilişkinin matematiksel gösterimi, QMRA'nın teknik olarak en zorlu bileşenlerinden birini oluşturur. Literatürde üç ana model ailesi hakim olmuştur: üstel model, beta-Poisson modeli ve yaklaşık beta-Poisson modeli. Üstel model, tek bir organizmanın enfeksiyon başlatma olasılığının sabit bir r olduğunu varsayar ve doz d için $P(\text{enfeksiyon}) = 1 - \exp(-r \cdot d)$ sonucunu verir. Beta-Poisson modeli, konak duyarlılığındaki bireyler arası değişkenliği ve enfektivitedeki organizmalar arası değişkenliği $P(\text{enfeksiyon}) = 1 - (1 + d/\beta)^{(-\alpha)}$ ilişkisiyle hesaba katar; burada α ve β dağılım parametreleridir (Haas vd., 2014).

Coleman ve Marks (1998), doz-yanıt modeli seçiminin kapsamlı bir değerlendirmesini sunarak, uyum prosedürlerinin, uyum iyiliği kriterlerinin ve parametre tahminlerinin biyolojik olarak makul olmasının önemini vurgulamıştır. Buchanan vd. (2000) daha sonra model seçiminin risk karakterizasyon sonuçları üzerindeki derin etkilerini vurgulayarak, üstel ve beta-Poisson modellerinin düşük dozlarda önemli ölçüde farklılık gösterebileceğini ortaya koymuştur; bu da içme suyu ve minimum düzeyde işlenmiş gıda güvenliği uygulamaları için en büyük öneme sahip doz aralığıdır.

2.1.3 Maruz Kalma Değerlendirmesi

Maruz kalma değerlendirmesi, çiftlikten sofraya kadar olan süreçte ilgili patojene insan maruziyetinin sıklığını ve büyüklüğünü tahmin etmeyi amaçlar. Bu aşama, ilk kontaminasyon yaygınlığı ve konsantrasyonu, işleme ve dağıtım sırasında patojen büyümesi ve inaktivasyonu, çapraz kontaminasyon dinamikleri ve tüketici davranışı hakkındaki verileri entegre eder (den Aantrekker vd., 2003). Bu süreçlerin nicel işlenmesi, gıda zinciri boyunca karşılaşılan fiziksel ve kimyasal koşullar altında mikrobiyal popülasyonların nasıl evrimleştiğini tanımlamak için büyük ölçüde tahmine dayalı mikrobiyoloji modellerine dayanmaktadır.

Maruziyet değerlendirmesindeki doğal değişkenlik ve belirsizlik, girdi değişkenlerinin dağılımlarını model boyunca yaymak ve maruziyet dozunun çıktı dağılımlarını üretmek için en yaygın olarak Monte Carlo simülasyonu olmak üzere olasılıksal yaklaşımların benimsenmesine yol açmıştır (Vose, 2008). Değişkenlik (prensip olarak ek bilgilerle azaltılamayan doğal heterojenlik) ve belirsizlik (bilgi sınırlamalarından kaynaklanan kesin olmama) arasındaki ayrım, risk yönetimi yorumlaması için önemli sonuçlar doğuran, maruziyet değerlendirmesinde tekrar eden bir metodolojik temadır (Nauta, 2000).

2.1.4 Risk Karakterizasyonu

Risk karakterizasyonu, tanımlanmış popülasyonlarda olumsuz sağlık sonuçlarının görülme sıklığı veya olasılığının tahminlerini üretmek için doz-yanıt modellemesi ve maruziyet değerlendirmesinin çıktılarını entegre eder. Nokta tahminleri, dağılımlar ve duyarlılık analizleri bu aşamanın standart çıktılarıdır. Çıktılar, yalnızca merkezi tahminleri değil, aynı zamanda belirsizliğin kapsamını ve baskın kaynaklarını da ileterek risk yönetimi kararlarını desteklemeyi amaçlamaktadır (Membré & Boué, 2018). Analitik ve simülasyon tabanlı risk karakterizasyon yöntemleri arasındaki ayrım ve modelleme tercihlerinin risk tahminlerinin duyarlılığı ve özgüllüğü üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Lammerding & Fazil, 2000; Nauta, 2000).

2.2 Tahmine Dayalı Mikrobiyoloji: Mekanistik Modelleme Çerçevesi

Tahmine dayalı mikrobiyoloji, mikrobiyal davranışın (esas olarak büyüme, hayatta kalma ve inaktivasyon) çevresel koşullara bağlı olarak nicel tanımını kapsar (McMeekin vd., 1993). Alan geleneksel olarak bir model seviyesi hiyerarşisi etrafında yapılandırılmıştır: birincil modeller mikrobiyal popülasyonların zaman içindeki seyrini tanımlar; ikincil modeller birincil model parametrelerini çevresel değişkenlerle ilişkilendirir; üçüncül araçlar ikincil modelleri erişilebilir yazılım platformlarında uygular.

2.2.1 Birincil Büyüme Modelleri

Birincil modeller, gecikme fazını, üstel (logaritmik) fazı ve durağan fazı kapsayan sigmoid büyüme eğrisini karakterize eder. Gibson vd. (1987) tarafından tahmine dayalı mikrobiyolojiye tanıtılan modifiye Gompertz denklemi, yaygın olarak benimsenen ilk birincil büyüme modelleri arasındaydı. Bununla birlikte, lojistik ve Gompertz denklemleri temelde ampiriktir ve parametrelerinin net bir biyolojik yorumundan yoksundur.

Baranyi-Roberts modeli (Baranyi & Roberts, 1994), hücrenin fizyolojik durumunu ve yeni bir ortama adaptasyonunu temsil eden uyum kapasitesi kavramına dayanan mekanik bir formülasyon aracılığıyla bu sınırlamayı ele almıştır. Model, parametreleri -maksimum özgül büyüme hızı μmax, gecikme fazı süresi λ, başlangıç ve son hücre sayıları- biyolojik terimlerle doğrudan yorumlanabilen bir adi diferansiyel denklem sistemi tanımlar. Bu model, tahmine dayalı mikrobiyolojide kanonik bir statüye ulaşmıştır ve ComBase Predictor platformunda (Tenenhaus-Aziza & Ellouze, 2015) varsayılan büyüme modeli olarak hizmet vermektedir.

İnaktivasyon modelleri, ısı, ışınlama, yüksek basınç veya kimyasal müdahale gibi öldürücü işlemler sırasında canlı hücre sayılarındaki azalmayı tanımlar. $log(N/N_0) = -k \cdot t$ olarak ifade edilen klasik birinci dereceden kinetik model, sabit bir inaktivasyon hızı k varsayar. Mafart vd. (2002) tarafından önerilen

Weibull modeli, bunu $log(N/N_0) = -(t/\delta)^p$ şeklinde genelleştirir; burada δ, ilk ondalık azalma için geçen süre ve p, yukarı doğru konkav (kuyruk), doğrusal veya aşağı doğru konkav (omuz) hayatta kalma eğrilerini yakalayan bir şekil parametresidir. Weibull modeli, doğrusal log-doğrusal modele göre deneysel olarak gözlemlenen hayatta kalma eğrilerine uyumu önemli ölçüde iyileştirmiştir (Geeraerd vd., 2000).

2.2.2 İkincil Modeller

İkincil modeller, birincil model parametrelerinin—çoğunlukla μmax ve λ—sıcaklık, su aktivitesi (aw), pH ve antimikrobiyal konsantrasyonlar dahil olmak üzere çevresel değişkenlere bağımlılığını tanımlar. Büyüme hızının karekökünü sıcaklıkla ilişkilendiren Ratkowsky karekök modeli (Ratkowsky vd., 1982), biyokinetik aralıkta $\sqrt{\mu max}$ ile sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki gösteren öncü bir katkı olmuştur. Bu modelin genişletilmiş versiyonları, optimum altı ve optimum üstü sıcaklıkları ve ek çevresel faktörleri içermektedir.

Polinom yanıt yüzey modelleri, mikrobiyal kinetik parametreleri birden fazla çevresel değişkenin sürekli fonksiyonları olarak temsil eder ve tahmine dayalı mikrobiyolojide kullanılan ilk ampirik yaklaşımlar arasındaydı (Buchanan & Phillips, 1990). Hesaplama açısından uygulanabilir olmalarına rağmen, ampirik yapıları deneysel alanın ötesine güvenilir ekstrapolasyonu sınırlarken, daha yüksek dereceli etkileşimler model karmaşıklığını ve veri gereksinimlerini önemli ölçüde artırır. Zwietering vd. (1992) tarafından önerilen gama kavramı, bireysel çevresel faktörlerin etkilerinin çarpımsal olarak birleşen boyutsuz terimlerle temsil edildiği yarı mekanistik bir alternatif sunar. Minimum, optimum ve maksimum büyüme koşullarına dayalı kardinal parametre fonksiyonları daha sonra bu çerçeveye dahil edilmiştir (Rosso vd., 1995).

2.2.3 Üçüncül Araçlar ve Yazılım Platformları

Üçüncül tahmine dayalı mikrobiyoloji araçları, birincil ve ikincil modelleri gıda bilimcileri, düzenleyiciler ve risk değerlendiricileri tarafından kullanılmak üzere erişilebilir hesaplama platformlarına entegre eder. ComBase, mikrobiyal büyüme, hayatta kalma ve inaktivasyona ilişkin 60.000'den fazla kaydı içeren geniş kapsamlı bir veri tabanı olup, bu verilere dayalı tahmin ve modelleme araçları da sunmaktadır (Tenenhaus-Aziza & Ellouze, 2015). USDA Tarım Araştırma Servisi tarafından geliştirilen Patojen Modelleme Programı (PMP), çeşitli çevresel koşullar altında gıda kaynaklı patojenler için modeller sunar. Deniz Ürünleri Bozulma ve Güvenlik Tahmincisi (SSSP), su ürünleri uygulamalarına özel olarak tasarlanmıştır. Bu araçlar, tahmine dayalı modellerin gıda güvenliği yönetim sistemlerine ve QMRA çalışmalarına entegre edilmesinin teknik engellerini önemli ölçüde azaltmıştır (Perez-Rodriguez & Valero, 2012).

3. TAHMİNE DAYALI MIKROBİYOLOJIDE MAKİNE ÖĞRENMESİ ALGORİTMALARI

Makine öğrenimi (ML), belirli bir görev üzerindeki performanslarını açıkça programlanmış karar kuralları yerine verilere maruz kalma yoluyla iyileştiren algoritmalarla ilgilenen yapay zekanın bir alt alanıdır (Mitchell, 1997). Mikrobiyal risk değerlendirmesinde (MRA), ML yöntemleri, mikrobiyal büyüme ve hayatta kalma tahmini, büyüme var/yok sınıflandırması, patojen tespiti, kontaminasyon modellemesi, kaynak atfı ve genomik veya çevresel izleme verilerinin analizi gibi uygulamalar aracılığıyla tehlike tanımlama, tehlike karakterizasyonu, maruz kalma değerlendirmesi ve risk karakterizasyonunu destekleyebilir.

ML yaklaşımları genellikle model eğitimi sırasında kullanılan öğrenme sinyaline göre sınıflandırılır. Denetimli öğrenme, etiketli girdi-çıktı gözlemlerini kullanır, denetimsiz öğrenme etiketlenmemiş verilerdeki gizli yapıları tanımlar, yarı denetimli öğrenme etiketli ve etiketlenmemiş gözlemleri birleştirir ve pekiştirmeli öğrenme, ödül geri bildirimi kullanarak sıralı eylemleri optimize eder (Chapelle vd., 2006; Sutton & Barto, 2018).

Bu sınıflandırma, klasik makine öğrenimi ve derin öğrenme arasındaki ayrımdan ayırt edilmelidir. Klasik makine öğrenimi, destek vektör makineleri, karar ağaçları, rastgele ormanlar, gradyan artırma, kümeleme yöntemleri ve nispeten sığ yapay sinir ağları gibi algoritmaları içerir. Bu yaklaşımlar genellikle önceden tanımlanmış tahmin değişkenleri veya manuel olarak çıkarılan özellikler üzerinde çalışır. Derin öğrenme, hiyerarşik temsilleri doğrudan ham veya minimum düzeyde işlenmiş verilerden öğrenmek için çok katmanlı sinir ağlarını kullanır ve evrişimsel sinir ağları, tekrarlayan sinir ağları, otoenkoderler ve transformatör tabanlı mimarileri içerir (LeCun vd., 2015).

Derin öğrenme ayrı bir öğrenme paradigması değildir: derin modeller, denetimli, denetimsiz, yarı denetimli, kendi kendine denetimli veya pekiştirmeli öğrenme hedefleri kullanılarak eğitilebilir.
Aktarım öğrenmesi ve alan uyarlaması da benzer şekilde ayrı öğrenme paradigmaları yerine eğitim stratejileri olarak değerlendirilmelidir. Bunlar, bir görevden veya veri alanından edinilen bilginin başka bir ilgili uygulama için yeniden kullanılmasını veya uyarlanmasını sağlar (Pan & Yang, 2009).

3.1 Denetimli Öğrenme Algoritmaları

Denetimli öğrenme algoritmaları, tahmin değişkenleri ile bilinen hedef değerler arasındaki ilişkiyi öğrenir. Regresyon algoritmaları, mikrobiyal konsantrasyon veya büyüme hızı gibi sürekli sonuçları tahmin ederken, sınıflandırma algoritmaları büyüme var/yok, patojen kimliği, kontaminasyon durumu veya klinik sonuç kategorisi gibi ayrık sonuçları tahmin eder.

3.1.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), ağırlıklı girdileri doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları aracılığıyla dönüştüren birbirine bağlı hesaplama birimlerinden oluşur. Bu incelemede, bir veya sınırlı sayıda gizli katman içeren erken ileri beslemeli ağlar klasik veya sığ YSA'lar olarak ele alınırken, önemli ölçüde daha derin mimariler derin öğrenme kapsamında değerlendirilmektedir.
YSA'lar, mikrobiyal tepkiler ile sıcaklık, pH, su aktivitesi, tuz konsantrasyonu ve koruyucu konsantrasyonu gibi faktörler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri modellemek için tahmine dayalı mikrobiyolojide kullanılmıştır. Örneğin Jeyamkondan ve arkadaşları (2001), farklı çevresel koşullar altında mikrobiyal büyüme parametrelerini tahmin etmek için sinir ağlarını kullanırken, Hajmeer ve Basheer (2002), bakteriyel büyüme varlığı/yokluğu gözlemlerini sınıflandırmak için olasılıksal bir sinir ağı uyguladı.

3.1.2 Destek Vektör Makineleri ve Destek Vektör Regresyonu

Destek vektör makineleri (SVM'ler), sınıflar arasında mümkün olan en büyük marjla bir karar sınırı belirleyen denetimli algoritmalardır. Çekirdek fonksiyonları, gözlemleri örtük olarak daha yüksek boyutlu bir özellik uzayına eşleyerek SVM'lerin doğrusal olmayan ilişkileri temsil etmesine olanak tanır (Cortes & Vapnik, 1995). Destek vektör regresyonu (SVR), aynı prensibi sürekli yanıt tahminine genişletir.
Tahminsel mikrobiyolojide, SVM'ler ve SVR, mikrobiyal sınıflandırma ve popülasyon tahmini için kullanılmıştır. Örneğin, Tarlak ve Yücel (2023), çevresel ve ürünle ilgili değişkenleri kullanarak gıda ürünlerinde ve kültür ortamlarında *Pseudomonas spp.* popülasyonlarını tahmin etmek için SVR'yi diğer regresyon algoritmalarıyla birlikte değerlendirmiştir.

3.1.3 Karar Ağaçları ve Topluluk Yöntemleri: Rastgele Ormanlar ve Gradyan Artırma

Karar ağaçları, gözlemleri ardışık karar kuralları aracılığıyla giderek daha homojen gruplara ayırır. Rastgele ormanlar, bootstrap örnekleri ve tahmin değişkenlerinin rastgele alt kümeleri kullanılarak eğitilmiş birden fazla ağaçtan gelen tahminleri birleştirerek bireysel ağaçların kararsızlığını azaltır (Breiman, 2001b). Gradyan artırma algoritmaları, her yeni ağacın mevcut topluluk tarafından yapılan hataları düzeltmeye çalıştığı ardışık olarak ağaçlar oluşturur; XGBoost, bu yaklaşımın yaygın olarak kullanılan bir uygulamasıdır (Chen & Guestrin, 2016).
Ağaç tabanlı topluluk yöntemleri, mikrobiyal popülasyon tahmini, kontaminasyon sınıflandırması, risk faktörü tanımlaması ve genomik tehlike karakterizasyonu için kullanılmıştır. Hiura vd. (2021), farklı gıda kategorilerindeki *Listeria monocytogenes*'in yaşayabilir popülasyonlarını tahmin etmek için XGBoost'u kullanırken, Tarlak ve Yücel (2023), *Pseudomonas spp.* popülasyon tahmininde değerlendirilen çeşitli algoritmalar arasında en iyi performans gösteren modelin rastgele orman regresyonu olduğunu bulmuştur.
Ağaç tabanlı makine öğrenimi, genomik özellikleri sağlık sonuçlarıyla ilişkilendirmek için de kullanılmıştır. Njage, Henri ve diğerleri (2019), *Listeria monocytogenes* suşlarıyla ilişkili hastalık riskini tahmin etmek için makine öğrenimi yöntemlerini uygularken, Njage, Leekitcharoenphon ve Hald (2019), Shiga toksini üreten *Escherichia coli* ile ilişkili klinik sonuçları sınıflandırmak için genomik tahminciler kullanmıştır. Bu uygulamalar, MRA içinde suşa özgü tehlike karakterizasyonunu destekleyebilir.

3.1.4 Evrişimsel Sinir Ağları

Evrişimsel sinir ağları (CNN), yerel uzamsal veya spektral desenleri tanımlamak için paylaşılan filtreler uygulayan derin öğrenme mimarileridir. Özellikle görüntüler, hiperspektral veriler, mikroskopi ve diğer yapılandırılmış yüksek boyutlu girdiler için uygundurlar.

Mikrobiyal gıda güvenliği araştırmalarında, CNN'ler esas olarak hızlı patojen tespiti ve sınıflandırması için uygulanmıştır. Kang vd. (2020), gıda kaynaklı bakterileri hücre düzeyinde sınıflandırmak için hiperspektral mikroskop görüntülemeyi CNN tabanlı mimarilerle birleştirdi. Bu tür modeller, daha sonra tehlike tanımlama ve maruz kalma değerlendirmesini destekleyebilecek patojen oluşumu veya konsantrasyon bilgisi üretebilir.

3.1.5 Tekrarlayan Sinir Ağları, LSTM'ler ve GRU'lar

Tekrarlayan sinir ağları (RNN), önceki zaman noktalarından gelen bilgileri korurken ardışık gözlemleri işler. Uzun kısa süreli bellek (LSTM) ve kapılı tekrarlayan birim (GRU) ağları, daha uzun zamansal bağımlılıkların temsilini iyileştiren ve geleneksel RNN eğitim sorunlarını azaltan kapılama mekanizmaları sunar.

Bu mimariler, mikrobiyal büyüme, inaktivasyon, fermantasyon, bozulma ve çevresel izleme zaman serileri için potansiyel olarak yararlıdır. Örneğin, Saetae (2025), yoğurt fermantasyonu sırasında mikrobiyal büyümeyi tahmin etmek için hibrit bir çerçeve içinde LSTM modelleri kullandı. Bununla birlikte, LSTM ve GRU modellerinin tam QMRA çerçevelerinde doğrudan uygulamaları sınırlı kalmaktadır ve mevcut çalışmaların çoğu tahmine dayalı mikrobiyoloji veya süreç izlemeye odaklanmaktadır.

3.2 Denetimsiz Öğrenme Algoritmaları

Denetimsiz öğrenme algoritmaları, önceden tanımlanmış hedef etiketler olmadan gözlemleri analiz eder. Başlıca işlevleri arasında örüntü keşfi, örnek gruplama, boyut indirgeme, temsil öğrenimi ve anomali tespiti yer alır.

3.2.1 Kümeleme Algoritmaları

Kümeleme algoritmaları, gözlemleri benzerliklerine göre gruplara ayırır. K-ortalama kümeleme, gözlemleri önceden tanımlanmış sayıda kümeye atarken, hiyerarşik kümeleme gözlemleri kademeli olarak birleştirir veya ayırır ve ilişkilerini hiyerarşik bir yapı olarak temsil eder.

Tahminsel mikrobiyolojide, kümeleme mikrobiyal büyüme modellerini, gıda ürünlerini, patojen izolatlarını veya çevresel örnekleri gruplandırmak için kullanılabilir. Örneğin, Cao vd. (2020), *E. coli* büyüme eğrilerini zamansal benzerliklerine göre gruplandırmak için dinamik zaman bükme yöntemini hiyerarşik kümeleme ile birleştirdi.

3.2.2 Temel Bileşen Analizi

Temel bileşen analizi (PCA), ilişkili değişkenleri, toplam varyansın giderek azalan oranlarını açıklayan daha küçük bir ortogonal bileşen kümesine dönüştüren doğrusal bir boyut azaltma yöntemidir. PCA, yüksek boyutlu verileri görselleştirmek, çoklu doğrusal bağıntıyı azaltmak ve genomik, spektral, metabolomik veya çevresel değişkenleri sonraki modelleme için hazırlamak için yaygın olarak kullanılır.

Crotta vd. (2022), bu grupları gıda kaynaklı patojen risk sıralamasına entegre etmeden önce süt ürünleri arasındaki benzerlikleri belirlemek için temel bileşenler üzerinde hiyerarşik kümelemeyi kullandı. PCA'nın kendisi mikrobiyal risk tahmini üretmez, ancak karmaşık veri kümelerini basitleştirebilir ve risk önceliklendirmesiyle ilgili kalıpları ortaya çıkarabilir.

3.2.3 Otomatik Kodlayıcılar ve Varyasyonel Otomatik Kodlayıcılar

Otomatik kodlayıcılar (Autoencoders, AEs), girdileri daha düşük boyutlu veya kısıtlanmış bir gizli (latent) temsil üzerinden yeniden yapılandırmayı öğrenen sinir ağı mimarileridir. Varyasyonel otomatik kodlayıcılar (Variational Autoencoders, VAEs) ise bu yaklaşımı, gizli değişkenlerin olasılık dağılımlarını modelleyerek genişletir. Her iki yaklaşım da sınıf etiketlerine ihtiyaç duymadan veri temsilleri öğrenebildiğinden, denetimsiz temsil öğrenme yöntemleri olarak kullanılabilir.

Otomatik kodlayıcılar, mikrobiyal spektrumların boyutunu azaltmak ve daha sonraki patojen sınıflandırması için özellikler çıkarmak amacıyla uygulanmıştır. Örneğin, Li vd. (2022), *Listeria* türlerini MALDI-TOF kütle spektrumlarından ayırt etmek için gürültü giderici bir otomatik kodlayıcıyı SVM sınıflandırmasıyla birleştirmiştir.

Feng vd. (2022) de benzer şekilde, patojen tanımlama ve görselleştirme için metabolomik parmak izlerinden temsiller çıkarmak üzere VAE tabanlı bir çerçeve kullanmıştır. Bu çalışmalar, denetimsiz temsil öğreniminin tek bir analitik işlem hattı içinde denetimli bir sınıflandırıcıyla nasıl birleştirilebileceğini göstermektedir.

3.3 Yarı Denetimli Öğrenme Algoritmaları

Yarı denetimli öğrenme, nispeten küçük bir etiketli veri kümesini daha büyük bir etiketlenmemiş gözlem koleksiyonuyla birleştirir. Bu paradigma, özellikle gıda güvenliği araştırmaları için önemlidir çünkü laboratuvar onayı, mikrobiyal sayım, zorlu testler ve genomik karakterizasyon pahalıdır, oysa etiketlenmemiş spektral, görüntüleme, sensör veya süreç izleme verileri nispeten bol olabilir.

3.3.1 Kendi Kendine Eğitim (Self-Training) ve Sözde Etiketleme (Pseudo-Labelling)

Kendi kendine eğitim, etiketli gözlemlere uyarlanmış denetimli bir modelle başlar. Etiketlenmemiş örnekler için üretilen tahminler daha sonra geçici etiketler olarak ele alınır ve yeterince güvenilir tahminler eğitim veri kümesine eklenir. Sahte etiketleme aynı genel prensibi izler ve hem klasik makine öğrenimi hem de derin sinir ağları için uygulanabilir.

Zhang vd. (2022), *E. coli*'nin floresan tespiti de dahil olmak üzere spektroskopi tabanlı gıda güvenliği uygulamaları için kendi kendine eğitimi değerlendirdi. Çalışma, yarı denetimli öğrenmenin, rekabetçi sınıflandırma performansına ulaşmak için gereken deneysel olarak etiketlenmiş örnek sayısını azaltabileceğini gösterdi, ancak fayda yöntemler ve veri kümeleri arasında farklılık gösterebilir.

3.3.2 Grafik Tabanlı Etiket Yayılımı

Grafik tabanlı yarı denetimli yöntemler, gözlemleri benzerliklerine göre birbirine bağlı düğümler olarak temsil eder. Doğrulanan gözlemlerden gelen etiketler, benzer örneklerin benzer hedef sınıflara sahip olma olasılığının yüksek olduğu varsayımı altında, komşu etiketlenmemiş gözlemlere yayılır.

Zhang vd. (2022) ayrıca gıda güvenliği spektroskopisi için etiket yayılımını da değerlendirdi. Bu yöntem, patojen sınıflandırmasını desteklemek için hem etiketlenmiş hem de etiketlenmemiş gözlemlerin geometrik yapısını kullandı. Bununla birlikte, güvenilirliği, verilerin benzerlik yapısının gerçek mikrobiyolojik sınıflara karşılık gelip gelmediğine bağlıdır.

3.3.3 Derin Yarı Denetimli Öğrenme

Derin yarı denetimli yaklaşımlar, sinir ağı temsil öğrenimini sınırlı etiketli bilgilerle birleştirir. Yaygın stratejiler arasında tutarlılık düzenlemesi, öğretmen-öğrenci modelleri, derin sözde etiketleme, üretken modeller ve kendi kendine denetimli ön eğitimin ardından denetimli ince ayar eğitimi yer alır.

Örneğin, Sun ve Wang (2025), Raman spektrumlarından patojenik bakterilerin yarı denetimli tanımlanması için karşılaştırmalı bir temsil öğrenme çerçevesi geliştirmiştir. Model, etiketlenmemiş spektrumlardan temsiller öğrenmiş ve daha sonra sınırlı oranda etiketli gözlem kullanılarak ince ayar yapılmıştır. Bu tür yöntemler laboratuvar etiket gereksinimlerini azaltmak için umut verici olsa da, bunların resmi MRA'ya doğrudan entegrasyonu henüz erken bir aşamadadır.

3.4 Pekiştirmeli Öğrenme

Pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning/RL), bir ajanın bir ortamın durumunu gözlemlediği, bir eylem seçtiği, bir ödül veya ceza aldığı ve kümülatif ödülü maksimize etmek için karar politikasını güncellediği sıralı karar problemlerini ele alır (Sutton & Barto, 2018). Denetimli öğrenmenin aksine, RL her gözlem için doğru eylemin belirtilmesini gerektirmez.

3.4.1 Klasik Pekiştirmeli Öğrenme

Klasik RL algoritmaları arasında Q-öğrenme, zamansal fark öğrenme, Monte Carlo kontrolü ve durum-eylem-ödül-durum-eylem yöntemleri bulunur. Bu yaklaşımlar genellikle durumları ve eylemleri açıkça temsil eder ve nispeten küçük veya ayrık karar alanları için en uygundur.

Klasik RL'nin resmi MRA'daki doğrudan uygulamaları günümüzde sınırlı görünmektedir. Başlıca potansiyeli, tek bir mikrobiyal sonucu tahmin etmek yerine, zaman içinde sıcaklık, sanitasyon, örnekleme veya koruma kararlarını optimize etmek gibi uyarlanabilir müdahale ve süreç kontrol problemlerinde potansiyel sunmaktadır.

3.4.2 Derin Pekiştirmeli Öğrenme

Derin pekiştirmeli öğrenme, değer fonksiyonlarını, eylem politikalarını veya çevresel dinamikleri yaklaşık olarak hesaplayan sinir ağlarıyla pekiştirmeli öğrenmeyi birleştirir.

Derin Q-ağları ve aktör-eleştirmen mimarileri, pekiştirmeli öğrenmenin daha büyük durum alanlarını ve daha karmaşık sürekli veya sıralı gözlemleri işlemesini sağlar.
Treloar vd. (2020), sürekli biyoreaktörlerde mikrobiyal ortak kültürlerin kontrolü için Neural Fitted Q-learning yaklaşımını uygulamış ve pekiştirmeli öğrenme ajanının mikrobiyal popülasyonları hedef seviyelerde tutabildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, çalışma resmi bir mikrobiyal risk değerlendirmesi (MRA) uygulamasından ziyade, mikrobiyal biyoproseslerin uyarlanabilir kontrolü ve optimizasyonuna odaklanmaktadır. Bu nedenle, bu tür çalışmalar pekiştirmeli öğrenmenin geleneksel risk değerlendirme modellerinin doğrudan bir alternatifi olmaktan ziyade, zaman içinde ardışık kararların optimize edilmesini gerektiren mikrobiyal süreç kontrolü ve risk yönetimi problemlerindeki potansiyeline işaret etmektedir.

4. TAHMINE DAYALI MIKROBIYOLOJIDE MAKINE ÖĞRENMESI UYGULAMALARI

4.1 Büyüme ve Hayatta Kalma Modellemesi

Makine öğrenmesi, çevresel ve gıda ile ilgili değişkenlerden maksimum özgül büyüme hızı (μmax), gecikme fazı süresi (λ), nesil süresi ve canlı hücre sayısı dahil olmak üzere mikrobiyal büyüme tepkilerini tahmin etmek için tahmine dayalı mikrobiyolojide yaygın olarak uygulanmıştır. Jeyamkondan vd. (2001), sıcaklık, pH ve koruyucu konsantrasyonlarını tahmin edici olarak kullanarak *Aeromonas hydrophila, Shigella flexneri* ve *Brochothrix thermosphacta* için genel regresyon sinir ağı modelleri geliştirmiştir. Modeller, genel olarak karşılık gelen istatistiksel modellerden daha düşük tahmin hataları elde etmiştir, ancak iyileşme bağımsız test verilerine göre eğitim verilerinde daha belirgin olmuştur; bu da sinir ağlarını evrensel olarak üstün modellerden ziyade esnek alternatifler olarak desteklemektedir.
Daha yeni çalışmalar, birincil ve ikincil modelleri ayrı ayrı uyarlamadan, mikrobiyal popülasyonun tüm yörüngelerini tahmin etmek için makine öğrenmesini kullanmıştır. Hiura vd. (2021) yılında, *Listeria monocytogenes* sayısını zaman, sıcaklık, pH, su aktivitesi, başlangıç popülasyonu ve gıda ile ilgili değişkenlerden tahmin etmek için ComBase verilerine XGBoost uygulandı. Koyama ve ark. (2022) benzer şekilde, *Escherichia coli* O157 büyümesini modellemek için destek vektör regresyonu, ekstra rastgele ağaçlar (Extremely Ransomized Trees) ve Gauss süreç regresyonu kullandı ve yerleşik istatistiksel modellere benzer performans elde etti. ML tabanlı regresyon ayrıca *Pseudomonas spp.* büyümesini gıdalar ve kültür ortamları genelinde tahmin etmek için de uygulandı (Tarlak & Yücel, 2023), ANN, rastgele orman, gradyan artırma ve destek vektör regresyonu ise tek hücre gecikme süresi tahmini için değerlendirildi ve model performansı veri kümesine göre değişti (Lin vd., 2022).
Genomik veriler, suş düzeyindeki değişkenliğin temsilini geliştirebilir. Njage vd. (2020), genomdan türetilen gen varlığı-yokluğu modelleriyle *L. monocytogenes* suşlarının stres yanıtı fenotiplerini tahmin ederek bunları bir QMRA örneğine entegre etmiştir. Ancak genomik özellikleri dinamik çevresel koşullarla birlikte modelleyen yaklaşımlar hâlen gelişmektedir.

4.2 Büyüme Var/Yok Sınır Modellemesi

Büyüme var/yok sınır modelleri, belirli çevresel koşullar altında tanımlanmış bir süre içinde mikrobiyal büyümenin gözlemlenme olasılığını tahmin eder (Ratkowsky & Ross, 1995). Bu sınırlar bu nedenle mutlak fizyolojik sınırları temsil etmek yerine, suş, aşı düzeyi, besin matrisi ve gözlem süresi gibi faktörlere bağlıdır. Lojistik regresyon, geleneksel olarak, ikili büyüme/büyümeme sonuçlarını sıcaklık, pH, su aktivitesi, tuz ve organik asit kombinasyonlarıyla ilişkilendirmek için kullanılmıştır. (Presser vd., 1998; Tienungoon vd., 2000).
Hajmeer ve Basheer (2002, 2003), *Escherichia coli* R31 büyüme/büyümeme verilerini sıcaklık ve su aktivitesinin fonksiyonları olarak kullanarak olasılıksal ve ileri beslemeli sinir ağı sınıflandırıcılarını doğrusal ve doğrusal olmayan lojistik regresyonla karşılaştırmıştır. Sinir ağı sınıflandırıcıları, özellikle olasılıksal sinir ağı, bu veri kümesinde daha yüksek sınıflandırma doğruluğu elde etmiştir; ancak bu çalışmalar destek vektör makinelerini değerlendirmemiş veya özellikle seyrek örneklenmiş bölgelerde üstünlük göstermemiştir. Sonraki çalışmalar, *Staphylococcus aureus* için ara büyüme geçiş sınıfını temsil etmek üzere sinir ağı modellemesini genişletti (Fernández-Navarro vd., 2010) ve hem sıvı ortamda hem de gıda matrisinde bağımsız doğrulama ile sinir ağları ve derin öğrenme kullanarak *Bacillus* sporlarının karmaşık büyüme sınırlarını modelledi (Kuroda vd., 2019).

Bununla birlikte, makine öğrenmesi yöntemleri sürekli olarak üstün değildir: *Bacillus simplex* için, lojistik regresyon bağımsız doğrulama verilerinde sinir ağından biraz daha iyi performans gösterirken, model kararlılığı sınır yakınındaki deneysel tekrarların sayısına büyük ölçüde bağlıydı (Tsuruma vd., 2021).

Yapay sinir ağı tabanlı sınır modellerinin temel avantajı, önceden tanımlanmış bir fonksiyonel biçim gerektirmeden doğrusal olmayan etkileşimleri öğrenme yetenekleridir. Bununla birlikte, tahminleri öncelikle eğitim verileriyle temsil edilen çevresel alan içinde güvenilir kalmaktadır. Sonuç olarak, bu tür modellerin formülasyon, süreç doğrulama veya mikrobiyal risk değerlendirmesi için kullanılmadan önce bağımsız doğrulama, geçiş koşullarına yakın yeterli tekrarlama ve deneysel alan dışındaki tahminlerin ihtiyatlı bir şekilde ele alınması önemlidir.

4.3 İnaktivasyon Modellemesi

Makine öğrenimi, mikrobiyal hayatta kalma sayımlarını veya logaritmik azalmaları tedavi süresi, işlem yoğunluğu ve gıda ile ilgili değişkenlerden tahmin etmek için uygulanmıştır. Klasik log-lineer model, omuz, kuyruk veya iki fazlı davranış sergileyen hayatta kalma eğrilerini yetersiz bir şekilde tanımlayabilse de, Weibull modeli bazı doğrusal olmayan kalıpları temsil edebilir; daha karmaşık eğriler yine de değiştirilmiş veya çok fazlı formülasyonlar gerektirebilir (Geeraerd vd., 2000; Albert & Mafart, 2005). İlk ML uygulamaları, termal inaktivasyonu sıcaklık, pH ve su aktivitesi ile ilişkilendiren ANN modellerini içeriyordu (Lou & Nakai, 2001). Oscar (2017) daha sonra, geniş bir pişirme sıcaklığı aralığında kıyma tavukta *Salmonella* Typhimurium inaktivasyonunu tespit sınırına kadar tahmin etmek için ileri beslemeli bir sinir ağı geliştirdi.

Son çalışmalar bu yaklaşımı ek algoritmalara ve işleme koşullarına genişletti. Coe vd. (2025), *Salmonella* ve *Enterococcus faecium*'un termal inaktivasyonunu, sıcaklık, maruz kalma süresi ve tuz konsantrasyonunun fonksiyonları olarak yeniden yapılandırılmış kıyılmış tavukta tahmin etmek için rastgele orman ve destek vektör regresyonunu uygulamıştır. Makine öğrenimi, *Escherichia coli* O157:H7'nin sığır eti yüzeylerinde düşük voltajlı elektriksel inaktivasyonunun ANN modellemesi (Gosukonda vd., 2015) ve yüksek basınçlı homojenizasyonla mikrobiyal inaktivasyonun ANN, rastgele orman ve hibrit model tahmini (Pezo & Donsì, 2025) dahil olmak üzere termal olmayan işlemler için de kullanılmıştır. Bu modeller, işleme değişkenleri arasındaki doğrusal olmayan etkileşimleri yakalayabilir, ancak bağımsız doğrulama gerektirir ve deneysel alanın ötesine genelleştirilmemelidir.

4.4 Patojen Tespiti ve Sınıflandırması

Kinetik modellemenin ötesinde, makine öğrenimi, spektroskopik, görüntüleme, mikrobiyom ve genomik veriler kullanılarak gıda kaynaklı patojenlerin tespiti, tanımlanması ve alt tiplendirilmesinde uygulanmıştır. Örneğin, Raman spektroskopisi ile birleştirilmiş evrişimsel sinir ağları, yakından ilişkili *Salmonella* serotiplerini doğru bir şekilde ayırt etmiştir (Sun vd., 2023), hiperspektral mikroskopi ise makine öğrenimi ile birleştirilerek hızlı serotip düzeyinde sınıflandırma için değerlendirilmiştir (Papa vd., 2025). Rastgele orman modelleri ayrıca, ön zenginleştirme mikrobiyom profillerinden kümes hayvanı işleme örneklerinde *Salmonella* kontaminasyonunu tahmin etmiştir (Bolinger vd., 2021). Bununla birlikte, kontrollü veri kümelerinde bildirilen yüksek doğruluk oranları, kültür tabanlı tespit ile eşdeğer olarak yorumlanmamalıdır, çünkü birçok çalışma doğal olarak kontamine olmuş gıdalar yerine sınırlı suş koleksiyonları, hazırlanmış örnekler veya kültürlenmiş izolatlar kullanmaktadır

Tüm genom dizilemesi, salgın araştırması ve suş farklılaştırması için yüksek çözünürlüklü bilgi sağlarken, makine öğrenimi (ML), genomik kalıpların konakçı veya gıda kaynağı atfı için kullanılmasını mümkün kılar. Bu tür modeller, cgMLST ve WGS verileri kullanılarak Campylobacter jejuni için (Arning vd., 2021) ve farklı gıda kaynaklarından elde edilen çekirdek genom profilleri kullanılarak *Listeria monocytogenes* için (Tanui vd., 2022) geliştirilmiştir. Genomik ML ayrıca risk değerlendirmesiyle de ilişkilendirilmiştir: Njage vd. (2020), *L. monocytogenes*'in tahmin edilen stres yanıtı alt popülasyonlarını bir QMRA vaka çalışmasına dahil etmiştir. Bununla birlikte, ML tabanlı genomik kaynak atfının QMRA'ya rutin entegrasyonu, temsili referans veri kümeleri, dış doğrulama ve uyumlu analitik prosedürler gerektiren gelişmekte olan bir uygulama olmaya devam etmektedir.

5. MAKINE ÖĞRENMESININ KANTITATIF MIKROBIYAL RISK DEĞERLENDIRMESI (QMRA) ÇERÇEVELERINE ENTEGRASYONU

5.1 Hibrit Mekanistik-ML Modelleri

Hibrit veya gri-kutu modelleri, mikrobiyal davranışın mekanistik temsilini, yetersiz karakterize edilmiş ilişkileri tahmin eden veri odaklı bileşenlerle birleştirir. Erken bir örnek olarak Geeraerd vd. (1998), mikrobiyal büyümeyi zaman içinde Gompertz tabanlı doğrusal olmayan bir diferansiyel denklemle modellemiş ve sıcaklık, pH ve NaCl'nin model parametreleri üzerindeki etkilerini düşük karmaşıklıklı yapay sinir ağlarıyla tanımlamıştır. Bu yaklaşım, birincil büyüme modelinin biyolojik yapısını korurken çevresel faktörler arasındaki doğrusal olmayan etkileşimlerin verilerden öğrenilmesine olanak sağlamıştır. QMRA bağlamında ise makine öğrenmesiyle genomik verilerden tahmin edilen suş özelliklerinin risk değerlendirme modellerine entegre edilmesi benzer bir hibrit strateji sunmaktadır. Örneğin Njage vd. (2020), WGS verilerinden *L. monocytogenes* suşlarının stres yanıtı fenotiplerini tahmin ederek bu bilgiyi bir QMRA örneğine entegre etmiştir. Fizik-bilgili sinir ağları (PINN'ler), fizik yasalarını ve yönetici denklemleri sinir ağı eğitimine dahil eden daha genel bir çerçeve sunmaktadır (Raissi vd., 2019). Bununla birlikte, bu yaklaşımın gıda tahmin mikrobiyolojisi ve QMRA'daki kullanımı henüz gelişmekte olan bir araştırma alanıdır.

5.2 Maruz Kalma Değerlendirmesinin Geliştirilmesi için Makine Öğrenimi

Maruz kalma değerlendirmesi, üretim, depolama, hazırlama ve tüketim boyunca patojen prevalansı ve konsantrasyonunun tahminini gerektirdiğinden, makine öğrenimi için önemli bir uygulama alanı sunar. Makine öğrenimi modelleri bu değişkenleri çevresel izleme, proses, ürün ve depolama verilerinden tahmin edebilir; elde edilen tahmin dağılımları daha sonra geleneksel stokastik maruz kalma modellerine aktarılabilir. Bununla birlikte, gıda işleme ortamlarında yeniden kontaminasyonun modellenmesine yönelik çalışmalar ağırlıklı olarak matematiksel ve simülasyon tabanlı yaklaşımlara dayanmaktadır (van Asselt-den Aantrekker vd., 2003). Bu durum, makine öğreniminin ekipman, temizlik ve çalışan hareketleri gibi süreç verilerinden maruz kalma tahmininde kullanımının henüz sınırlı olduğunu düşündürmektedir.

Doğal dil işleme (NLP) ise gıda güvenliği sinyallerinin belirlenmesi ve sürveyansında kullanılabilir. Örneğin Goldberg vd. (2022), çevrimiçi tüketici değerlendirmelerini metin madenciliği ve denetimli makine öğrenimiyle tarayarak potansiyel gıda güvenliği tehlikelerini belirlemiş ve sonuçları ürün düzeyinde risk değerlendirmesine aktarmıştır. Bununla birlikte, bilimsel literatürden QMRA için gerekli prevalans, konsantrasyon, transfer ve proses verilerinin otomatik olarak çıkarılması henüz doğrulanmış ve standartlaşmış bir uygulama değildir. Bu nedenle NLP, öncelikle literatür taraması ve veri çıkarımını destekleyen bir araç olarak görülmeli; elde edilen veriler uzman doğrulaması, birimlerin uyumlaştırılması, çalışma kalitesinin değerlendirilmesi ve çalışmalar arası heterojenliğin dikkate alınması gibi aşamalardan geçirilmelidir.

5.3 Doz-Yanıt Modellemesi için Makine Öğrenimi

Makine öğreniminin mikrobiyal doz-yanıt değerlendirmesine entegrasyonu, uygun insan verilerinin az olması ve genellikle gönüllü besleme çalışmaları, salgın araştırmaları, epidemiyolojik veya gözetim verileri ve hayvan deneylerinden elde edilmesi nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Geleneksel mikrobiyal doz-yanıt modelleri, özellikle üstel ve beta-Poisson formülasyonları, genellikle bağımsız eylem çerçevesinde geliştirilir ve gıda kaynaklı patojen QMRA (FAO&WHO, 2021) ile ilgili düşük doz maruziyetlerine olasılıksal ekstrapolasyon sağlar. Gauss süreçleri, Bayes sinir ağları ve diğer esnek makine öğrenimi modelleri, bu geleneksel doz-yanıt formülasyonlarının standart alternatifleri olarak henüz kabul edilmemiştir.

Makine öğrenimi için daha savunulabilir bir yakın vadeli rol, suş virülansındaki ve klinik sonuçlardaki varyasyonu belirleyerek tehlike karakterizasyonunu iyileştirmektir. WGS'den türetilen özellikler kullanan ML modelleri, *Listeria monocytogenes* suşlarıyla ilişkili hastalık sıklığını ve Şiga toksini üreten *Escherichia coli* enfeksiyonlarının klinik sonuçlarını tahmin etmek için uygulanmıştır (Njage, Henri, vd., 2019; Njage, Leekitcharoenphon ve Hald, 2019). Bu tür tahminler, virülans tabakalı doz-yanıt modellerini bilgilendirebilir ve patojen virülansındaki ve konakçı duyarlılığındaki veya demografik gruptaki varyasyonu açıkça temsil eden parametrik yaklaşımları tamamlayabilir (Pouillot vd., 2015, 2024).

Bununla birlikte, bunların QMRA'ya entegrasyonu, özellikle düşük doz bölgesindeki belirsizliğin tahmini popülasyon riskini önemli ölçüde etkileyebilmesi nedeniyle, iyi kalibre edilmiş tahminler, temsili genomik ve klinik veri kümeleri ve bağımsız ve genetik olarak farklı suşlar üzerinde doğrulama gerektirir.

5.4 Risk Karakterizasyonu ve Karar Desteği için Makine Öğrenimi

Risk karakterizasyonu aşamasında, makine öğrenimi kaynaklı tahminler, geleneksel Monte Carlo veya Bayesçi belirsizlik yayılımını korurken riski tahmin etmek için maruz kalma ve doz-yanıt modelleriyle birleştirilebilir. Örneğin, Njage vd. (2020), makine öğrenimiyle tahmin edilen *L. monocytogenes* stres-yanıt alt popülasyonlarını bir QMRA vaka çalışmasına entegre ederek, maruz kalma tahminlerindeki tür içi heterojenliği hesaba katmıştır. Daha yakın zamanda, Guo vd. (2026), rutin su kalitesi göstergelerinden elde edilen makine öğrenimiyle tahmin edilen patojen konsantrasyonlarını içme suyu QMRA'sı ile birleştirerek sağlık yüklerini tahmin etmiş ve makine öğreniminin yerleşik bir risk modeline dinamik maruz kalma girdileri sağladığı yeni bir mimariyi göstermiştir.
SHAP gibi açıklanabilirlik yöntemleri, makine öğrenimi tahminlerini etkileyen değişkenleri belirlemeye yardımcı olabilir, ancak QMRA duyarlılık veya belirsizlik analizinin yerini almazlar. Bağımsız olarak gıda güvenliği müdahalelerini optimize eden pekiştirmeli öğrenme sistemleri, gıda kalite izleme ve risk değerlendirmesinin rutin bileşenleri olarak henüz doğrulanmamıştır ve bu nedenle geleceğe yönelik bir uygulama olarak tanımlanmalıdır. Kısa vadeli karar destek sistemleri, daha gerçekçi olarak şeffaf senaryo karşılaştırmasına, periyodik olarak güncellenen izleme verilerine, bağımsız model doğrulamasına ve açık belirsizlik raporlamasına dayanmaktadır. Dahası, Codex ve FAO/WHO kılavuzlarının gerektirdiği gibi, bilimsel risk değerlendirmesi ve risk yönetimi kararları arasındaki işlevsel ayrım korunmalıdır.

6. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ: GELENEKSEL vs. MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMLARI

6.1 Tahmin Doğruluğu

Mikrobiyal modellemede tahmin doğruluğu yaygın olarak kök ortalama kare hatası (RMSE) ve R^2 ile birlikte Ross (1996) tarafından geliştirilen ve Baranyi vd. (1999) tarafından yeniden düzenlenen boyutsuz yanlılık (*Bf*) ve doğruluk (*Af*) faktörleri kullanılarak değerlendirilir. Yarı-mekanistik Baranyi–Roberts birincil modeli ve ampirik Ratkowsky karekök ikincil modeli gibi geleneksel parametrik modeller, kalibrasyon alanları içinde doğru ve biyolojik açıdan yorumlanabilir tahminler sağlayabilir (Ratkowsky vd., 1982; Baranyi & Roberts, 1994). Bununla birlikte, önceden tanımlanmış fonksiyonel yapılar sıcaklık, pH, su aktivitesi ve gıda matrisi özellikleri arasındaki karmaşık etkileşimleri yeterince temsil edemeyebilir; ayrıca birincil ve ikincil modellerin ardışık kullanımı parametre tahmin hatalarının yayılmasına yol açabilir (Akkermans vd., 2018).
Makine öğrenmesi (ML) modelleri ise daha yüksek dereceli doğrusal olmayan ilişkileri yakalamada daha fazla esneklik sunar. Yücel ve Tarlak (2023), sığır etinde *Listeria monocytogenes, Escherichia coli* ve *Pseudomonas spp.* için 2.654 ComBase kaydını kullanarak gerçekleştirdikleri çalışmada, random forest regresyonunun en iyi genel performansı gösterdiğini ve dış doğrulamada *Bf* değerlerinin 1,017–1,151, *Af* değerlerinin ise 1,137–1,370 arasında olduğunu bildirmiştir. Tarlak vd. (2025) de Gaussian process ve random forest modelleri için yüksek test seti R^2 değerleri bildirmiştir (büyüme için R^2=0,974; inhibisyon için R^2=0,991); ancak daha kapsamlı dış doğrulamaya ihtiyaç devam etmektedir.
Bununla birlikte, ML performansı büyük ölçüde veriye bağlıdır ve veri setlerinin sınırlı veya temsiliyetinin düşük olduğu durumlarda aşırı öğrenmeden etkilenebilir. Bu nedenle yüksek tahmin doğruluğu, ML'nin her durumda üstün olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır. Yeni suşlara, deneylere veya çalışmalara aktarılabilirliği değerlendirmek için dış doğrulama veya uygun şekilde gruplandırılmış veri bölmeleri kullanılmalıdır; ilişkili gözlemlerin hem eğitim hem de test setlerinde bulunması durumunda, kayıt düzeyinde rastgele bölme aşırı iyimser performans tahminlerine yol açabilir (Roberts vd., 2017; Kapoor & Narayanan, 2023). Bu nedenle model değerlendirmesi yalnızca RMSE ve R^2'yi değil, yanlılık, kalibrasyon, tahmin belirsizliği, uygulanabilirlik alanı ve ekstrapolasyon koşullarındaki performansı da kapsamalıdır.

6.2 Yorumlanabilirlik ve Mekanistik Şeffaflık

Geleneksel tahmine dayalı mikrobiyoloji ve Mikrobiyolojik Risk Değerlendirmesi (MRA) modellerinin önemli avantajlarından biri yapısal izlenebilirliktir. Örneğin, Baranyi–Roberts modelindeki maksimum büyüme hızı ve lag fazı gibi parametrelerin açık biyolojik anlamları bulunurken, beta-Poisson modelleri tanımlanmış varsayımlar altında mikrobiyal doz ile enfeksiyon olasılığı arasındaki ilişkiyi ifade eder (Baranyi & Roberts, 1994; Teunis & Havelaar, 2000). Bu şeffaf yapılar biyolojik uygunluğun değerlendirilmesini ve risk yöneticileriyle iletişimi kolaylaştırır; ancak ampirik model yapıları da belirsizlik oluşturabilir (Pouillot & Lubran, 2011).

Buna karşılık, karmaşık ML modelleri genellikle daha sınırlı içsel yorumlanabilirliğe sahiptir. Özellikle LIME ve SHAP gibi sonradan uygulanan Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemleri, tahminlere katkıda bulunan değişkenleri belirleyebilir ve çıktıların sıcaklık veya pH gibi biyolojik açıdan anlamlı faktörlere dayanıp dayanmadığının değerlendirilmesine yardımcı olabilir (Ribeiro vd., 2016; Lundberg & Lee, 2017). Ancak özellik katkılarının belirlenmesi nedenselliği kanıtlamaz ve yordayıcı değişkenlerin güçlü şekilde ilişkili olduğu durumlarda yanıltıcı olabilir (Aas vd., 2021). Bu nedenle, gıda güvenliği açısından yüksek riskli uygulamalarda XAI; yorumlanabilir modelleme, biyolojik uygunluk değerlendirmesi ve dış doğrulamanın yerine geçmemeli, bunları tamamlamalıdır (Rudin, 2019).

6.3 Belirsizlik Nicelendirmesi

Belirsizlik nicelendirmesi (UQ), özellikle parametre belirsizliğinin ve uygun olduğu durumlarda model yapısına ilişkin belirsizliğin risk karakterizasyonuna aktarılması açısından QMRA paradigmasının temel unsurlarındandır. Geleneksel olasılıksal QMRA, girdi parametrelerine ait dağılımların aktarılması için Monte Carlo simülasyonunu kullanırken, Bayesçi çıkarım deneysel verilere koşullandırılmış posterior parametre dağılımlarını karakterize etmek için giderek daha fazla kullanılmaktadır (Vose, 2008). Değişkenlik ve belirsizliği ayrı olarak temsil eden iki boyutlu Monte Carlo yaklaşımları da gelişmiş QMRA uygulamalarında yerleşik bir yöntem haline gelmiştir (Nauta, 2000).

Buna karşılık, deterministik yapay sinir ağları (ANN), destek vektör makineleri (SVM) ve karar ağaçları gibi standart nokta tahminli ML modelleri doğrudan tahmin belirsizliği sağlamaz. Bu durum, özellikle üst kuyruk riskinin ve tahmin belirsizliğinin önemli olduğu QMRA uygulamaları açısından önemli bir sınırlılıktır. Bayesçi sinir ağları (Neal, 1996), Gaussian süreç regresyonu (Williams & Rasmussen, 2006), Monte Carlo dropout (Gal & Ghahramani, 2016) ve ensemble yöntemleri ML içerisinde Bayesçi veya yaklaşık UQ sağlayabilir; ancak bunlar ek hesaplama maliyeti ve metodolojik karmaşıklık getirir. Conformal prediction ise herhangi bir ML modeli için dağılımdan bağımsız ve sonlu örneklem marjinal kapsama özelliğine sahip tahmin aralıkları sunar ve bu nedenle tahmine dayalı mikrobiyolojide pratik bir UQ yaklaşımı olarak değerlendirilebilir (Shafer & Vovk, 2008).

6.4 Veri Gereksinimleri ve Kullanılabilirliği

Veri bulunabilirliği, tahmine dayalı mikrobiyoloji ve MRA'da ML uygulamalarının önemli bir sınırlamasıdır. Özellikle derin sinir ağları gibi veri yoğun modeller, hedeflenen uygulama alanını yeterince temsil eden büyük, çeşitli ve iyi düzenlenmiş veri setlerinden yararlanır. ComBase önemli bir veri kaynağı olmakla birlikte, yakın tarihli USDA meta verilerine göre 65.000'den fazla mikrobiyal büyüme, hayatta kalma ve inaktivasyon kaydı içermektedir (USDA Agricultural Research Service, 2022; USDA Agricultural Data Commons, 2024). Bununla birlikte, mikroorganizmalar, gıda matrisleri, formülasyonlar ve çevresel koşullar arasındaki kapsamı eşit değildir. Eksik meta veriler ve belirli koşullardaki seyrek gözlemler tahmin performansını azaltabilir ve dağılım kaymasına duyarlılığı artırabilir; bu durum *L. monocytogenes* için ComBase tabanlı modellemede de gösterilmiştir (Hiura vd., 2021).

Geleneksel parametrik veya mekanistik modeller, önceden tanımlanmış fonksiyonel yapıları tahmin edilecek parametre sayısını sınırlandırdığı için dar kapsamlı kinetik ilişkilerde daha yüksek örneklem verimliliği sağlayabilir. Bununla birlikte, kantitatif MRA'nın tamamı hâlen yüksek miktarda veriye ihtiyaç duyar; kontaminasyon, mikrobiyal davranış, işleme ve depolama koşulları, tüketim, doz-yanıt ilişkileri, değişkenlik ve belirsizlik hakkında bilgi gerektirir (FAO & WHO, 2021). Geleneksel modeller, varsaydıkları fonksiyonel yapı karmaşık gıda matrislerini veya etkileşimli stres faktörlerini yeterince temsil etmediğinde sistematik yanlılık oluşturabilirken, ML bu ilişkileri önceden tanımlamadan

yakalayabilir. Ancak ML de yanlılığı veya ekstrapolasyon hatasını kendiliğinden ortadan kaldırmaz. Bu nedenle her iki yaklaşım da temsili geliştirme verilerine, bağımsız doğrulamaya ve açıkça tanımlanmış bir uygulanabilirlik alanına ihtiyaç duyar (Valero vd., 2007; Oscar, 2020; Hiura vd., 2021).

6.5 Düzenleyici Kabul ve Doğrulama

Gıda güvenliğinde öngörücü modellerin düzenleyici kabulü, belirli bir modelleme yaklaşımının tercih edilmesinden ziyade amaca uygunluk, şeffaflık, dokümantasyon ve doğrulamaya bağlıdır. Codex ve FAO/WHO kılavuzları; veri kaynaklarının, varsayımların, sınırlılıkların, değişkenliğin, belirsizliğin ve modelin ele alınan risk yönetimi sorusuna uygulanabilirliğinin açıkça raporlanmasını gerektirir (Codex Alimentarius Commission, 1999; FAO & WHO, 2021). Bu gereklilikler geleneksel olarak daha basit ve yorumlanabilir modellerle daha kolay karşılanırken, karmaşık ML modellerinde karar mekanizmasının ve hata durumlarının denetlenmesi daha zor olabilir (van Meer vd., 2025). Dolayısıyla düzenleyici yaklaşım büyük ölçüde modelden bağımsızdır ve temel olarak modelin amaçlanan uygulama için uygun olduğunun gösterilmesine odaklanır. Örneğin FDA'nın 2024 taslak kılavuzu, Ek 3'te sunulan değerlerin tüm gıda ürünleri veya işleme koşulları için geçerli olmayabileceğini belirtmekte ve gıda güvenliği kararlarında kullanılmadan önce ürün ve prosese özgü doğrulamayı önermektedir (FDA, 2024).
Son dönemdeki kurumsal girişimler, gıda güvenliği değerlendirmelerinde AI ve ML'nin potansiyelini giderek daha fazla kabul ederken veri kalitesi, açıklanabilirlik, insan gözetimi, bağlama özgü uygulanabilirlik ve bağımsız veya prospektif doğrulama konularını vurgulamaktadır (Bersani vd., 2022; van Meer vd., 2025). Bununla birlikte, mevcut MRA kılavuzları büyük ölçüde modelden bağımsızdır ve ML tabanlı tahmine dayalı mikrobiyoloji için özel, uluslararası düzeyde uyumlaştırılmış bir doğrulama çerçevesi henüz bulunmamaktadır. RMSE, *Bf* ve *Af* gibi yaygın ölçütler tahmin hatası ve yanlılığının değerlendirilmesinde yararlı olmakla birlikte (Ross, 1996; Baranyi vd., 1999), ML modellerinin düzenleyici değerlendirmesinde veri kökeni, dış doğrulama, kalibrasyon, belirsizlik, bağlama bağlı performans, yeniden üretilebilirlik, sürekli performans izleme ve model güncelleme prosedürleri de ele alınmalıdır (FAO & WHO, 2021; van Meer vd., 2025).

7. SINIRLILIK VE GELECEK YÖNELİMLER

Makine öğrenmesinin (ML) tahmine dayalı mikrobiyoloji ve kantitatif mikrobiyal risk değerlendirmesinde (QMRA) uygulanması; veri kalitesi, temsiliyet, genellenebilirlik, yorumlanabilirlik, belirsizlik ve düzenleyici kabul açısından çeşitli sınırlılıklar taşımaktadır. ComBase gibi kaynaklar kapsamlı mikrobiyal büyüme ve hayatta kalma verileri sağlamakla birlikte, deneysel protokoller, suş kapsamı, gıda matriksleri, çevresel koşullar ve meta veri bütünlüğündeki heterojenlik model sonuçlarının farklı koşullara aktarılabilirliğini sınırlayabilmektedir (Baranyi & Tamplin, 2004). Ayrıca yeni ortaya çıkan tehlikeler, karmaşık gıda ortamları ve suşlar arası değişkenlik için veriler daha sınırlıyken; patojen prevalansı, konsantrasyonu, tüketim ve hastalık yükü gibi daha geniş QMRA girdileri ülkeler arasında eşit düzeyde bulunmamaktadır. Bu nedenle, eğitim ve test kümelerinde birbiriyle ilişkili gözlemlerin bulunması durumunda kayıt düzeyinde rastgele veri bölme, model performansının olduğundan daha yüksek tahmin edilmesine yol açabilir. Bunun yerine bağımsız çalışmalar, suşlar, gıda matriksleri, üretim koşulları veya coğrafi bölgeler kullanılarak dış doğrulama yapılmalı; model değerlendirmesinde tahmin hatasının yanı sıra kalibrasyon, belirsizlik, alt grup performansı ve uygulanabilirlik alanı da dikkate alınmalıdır (Hiura vd., 2021; Yücel & Tarlak, 2023; Collins vd., 2024; Moons vd., 2025).
Karmaşık ML modelleri bilimsel yorumlama ve düzenleyici kullanım açısından güçlükler yaratabilir. SHAP ve özellik önem analizi gibi Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemleri, değişkenlerin model çıktısına katkısını görünür kılabilir; ancak bu açıklamalar nedensel ilişkileri göstermez ve modelin eğitim verisi dışındaki koşullarda geçerliliğini garanti etmez (Lundberg & Lee, 2017). Bu nedenle düzenleyici kullanıma uygunluk; veri, yöntem ve varsayımların şeffaf biçimde belgelenmesini, modelin doğrulanmasını, belirsizliklerin değerlendirilmesini ve insan denetimini gerektirir (EFSA, 2022, 2025). Karmaşık modellerin daha basit ve yorumlanabilir modellere göre belirgin bir öngörü avantajı sağlamadığı durumlarda, daha basit modeller düzenleyici karar desteği için tercih edilebilir (EFSA, 2022).

Belirsizliğin nicel olarak değerlendirilmesi kritik öneme sahiptir; çünkü deterministik ML modelleri tek başına öngörü belirsizliğini temsil etmez ve QMRA'da değişkenlik ile belirsizliğin ayrıştırılması gerekir (Nauta, 2000). Bayesian sinir ağları, Monte Carlo dropout, derin ensemble modeller ve konformal tahmin gibi yöntemler belirsizlik tahmini için kullanılabilir (Gal & Ghahramani, 2016; Lakshminarayanan vd., 2017; Angelopoulos & Bates, 2023). Ancak bu tahminlerin QMRA'ya aktarılmadan önce kalibrasyon ve farklı veri dağılımları altındaki güvenilirliklerinin değerlendirilmesi gerekir (Guo vd., 2017; Ovadia vd., 2019).

Gelecekteki araştırmaların veri odaklı yöntemleri mekanistik bilgi ve daha zengin veri kaynaklarıyla birleştirmeye yönelmesi beklenmektedir. Fizik bilgili sinir ağları (PINN), yönetici denklemleri model eğitimine dahil ederek özellikle dinamik koşullardaki mikrobiyal büyüme veya inaktivasyon süreçlerinin modellenmesinde kullanılabilir; ancak gıda güvenliği alanındaki doğrulanmış uygulamaları hâlen sınırlıdır ve yerleşik mekanistik modellerle bağımsız veriler kullanılarak karşılaştırılmaları gerekmektedir (Raissi vd., 2019; Cuomo vd., 2025; Krishnapriyan vd., 2021). Bayesian ML, belirsizliğin daha iyi temsil edilmesini ve bilimsel olarak gerekçelendirilmiş öncül bilgiler aracılığıyla veri verimliliğinin artırılmasını sağlayabilir. Nitekim Gaussian process regression, soğutulmuş bebek ıspanağında bakteriyel büyümenin tahmininde geleneksel mekanistik modellerle karşılaştırılabilir performans göstermiştir (Sunil vd., 2025; Kendall & Gal, 2017). Federatif öğrenme (Federated learning) ise ham verileri yerel olarak tutarak, başka şekilde erişilemeyen verilerin ortak model geliştirme süreçlerinde kullanılmasını sağlayabilir; ancak veri gizliliği, kurumlar arasındaki veri heterojenliği ve gıda güvenliği alanındaki doğrulama gereksinimleri önemli sorunlar olmaya devam etmektedir (McMahan vd., 2017; Zhu vd., 2019).

Omik veriler ve gerçek zamanlı sensörlerle entegrasyon, risk değerlendirmesinin biyolojik ve zamansal çözünürlüğünü daha da artırabilir. WGS, gıda kaynaklı patojenlerin suş düzeyinde karakterizasyonu ve MRA'ya entegrasyonu açısından önemli bir omik yaklaşımdır; ML tabanlı genomik analizler de risk karakterizasyonunu destekleyebilir. Bununla birlikte, moleküler belirteçlerin fenotipik ve epidemiyolojik kanıtlarla doğrulanması gerekmektedir (EFSA BIOHAZ Panel vd., 2019; FAO & WHO, 2026). Benzer şekilde, sensör ve IoT sistemleri sıcaklık ve diğer proses ölçümlerinden yararlanarak mikrobiyal risk tahminlerinin dinamik olarak güncellenmesini destekleyebilir (Afreen & Bajwa, 2021); ancak sensör–ML–QMRA sistemlerinin tamamının doğrulanması ve kalibrasyon, eksik veri, belirsizlik, veri dağılımındaki kayma, siber güvenlik ve model güncellemelerinin güvenilir biçimde yönetilmesi gerekmektedir. Son olarak, adil ve güvenilir AI uygulamaları için temsili veri, şeffaflık, uygun veri yönetişimi, bağlama özgü doğrulama ve insan denetimi gereklidir (WHO, 2021, 2023). Bu gereklilikler, gıda güvenliği alanında veri ve teknik kapasitenin sınırlı olduğu bölgelerde özellikle önem taşımaktadır (van Meer vd., 2025).

Genel olarak, ML tabanlı öngörücü mikrobiyoloji ve QMRA'nın geleceği yalnızca tahmin doğruluğunun artırılmasına değil; genellenebilirlik, mekanistik uygunluk, belirsizliklerin nicel olarak değerlendirilmesi, şeffaflık ve yeniden üretilebilirliğin geliştirilmesine odaklanmalıdır.

9. SONUÇ

Bu derleme, geleneksel ve makine öğrenmesi (ML) tabanlı yaklaşımları mikrobiyal risk değerlendirmesi ve tahmine dayalı mikrobiyoloji bağlamında karşılaştırmıştır. Genel olarak, her iki yaklaşımın farklı ancak büyük ölçüde birbirini tamamlayan güçlü yönlere sahip olduğu görülmektedir. Geleneksel mekanistik modeller biyolojik yorumlanabilirlik, belirli parametre alanları içinde daha öngörülebilir davranış ve köklü belirsizlik değerlendirme yaklaşımları sunarken; ML modelleri büyük veri setlerinde karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri temsil etme konusunda önemli bir esneklik sağlayabilmektedir. Bu çerçevede, mekanistik bilgi ile veri odaklı öğrenmeyi bir araya getiren hibrit yaklaşımlar, gelecekteki araştırmalar açısından özellikle umut verici görünmektedir. Fizik bilgili sinir ağları, gri-kutu modeller ve mekanistik olarak bilgilendirilmiş öncüller kullanan Bayesian ML yaklaşımları, bu iki paradigmanın güçlü yönlerini birleştirebilecek yöntemler arasında değerlendirilebilir. Bunun yanı sıra, ML'nin QMRA'nın maruziyet değerlendirmesi ve risk karakterizasyonu aşamalarına; kontaminasyon modellemesi, kanıtların sistematik değerlendirilmesi ve dinamik karar desteği gibi alanlarda entegre edilmesi, gelecekte önemli uygulama olanakları sunabilir.

Bununla birlikte, veri temsiliyeti, aşırı öğrenme, belirsizliklerin nicel olarak değerlendirilmesi, yorumlanabilirlik ve düzenleyici kabul gibi konuların ML tabanlı yaklaşımların QMRA kapsamındaki kullanımında dikkatle ele alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda, uluslararası ölçekte daha uyumlu doğrulama yaklaşımlarının, şeffaf raporlama çerçevelerinin ve erişilebilir veri kaynaklarının geliştirilmesi, yöntemlerin güvenilirliğinin ve karşılaştırılabilirliğinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Sonuç olarak, ML'nin öngörücü mikrobiyoloji ve QMRA'daki potansiyelinin, geleneksel mekanistik yaklaşımlar, deneysel ve epidemiyolojik kanıtlar ve uzman değerlendirmesiyle birlikte kullanıldığı, bağlama özgü ve uygun şekilde doğrulanmış çerçeveler içerisinde daha etkili biçimde değerlendirilebileceği düşünülmektedir.

BİLGİLENDİRME VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından desteklenen Aselsannet Ar-Ge Merkezine ait AGTMPR175240 kodlu proje kapsamında gerçekleştirilen ön çalışma sonuçlarından derlenmiştir. Çalışmaya sağladığı değerli katkıları için Gökçe Başak DEMİROK'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Aas, K., Jullum, M., & Løland, A. (2021). Explaining individual predictions when features are dependent: More accurate approximations to Shapley values. Artificial Intelligence, 298, 103502.

Afreen, H., & Bajwa, I. S. (2021). An IoT-based real-time intelligent monitoring and notification system of cold storage. *IEEe Access*, *9*, 38236-38253.

Agricultural Research Service. (2022). ComBase browser / predictive models. U.S. Department of Agriculture. https://combase.errc.ars.usda.gov/

Agricultural Data Commons. (2024). ComBase: A web resource for quantitative and predictive food microbiology [Data set]. U.S. Department of Agriculture. https://agdatacommons.nal.usda.gov/articles/dataset/ComBase_A_Web_Resource_for_Quantitative_and_Predictive_Food_Microbiology/25212404

Akkermans, S., Nimmegeers, P., & Van Impe, J. F. (2018). A tutorial on uncertainty propagation techniques for predictive microbiology models: A critical analysis of state-of-the-art techniques. *International journal of food microbiology*, *282*, 1-8.

Albert, I., & Mafart, P. (2005). A modified Weibull model for bacterial inactivation. *International journal of food microbiology*, *100*(1-3), 197-211.

Angelopoulos, A. N., & Bates, S. (2023). Conformal prediction: A gentle introduction. *Foundations and Trends in Machine Learning*, *16*(4), 494-591.

Arning, Nicolas, et al. "Machine learning to predict the source of campylobacteriosis using whole genome data." *PLoS genetics* 17.10 (2021): e1009436.

Baranyi, J., Pin, C., & Ross, T. (1999). Validating and comparing predictive models. *International Journal of food microbiology*, *48*(3), 159-166.

Baranyi, J., & Roberts, T. A. (1994). A dynamic approach to predicting bacterial growth in food. *International journal of food microbiology*, *23*(3-4), 277-294.

Bersani, C., Codagnone, J., David, L., Foiniotis, A., Galasso, G., Mancini, S., ... & Pellegrino, M. (2022). Roadmap for actions on artificial intelligence for evidence management in risk assessment. *EFSA Supporting Publications*, *19*(5).

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, *45*(1), 5-32.

Buchanan, R. L., & Phillips, J. G. (1990). Response surface model for predicting the effects of temperature pH, sodium chloride content, sodium nitrite concentration and atmosphere on the growth of Listeria monocytogenes. *Journal of Food Protection*, *53*(5), 370-377.

Buchanan, R. L., Smith, J. L., & Long, W. (2000). Microbial risk assessment: dose-response relations and risk characterization. *International journal of food microbiology*, *58*(3), 159-172.

Bolinger, H., Tran, D., Harary, K., Paoli, G. C., Guron, G. K., Namazi, H., & Khaksar, R. (2021). Utilizing the microbiota and machine learning algorithms to assess risk of Salmonella contamination in poultry rinsate. *Journal of Food Protection*, *84*(9), 1648-1657.

Cao, Y. Y., Yomo, T., & Ying, B. W. (2020). Clustering of bacterial growth dynamics in response to growth media by dynamic time warping. *Microorganisms*, *8*(3), 331.

Chapelle, O., Scholkopf, B., & Zien, A. (2009). Semi-supervised learning (chapelle, o. et al., eds.; 2006)[book reviews]. *IEEE Transactions on Neural Networks*, *20*(3), 542-542.

Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 785-794).

Codex Alimentarius Commission. (1999, amended 2012 and 2014). Principles and guidelines for the conduct of microbiological risk assessment (CXG 30-1999).

Coe, C., Wang, X., Rowen, E., Stearns, R., Katz, J., Boltz, T., ... & Shen, C. (2025). Applying microbial predictive and machine learning model data to evaluate thermal inactivation of salmonella and the surrogate enterococcus faecium in reconstructed ground chicken meat affected by temperature and salt concentrations. *Poultry Science*, *104*(9), 105422.

Coleman, M., & Marks, H. (1998). Topics in dose-response modeling. *Journal of food protection*, *61*(11), 1550-1559.

Collins, G. S., Moons, K. G., Dhiman, P., Riley, R. D., Beam, A. L., Van Calster, B., ... & Logullo, P. (2024). TRIPOD+ AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *bmj*, *385*.

Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, *20*(3), 273-297.

Crotta, M., Prakashbabu, B. C., Holt, H., Swift, B., Pedada, V. C., Shaik, T. B., ... & Guitian, J. (2022). Microbiological risk ranking of foodborne pathogens and food products in scarce-data settings. *Food Control*, *141*, 109152.

Cuomo, S., De Rosa, M., Piccialli, F., Pompameo, L., & Vocca, V. (2025). A numerical approach for soil microbiota growth prediction through physics-informed neural network. *Applied Numerical Mathematics*, *207*, 97-110.

den Aantrekker, E. D., Boom, R. M., Zwietering, M. H., & van Schothorst, M. (2003). Quantifying recontamination through factory environments—a review. *International Journal of Food Microbiology*, *80*(2), 117-130.

EFSA Panel on Biological Hazards (EFSA BIOHAZ Panel), Koutsoumanis, K., Allende, A., Alvarez-Ordóñez, A., Bolton, D., Bover-Cid, S., ... & Herman, L. (2019). Whole genome sequencing and metagenomics for outbreak investigation, source attribution and risk assessment of food-borne microorganisms. *Efsa Journal*, *17*(12), e05898.

European Food Safety Authority (EFSA), Cavalli E, Verloo D, Paraskevopoulos K, Kleiner J, Heppner C, Hugas M, 2022. Artificial Intelligence in risk assessment. EFSA Supporting Publications 2022: 19(5):e200501. 8 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2022.e200501

European Food Safety Authority. (2025). *AI@EFSA*. European Food Safety Authority.

FAO & WHO. (2026) - Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (2026). *Summary report of the Joint FAO/WHO Expert Meeting on the microbiological risk assessment on the use of omics-based technologies in microbiological risk assessment*. FAO & WHO.

FAO & WHO. (2021) - Microbiological Risk Assessment–Guidance for food. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, *288*.

Feng, Y., Chen, M., Wei, X., Zhu, H., Zhang, J., Zhang, Y., ... & Wu, Q. (2022). Pseudotargeted metabolomic fingerprinting and deep learning for identification and visualization of common pathogens. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 830832.

Fernández-Navarro, F., Valero, A., Hervás-Martínez, C., Gutiérrez, P. A., García-Gimeno, R. M., & Zurera-Cosano, G. (2010). Development of a multi-classification neural network model to determine the microbial growth/no growth interface. *International Journal of Food Microbiology*, *141*(3), 203-212.

(FDA) U.S. Food and Drug Administration. (2024). Hazard analysis and risk-based preventive controls for human food: Guidance for industry (Draft guidance; Appendix 3, Bacterial pathogen growth and inactivation). U.S. Department of Health and Human Services.

Gal, Y., & Ghahramani, Z. (2016, June). Dropout as a bayesian approximation: Representing model uncertainty in deep learning. In *international conference on machine learning* (pp. 1050-1059). PMLR.

Geeraerd, A. H., Herremans, C. H., Cenens, C., & Van Impe, J. F. (1998). Application of artificial neural networks as a non-linear modular modeling technique to describe bacterial growth in chilled food products. *International journal of food microbiology*, *44*(1-2), 49-68.

Geeraerd, A. H., Herremans, C. H., & Van Impe, J. F. (2000). Structural model requirements to describe microbial inactivation during a mild heat treatment. *International journal of food microbiology*, *59*(3), 185-209.

Gibson, A. M., Bratchell, N., & Roberts, T. A. (1987). The effect of sodium chloride and temperature on the rate and extent of growth of Clostridium botulinum type A in pasteurized pork slurry. *Journal of Applied Microbiology*, *62*(6), 479-490.

Gosukonda, R., Mahapatra, A. K., Liu, X., & Kannan, G. (2015). Application of artificial neural network to predict Escherichia coli O157: H7 inactivation on beef surfaces. *Food Control*, *47*, 606-614.

Goldberg, D. M., Khan, S., Zaman, N., Gruss, R. J., & Abrahams, A. S. (2022). Text mining approaches for postmarket food safety surveillance using online media. *Risk Analysis*, *42*(8), 1749-1768.

Guo, C., Pleiss, G., Sun, Y., & Weinberger, K. Q. (2017, July). On calibration of modern neural networks. In *International conference on machine learning* (pp. 1321-1330). PMLR.

Guo, B., Wang, J., Yan, C., Tang, C., Yin, K., Jiang, L., & Cui, C. (2026). A machine learning-quantitative microbial risk assessment (ML-QMRA) framework for predicting potential health risks from pathogens in drinking water sources. *Biocontaminant*, *2*(1).

Haas, C. N., Rose, J. B., & Gerba, C. P. (2014). *Quantitative microbial risk assessment*. John Wiley & Sons.

Hajmeer, M., & Basheer, I. (2002). A probabilistic neural network approach for modeling and classification of bacterial growth/no-growth data. *Journal of microbiological methods*, *51*(2), 217-226.

Hajmeer, M., & Basheer, I. (2003). Comparison of logistic regression and neural network-based classifiers for bacterial growth. *Food Microbiology*, *20*(1), 43-55.

Hiura, S., Koseki, S., & Koyama, K. (2021). Prediction of population behavior of Listeria monocytogenes in food using machine learning and a microbial growth and survival database. *Scientific reports*, *11*(1), 10613.

Jeyamkondan, S., Jayas, D. S., & Holley, R. A. (2001). Microbial growth modelling with artificial neural networks. *International journal of food microbiology*, *64*(3), 343-354.

Kang, R., Park, B., Eady, M., Ouyang, Q., & Chen, K. (2020). Classification of foodborne bacteria using hyperspectral microscope imaging technology coupled with convolutional neural networks. *Applied microbiology and biotechnology*, *104*(7), 3157-3166.

Kapoor, S., & Narayanan, A. (2023). Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. *Patterns*, *4*(9).

Kendall, A., & Gal, Y. (2017). What uncertainties do we need in bayesian deep learning for computer vision?. *Advances in neural information processing systems*, *30*.

Kuroda, S., Okuda, H., Ishida, W., & Koseki, S. (2019). Modeling growth limits of Bacillus spp. spores by using deep-learning algorithm. *Food microbiology*, *78*, 38-45.

Krishnapriyan, A., Gholami, A., Zhe, S., Kirby, R., & Mahoney, M. (2021). Characterizing possible failure modes in physics-informed neural networks. *Advances in neural information processing systems*, *34*, 26548-26560.

Lakshminarayanan, B., Pritzel, A., & Blundell, C. (2017). Simple and scalable predictive uncertainty estimation using deep ensembles. *Advances in neural information processing systems*, *30*.

Lammerding, A. M., & Fazil, A. (2000). Hazard identification and exposure assessment for microbial food safety risk assessment. *International journal of food microbiology*, *58*(3), 147-157.

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, *521*(7553), 436-444.

Li, Y., Gan, Z., Zhou, X., & Chen, Z. (2022). Accurate classification of Listeria species by MALDI-TOF mass spectrometry incorporating denoising autoencoder and machine learning. *Journal of microbiological methods*, *192*, 106378.

Lin, Z., Qin, X., Li, J., Aslam, M. Z., Sun, T., Li, Z., ... & Dong, Q. (2022). Machine learning approach for predicting single cell lag time of Salmonella Enteritidis after heat and chlorine treatment. *Food Research International*, *156*, 111132.

Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, *30*.

Lou, W., & Nakai, S. (2001). Application of artificial neural networks for predicting the thermal inactivation of bacteria: a combined effect of temperature, pH and water activity. *Food Research International*, *34*(7), 573-579.

Mafart, P., Couvert, O., Gaillard, S., & Leguérinel, I. (2002). On calculating sterility in thermal preservation methods: application of the Weibull frequency distribution model. *International journal of food microbiology*, *72*(1-2), 107-113.

McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & y Arcas, B. A. (2017, April). Communication-efficient learning of deep networks from decentralized data. In *Artificial intelligence and statistics* (pp. 1273-1282). Pmlr.

McMeekin, T. A., Olley, J., Ross, T., & Ratkowsky, D. A. (1993). Predictive microbiology: theory and application. *biotechnologia*, *2*(25), 94.

Membré, J. M., & Boué, G. (2018). Quantitative microbiological risk assessment in food industry: Theory and practical application. *Food Research International*, *106*, 1132-1139.

Mitchell, T. M., & Mitchell, T. M. (1997). *Machine learning* (Vol. 1, No. 9). New York: McGraw-hill.

Moons, K. G., Damen, J. A., Kaul, T., Hooft, L., Navarro, C. A., Dhiman, P., ... & Van Smeden, M. (2025). PROBAST+ AI: an updated quality, risk of bias, and applicability assessment tool for prediction models using regression or artificial intelligence methods. *bmj*, *388*.

Nauta, M. J. (2000). Separation of uncertainty and variability in quantitative microbial risk assessment models. *International Journal of Food Microbiology*, *57*(1-2), 9-18.

Neal, R. M. (1996). Priors for infinite networks. In *Bayesian learning for neural networks* (pp. 29-53). New York, NY: Springer New York.

Njage, P. M. K., Henri, C., Leekitcharoenphon, P., Mistou, M. Y., Hendriksen, R. S., & Hald, T. (2019). Machine learning methods as a tool for predicting risk of illness applying next-generation sequencing data. *Risk Analysis*, *39*(6), 1397-1413.

Njage, P. M. K., Leekitcharoenphon, P., & Hald, T. (2019). Improving hazard characterization in microbial risk assessment using next generation sequencing data and machine learning: predicting clinical outcomes in shigatoxigenic Escherichia coli. *International journal of food microbiology*, *292*, 72-82.

Njage, P. M. K., Leekitcharoenphon, P., Hansen, L. T., Hendriksen, R. S., Faes, C., Aerts, M., & Hald, T. (2020). Quantitative microbial risk assessment based on whole genome sequencing data: case of Listeria monocytogenes. *Microorganisms*, *8*(11), 1772.

Oscar, T. P. (2017). Modeling the effect of inoculum size on the thermal inactivation of Salmonella Typhimurium to elimination in ground chicken thigh meat. *American Journal of Food Science and Technology*, *5*(4), 135-142.

Ovadia, Y., Fertig, E., Ren, J., Nado, Z., Sculley, D., Nowozin, S., ... & Snoek, J. (2019). Can you trust your model's uncertainty? evaluating predictive uncertainty under dataset shift. *Advances in neural information processing systems*, *32*.

Pan, S. J., & Yang, Q. (2009). A survey on tran

Papa, M., Bhattacharya, S., Park, B., & Yi, J. (2025). Rapid Salmonella Serovar Classification Using AI-Enabled Hyperspectral Microscopy with Enhanced Data Preprocessing and Multimodal Fusion. *Foods*, *14*(15), 2737.sfer learning. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, *22*(10), 1345-1359.

Perez-Rodriguez, F., & Valero, A. (2012). Predictive microbiology in foods. In *Predictive microbiology in foods* (pp. 1-10). New York, NY: Springer New York.

Pezo, L., & Donsi, F. (2025). Modeling microbial inactivation by high-pressure homogenization with a machine learning approach. *Journal of Food Engineering*, *391*, 112426.

Pouillot*, R., Hoelzer, K., Chen, Y., & Dennis, S. B. (2015). Listeria monocytogenes dose response revisited—Incorporating adjustments for variability in strain virulence and host susceptibility. *Risk Analysis*, *35*(1), 90-108.

Pouillot, R., Kiermeier, A., Guillier, L., Cadavez, V., & Sanaa, M. (2024). Updated parameters for Listeria monocytogenes dose–response model considering pathogen virulence and age and sex of consumer. *Foods*, *13*(5), 751.

Pouillot, R., & Lubran, M. B. (2011). Predictive microbiology models vs. modeling microbial growth within Listeria monocytogenes risk assessment: What parameters matter and why. *Food Microbiology*, *28*(4), 720-726.

Presser, K. A., Ross, T., & Ratkowsky, D. A. (1998). Modelling the growth limits (growth/no growth interface) of Escherichia coli as a function of temperature, pH, lactic acid concentration, and water activity. *Applied and Environmental Microbiology*, *64*(5), 1773-1779.

Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational physics*, *378*, 686-707.

Ratkowsky, D. A., Olley, J., McMeekin, T. A., & Ball, A. (1982). Relationship between temperature and growth rate of bacterial cultures. *Journal of bacteriology*, *149*(1), 1-5.

Ratkowsky, D. A., & Ross, T. (1995). Modelling the bacterial growth/no growth interface. *Letters in Applied Microbiology*, *20*(1), 29-33.

Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016, August). " Why should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining* (pp. 1135-1144).

Roberts, D. R., Bahn, V., Ciuti, S., Boyce, M. S., Elith, J., Guillera-Arroita, G., ... & Dormann, C. F. (2017). Cross-validation strategies for data with temporal, spatial, hierarchical, or phylogenetic structure. *Ecography*, *40*(8), 913-929.

Ross, T. (1996). Indices for performance evaluation of predictive models in food microbiology. *Journal of applied bacteriology*, *81*(5), 501-508.

Rosso, L., Lobry, J. R., Bajard, S., & Flandrois, J. P. (1995). Convenient model to describe the combined effects of temperature and pH on microbial growth. *Applied and environmental microbiology*, *61*(2), 610-616.

Ross, T., & McMeekin, T. A. (1994). Predictive microbiology. *International journal of food microbiology*, *23*(3-4), 241-264.

Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature machine intelligence*, *1*(5), 206-215.

Saetae, D. (2025). Machine learning-based prediction of microbial growth and acidification in yogurt fermentation at industrial temperatures. *Lwt*, 118326.

Shafer, G., & Vovk, V. (2008). A tutorial on conformal prediction. *Journal of machine learning research*, *9*(3).

Sun, J., Xu, X., Feng, S., Zhang, H., Xu, L., Jiang, H., ... & Chen, W. (2023). Rapid identification of salmonella serovars by using Raman spectroscopy and machine learning algorithm. *Talanta*, *253*, 123807.

Sun, Z., & Wang, Z. (2025). SemiRaman: A self-supervised contrastive representation learning–based framework for semi-supervised Raman spectral identification of pathogenic bacteria. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 127356.

Sunil, S., Murphy, S. I., Chen, R., Chen, W., Guinness, J., Zhang, L. Q., ... & Wiedmann, M. (2025). Application of mechanistic models and the Gaussian process model to predict bacterial growth on baby spinach during refrigerated storage. *Journal of Food Protection*, *88*(1), 100417.

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). Reinforcement learning: An introduction 2nd ed. *MIT press Cambridge*, *1*(2), 25.

Tanui, C. K., Benefo, E. O., Karanth, S., & Pradhan, A. K. (2022). A machine learning model for food source attribution of Listeria monocytogenes. *Pathogens*, *11*(6), 691.

Tarlak, F., Şimşek, B. B., Şahin, M., & Pérez-Rodríguez, F. (2025). Next-Generation Predictive Microbiology: A Software Platform Combining Two-Step, One-Step and Machine Learning Modelling. *Foods*, *14*(18), 3158.

Tarlak, F., & Yücel, Ö. (2023). Prediction of Pseudomonas spp. population in food products and culture media using machine learning-based regression methods. *Life*, *13*(7), 1430.

Tenenhaus-Aziza, F., & Ellouze, M. (2015). Software for predictive microbiology and risk assessment: a description and comparison of tools presented at the ICPMF8 Software Fair. *Food microbiology*, *45*, 290-299.

Teunis, P., & Havelaar, A. (2000). The Beta Poisson dose-response model is not a single-hit model. *Risk Analysis*, *20*(4), 513-520.

Tienungoon, S., Ratkowsky, D. A., McMeekin, T. A., & Ross, T. (2000). Growth limits of Listeria monocytogenes as a function of temperature, pH, NaCl, and lactic acid. *Applied and Environmental Microbiology*, *66*(11), 4979-4987.

Treloar, N. J., Fedorec, A. J., Ingalls, B., & Barnes, C. P. (2020). Deep reinforcement learning for the control of microbial co-cultures in bioreactors. *PLoS computational biology*, *16*(4), e1007783.

Tsuruma, N., Doto, S., Ishida, W., Koyama, K., & Koseki, S. (2021). How many repetitions per condition are required for developing a stable growth/no growth boundary model for Bacillus simplex spores?. *Food Control*, *122*, 107756.

Valero, A., Hervás, C., García-Gimeno, R. M., & Zurera, G. (2007). Searching for new mathematical growth model approaches for Listeria monocytogenes. *Journal of food science*, *72*(1), M016-M025.

van Meer, F., Takeuchi, M., Ochieng, P. E., Tavelli, R., Gerssen, A., & van der Velden, B. H. (2026). Artificial intelligence in food safety. *npj Science of Food*.

Vose, D. (2008). *Risk analysis: a quantitative guide*. John Wiley & Sons.

World Health Organization. (2015). WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: Foodborne disease burden epidemiology reference group 2007–2015. World Health Organization.

Yu, C., Davidson, V. J., & Yang, S. X. (2006). A neural network approach to predict survival/death and growth/no-growth interfaces for Escherichia coli O157: H7. *Food microbiology*, *23*(6), 552-560.

Yücel, Ö., & Tarlak, F. (2023). An intelligent based prediction of microbial behaviour in beef. *Food Control*, *148*, 109665.

Williams, C. K., & Rasmussen, C. E. (2006). *Gaussian processes for machine learning* (Vol. 2, No. 3, p. 4). Cambridge, MA: MIT press.

World Health Organization. (2021). Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. https://www.who.int/publications/i/item/9789240029200

World Health Organization. (2023). Regulatory considerations on artificial intelligence for health. https://www.who.int/publications/i/item/9789240078871

Zhang, H., Wisuthiphaet, N., Cui, H., Nitin, N., Liu, X., & Zhao, Q. (2022). Spectroscopy approaches for food safety applications: Improving data efficiency using active learning and semi-supervised learning. *Frontiers in Artificial Intelligence*, *5*, 863261.

Zhu, L., Liu, Z., & Han, S. (2019). Deep leakage from gradients. *Advances in neural information processing systems*, *32*.

Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., & Van't Riet, K. J. A. E. M. (1990). Modeling of the bacterial growth curve. *Applied and environmental microbiology*, *56*(6), 1875-1881.

Zwietering, M. H., Wijtzes, T., De Wit, J. C., & Van't Riet, K. (1992). A decision support system for prediction of the microbial spoilage in foods. *Journal of Food Protection*, *55*(12), 973-979.

IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTIPLANTIBACILLUS PLANTARUM B14: FUNCTIONAL CHARACTERIZATION AND ANTIMICROBIAL PROFILING

Sarah ANJAM
Bolu Abant İzzet Baysal University, Institute of Graduate Studies, Department of Biology, Bolu, Türkiye,
ORCİD: ID/0009-0005-9216-4268,

LINA ZEYAD TAREQ ALHAKEEM
Al-Farahidi University, College of Medical Technology, Medical Laboratory Techniques, Baghdad, Iraq,
ORCID ID: 0000-0003-2276-7491

PROF. DR. MEHMET ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Bolu, Türkiye,
ORCİD: ID/0000-0001-6906-5257

Abstract
Lactiplantibacillus plantarum represents a metabolically versatile lactic acid bacterium (LAB) of considerable technological and clinical significance, widely used for its strong fermentative capacity and established probiotic efficacy. Its ability to survive the gastrointestinal environment and inhibit pathogenic microorganisms has made it an attractive candidate for next-generation nutraceutical and therapeutic formulations. However, probiotic characteristics are strain-dependent, necessitating comprehensive functional characterization and safety evaluation before commercial application. Therefore, the present study aimed to characterize *L. plantarum* B14 isolate by evaluating its probiotic potential and safety profile. The isolate was subjected to a series of in vitro assays to determine its probiotic attributes, including tolerance to simulated gastrointestinal conditions, antimicrobial activity, and colonization ability. The strain demonstrated high tolerance to acidic conditions (pH 3) and bile salts (0.3%), lysozyme (0.1 mg/mL), and phenol (0.4%), indicating its ability to withstand gastrointestinal transit. Antimicrobial activity was evaluated against five foodborne and clinically relevant pathogens, with inhibition zones ranging from 11 to 30 mm. The strongest antagonistic activity was observed against *Listeria monocytogenes* RSKK, which was likely due to organic acid production. Autoaggregation reached 66.7±2.7% after 24 h, indicating a strong ability for self-association. Co-aggregation analysis revealed the highest coaggregation ability with *L. monocytogenes* RSKK (38±3.9%), suggesting a potential role in limiting pathogen colonization within the gastrointestinal tract. Safety assessment demonstrated that the isolate exhibited γ-hemolysis and was negative for gelatinase production, indicating the absence of major virulence-associated phenotypes. Antibiotic susceptibility testing showed susceptibility to all tested antibiotics, whereas intermediate susceptibility was observed for kanamycin, suggesting the absence of notable antibiotic resistance traits under the tested conditions. Collectively, the investigated isolate exhibited desirable probiotic characteristics together with a favorable safety profile, highlighting its potential as a promising probiotic candidate. Nevertheless, further genomic characterization and in vivo studies are recommended to confirm its efficacy and long-term safety before commercial application.
Keywords: Lactobacillus, Probiotic, Antimicrobial, Autoaggregation

Acknowledgement:*This work was supported by funds from The Scientific Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under grant 123Z890 (to Mehmet Öztürk).*

IN VITRO PROBIOTIC POTENTIAL AND SAFETY ASSESSMENT OF LACTOBACILLUS GASSERI ATCC 33323

SARAH ANJAM
Bolu Abant İzzet Baysal University, Institute of Graduate Studies, Department of Biology, Bolu, Türkiye
ORCID: ID/0009-0005-9216-4268

MARWAH MAHMOOD ABDULRAZZAQ AL-JANABI
Al-turath University, Health and Medical Technologies Faculty, Medical Laboratory Techniques Department, Baghdad, Iraq,
ORCID: ID/0000-0001-7461-1865

PROF. DR. MEHMET ÖZTÜRK
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Biology, Bolu, Türkiye,
ORCID: ID/0000-0001-6906-5257

Abstract
Lactobacillus gasseri is an autochthonous member of the human gastrointestinal and urogenital microbiota widely recognized for its health-promoting attributes. Because probiotic traits vary significantly by strain, thorough functional and safety evaluations are essential prior to industrial use. Therefore, the present study aimed to characterize *L. gasseri* ATCC 33323 isolate by evaluating its probiotic potential and safety profile. The isolate was subjected to a series of in vitro assays to determine its probiotic attributes, including tolerance to simulated gastrointestinal conditions, antimicrobial activity, and colonization ability. The strain demonstrated tolerance to acidic conditions (pH 3) and bile salts (0.3%), lysozyme (0.1 mg/mL), and phenol (0.2%), indicating its ability to withstand gastrointestinal transit. Antimicrobial activity was evaluated against five foodborne and clinically relevant pathogens, with inhibition zones ranging from 5 to 22 mm. The strongest antagonistic activity was observed against *Listeria monocytogenes* RSKK, which was likely due to organic acid production. Autoaggregation reached 61.6±3.2% after 24 h, indicating a strong ability for self-association. Co-aggregation analysis revealed the highest coaggregation ability with *L. monocytogenes* RSKK (26±3.2%) and *Escherichia coli* (20.4±2.8 %), suggesting a potential role in limiting pathogen colonization within the gastrointestinal tract. Safety assessment demonstrated that the isolate exhibited γ-hemolysis and was negative for gelatinase production, indicating the absence of major virulence-associated phenotypes. Antibiotic susceptibility testing showed susceptibility to most tested antibiotics, whereas the strain was resistant to kanamycin, gentamicin, and neomycin on MRS agar. Collectively, *L. gasseri* ATCC 33323 demonstrates encouraging *in vitro* functional attributes and a reliable safety profile, supporting its consideration for further research. However, complementary genomic analyses and *in vivo* trials remain necessary to substantiate these findings and establish their practical utility.
Keywords: Lactobacillus, Probiotic, Antimicrobial, Autoaggregation
Acknowledgement: This work was supported by funds from The Scientific Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under grant 123Z890 (to Mehmet Öztürk).

DETERMINATION OF AFLATOXIN B1 CONTAMINATION IN PISTACHIOS PRODUCED IN TÜRKİYE

TÜRKİYE'DE ÜRETİLEN ANTEP FISTIKLARINDA AFLATOKSİN B1 KONTAMİNASYONUNUN BELİRLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KESKİN ALKAÇ
Fırat Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4914-3152

ABSTRACT

Aflatoxin B1 (AFB1) is one of the mycotoxins produced by *Aspergillus* species and poses a significant risk to food safety due to its potent toxic and carcinogenic properties. Pistachios are among the agricultural products at high risk of AFB1 contamination due to their susceptibility to *Aspergillus* infection during production and storage processes. This study aimed to determine the prevalence and concentration of AFB1 in pistachio samples available for consumption in Türkiye and to evaluate the results in terms of legal limits set by the European Commission and the Turkish Food Codex.

In this context, a total of 36 pistachio samples belonging to six different brands bearing a "Made in Türkiye" designation were obtained from chain markets in Türkiye in July 2026. AFB1 analyses in the samples were performed using high-performance liquid chromatography and a fluorescence detector (HPLC-FLD). The method's limit of detection (LOD) was determined to be 0.15 µg/kg, the limit of quantification (LOQ) 0.50 µg/kg, and the average recovery rate was 91%. AFB1 was detected in only one of the 36 samples analyzed (2.8%), with a concentration of 0.73±0.005 µg/kg. This value is well below the maximum AFB1 limit of 8 µg/kg set by the European Commission and the Turkish Food Codex for pistachios.

The findings indicate that AFB1 contamination levels in pistachios sold in Türkiye are low and consistent with trends reported in previous studies. However, given the public health risks posed by AFB1, maintaining regular monitoring programs and continuing good practices in harvesting and storage processes are of utmost importance.

Keywords: Aflatoxin B1, pistachios, HPLC, mycotoxin, food safety.

ÖZET

Aflatoksin B1 (AFB1), *Aspergillus* türleri tarafından üretilen ve güçlü toksik ile karsinojenik özellikleri nedeniyle gıda güvenliği açısından önemli risk oluşturan mikotoksinlerden biridir. Antep fıstığı, üretim ve depolama süreçlerinde *Aspergillus* enfeksiyonuna yatkın olması nedeniyle AFB1 kontaminasyonu açısından yüksek riskli tarımsal ürünler arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de tüketime sunulan Antep fıstığı örneklerinde AFB1'in yaygınlığını ve konsantrasyonunu belirlemek ve sonuçları Avrupa Komisyonu ve Türk Gıda Kodeksi tarafından belirlenen yasal sınırlar açısından değerlendirmektir.

Bu bağlamda, Temmuz 2026'da Türkiye'deki zincir marketlerden "Türkiye'de Üretilmiştir" ibaresi taşıyan altı farklı markaya ait toplam 36 adet Antep fıstığı numunesi temin edilmiştir. Numunelerdeki AFB1 analizleri yüksek performanslı sıvı kromatografisi ve floresans dedektörü (HPLC-FLD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemin tespit limiti (LOD) 0.15 µg/kg, tayin limiti (LOQ) 0.50 µg/kg ve ortalama geri kazanım oranı %91 olarak belirlenmiştir. Analiz edilen 36 örneğin yalnızca birinde (%2.8) AFB1 tespit edilmiş olup, konsantrasyon 0.73±0.005 µg/kg olarak belirlenmiştir. Bu değer, Avrupa Komisyonu ve Türk Gıda Kodeksi tarafından Antep fıstıkları için belirlenen 8 µg/kg'lık maksimum AFB1 limitinin oldukça altındadır.

Elde edilen bulgular, Türkiye'de tüketime sunulan Antep fıstığı örneklerinde AFB1 kontaminasyonunun düşük düzeyde olduğunu ve önceki çalışmalarda bildirilen eğilimlerle uyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, AFB1'in halk sağlığı açısından taşıdığı riskler göz önünde bulundurulduğunda, düzenli izleme programlarının sürdürülmesi ve hasat ile depolama süreçlerinde iyi uygulamaların devam ettirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aflatoksin B1, Antep fıstığı, HPLC, mikotoksin, gıda güvenliği.

INTRODUCTION

Filamentous fungi such as *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Claviceps*, and *Alternaria* can synthesize various mycotoxins, which are secondary metabolites, by growing on various agricultural products when suitable conditions are created during harvesting, storage, and transportation processes (Zamudio and Balleza, 2026). Mycotoxins can occur in a wide range of agricultural and food products, particularly when favorable environmental conditions exist during harvesting, transportation, and storage. Furthermore, the presence of multiple mycotoxins together can amplify toxic effects, posing significant risks to human and animal health (Okoye et al., 2025).

AFB1 is considered one of the most toxic and widely occurring aflatoxins. Due to its strong carcinogenic effect, it is classified as a Group 1 carcinogen by the International Agency for Research on Cancer (IARC) (IARC, 1993). AFB1 and its metabolites can contaminate many staple foods widely consumed worldwide. Contamination can be found in a wide range of foods including grains such as wheat, corn, and rice, as well as peanuts and other nuts, soybeans, sorghum, cocoa products, spices, beer, milk and dairy products, eggs, meat products, and cereal-based infant formulas (Açar and Akbulut 2024; Kos et al., 2024; Muñoz-Solano et al., 2024; Fakhri et al., 2025).

The effects of AFB1 on human and animal health have been extensively researched for many years. Experimental and epidemiological studies show that exposure to AFB1 through food causes significant toxic damage to vital organs such as the liver, kidneys, and heart (Altyar et al., 2023; Liu et al., 2023). Furthermore, AFB1 is considered a significant public health risk factor due to its toxic effects on the male reproductive system, which can progress to infertility, as well as its teratogenic, mutagenic, immunotoxic, and carcinogenic properties (Diaz and Murcia, 2019; Korkak et al., 2025; Wang et al., 2020).

Pistachio (*Pistacia vera* L.) is susceptible to colonization by toxigenic Aspergillus species, particularly *Aspergillus flavus*, which produces aflatoxins. Therefore, the maximum permitted aflatoxin levels in pistachios by the European Commission have been set at 8 µg/kg for AFB1 and 10 µg/kg for total aflatoxins (European Commission, 2023). Aflatoxin formation in pistachios is affected by many factors that occur during both pre-harvest and post-harvest processes. In particular, premature cracking of the peel facilitates the entry of fungi into the fruit, increasing aflatoxin production, while delays in peeling and drying after harvesting significantly increase the risk of contamination (Esmaeilpour and Shakerardekani, 2022). In addition, insect pests create openings that facilitate the entry of *Aspergillus* species into the product, increasing the likelihood of infection and toxin formation (Kaminiaris et al., 2025). Records from the European Union Food and Feed Rapid Alert System (RASFF) show that pistachios exported from Türkiye, Iran, and the United States are among the most frequently reported product groups for exceeding aflatoxin limits (Mateus et al., 2021). This situation reveals that aflatoxin contamination is not only a public health issue but also a significant economic problem in international trade due to shipment rejections, export restrictions, and associated economic losses (Gharibzahedi and Savas, 2025).

This study aimed to determine the prevalence and levels of AFB1 contamination in pistachio samples available for consumption in Türkiye and to evaluate the findings according to the maximum legal limits established by the European Commission and the Turkish Food Codex.

METHODOLOGY

Sample Collection

Between July 1st and July 31st, 2026, a total of 36 pistachio samples from 6 different brands were collected from chain supermarkets in Türkiye. To maintain confidentiality, the brands were named A, B, C, D, E, and F. Six packages from each brand were collected, from different production lots. The brands were selected based on the "made in Türkiye" statement on the packaging. The collected samples were stored at -20°C until analysis.

Standard Solution and Sample Preparation

AFB1 standard dissolved in acetonitrile at a concentration of 2 µg/mL was used as the stock solution. Due to the risk of degradation under UV light, the stock solution was sealed with foil and stored at -20

°C. The stock solution was then diluted and analyzed at six different concentrations ranging from 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, and 2 ppb, and a calibration graph was plotted.
One gram of each sample was weighed and transferred to 15 mL falcon tubes. 0.1 grams of NaCl and 4 mL of methanol: water (80/20, v/v) were added and homogenized. Then, 2 mL of the extract was transferred to centrifuge tubes and centrifuged at 10,000 × g for 15 minutes. 500 µL of the supernatant was diluted with 500 µL of distilled water. 40 µL of the final solution was injected into the HPLC system (Mannani et al., 2023). Each sample was analyzed in triplicate, and the mean concentration and standard deviation of the triplicate measurements were calculated.

Chromatographic Conditions
For AFB1 analysis of pistachio samples, a Shimadzu brand HPLC instrument (Tokyo, Japan, 2012) equipped with a pump (LC-20AT controlled by CBM-20A), automatic sampler (SIL-20A), degasser (DGU-20A), column oven (CTO-20A), and fluorescence detector (RF-10AXL) was used. AFB1 was detected using fluorescence detection at excitation and emission wavelengths of 360 and 430 nm, respectively. A C18 column (250 × 4.6 mm; inner diameter, 5 µm; Cosmil) was used for chromatographic separation. The column temperature was maintained at 30 °C. The run time was set at 30 min. The mobile phase was prepared from a water:acetonitrile:methanol (60:20:20, v/v/v) mixture containing 120 mg potassium bromide and 350 µL of 4 M nitric acid, and introduced into the system at a flow rate of 1 mL/min (Korkak et al., 2025).

Determination of the Limit of Detection and Limit of Quantification for Aflatoxin B1
To determine the limit of detection (LOD) and limit of quantification (LOQ) of the method, 1 ppb of AFB1 standard was added to control samples and analyzed 10 times. The LOD and LOQ were calculated as 3 and 10 times the standard deviation of ten replicate measurements of the 1 ppb AFB1-spiked control sample, respectively. LOD and LOQ values for AFB1 were determined to be 0.15 µg/kg and 0.5 µg/kg, respectively. The average recovery of the method was determined to be 91%.

RESULTS
Table 1 shows the AFB1 residue levels in the analyzed pistachio samples. Out of a total of 36 pistachio samples from 6 different brands examined, only one sample (2.8%) tested positive. The only AFB1-positive sample had a mean concentration of 0.73 ± 0.005 µg/kg based on triplicate measurements. The detected AFB1 concentration was below the maximum limit of 8 µg/kg established by the European Commission and the Turkish Food Codex (European Commission, 2023, Turkish Food Codex, 2011).

Table 1. Aflatoxin B1 Residue Levels in Pistachio Samples (µg/kg)

Brands	Sample size	Positive samples	Mean ± SD (µg/kg)
A	6	0	0±0
B	6	0	0±0
C	6	1	0.73±0.005
D	6	0	0±0
E	6	0	0±0
F	6	0	0±0
Total	36	1	0.73±0.005

Values are expressed as mean ± SD of triplicate measurements.

CONCLUSION AND DISCUSSION
Mycotoxins are toxic secondary metabolites synthesized by various mold fungi, primarily *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Fusarium* species, during cultivation, harvesting, drying, transportation, and storage under suitable environmental conditions, and constitute a significant source of contamination in food products (Korkak et al., 2025). Among these mycotoxins, aflatoxin B1 (AFB1) is considered one of the most important foodborne contaminants due to its high toxicity and strong carcinogenic properties (IARC, 1993). Experimental and epidemiological studies have shown that AFB1 exposure causes serious toxic effects in many organs and physiological systems, particularly the liver, kidneys, heart, immune system, and reproductive system (Altyar et al., 2023; Liu et al., 2023; Muhmood et al., 2024;

Korkak et al., 2025). Therefore, regular monitoring of AFB1 and other mycotoxins in food, enforcement of legal limits, and implementation of effective control strategies are of great importance for ensuring food safety and protecting public health.

Aflatoxin contamination in pistachios remains a significant concern for food safety and international trade due to the strong carcinogenic properties of AFB1 and the favorable conditions for Aspergillus growth during pistachio production, harvesting, and storage processes (Gharibzahedi and Savas, 2025). Studies conducted in different countries and published in the literature show that the prevalence and levels of AFB1 contamination in pistachios can vary significantly depending on the region, production conditions, and post-harvest practices.

In Türkiye, among a total of 108 pistachio samples analyzed between 2007 and 2009, the percentage of samples with AFB1 levels above 2 µg/kg was reported as 19%, 37%, and 36%, respectively; and in 50 of the positive samples, AFB1 concentrations ranged from 10 to 477 µg/kg (Ulca et al., 2010). The same study also found 15 and 12 µg/kg AFB1 in samples of Turkish delight and croquant containing pistachios, respectively, indicating that contamination can persist even in processed products. In another study conducted in Türkiye, AFB1 levels in packaged and unpackaged pistachios collected in 2008 and 2009 were reported to be 0.06–0.96 ppb and 0.07–7.72 ppb, respectively (Set and Erkmen, 2010).

A study conducted in Iran reported that AFB1 levels in pistachios ranged from 0.22–7.959 ng/g, while ochratoxin A (OTA) levels ranged from 0.886–3.318 ng/g. In the same study, the fact that aflatoxin contamination was detected only in peanuts with discoloration in the shell suggests that visual quality defects may be an important indicator of contamination (Taghizadeh et al., 2018). Furthermore, previous studies have shown that peanuts, especially those that are mature and have cracked their shells early, carry a higher risk of AFB1 contamination due to their greater susceptibility to *Aspergillus flavus* infection (Ghali et al., 2009). In contrast, a 2023 study conducted in Morocco found AFB1 in only one out of 30 pistachio samples, demonstrating that proper production and storage practices can significantly reduce contamination frequency (Mannani et al., 2023).

AFB1 contamination levels reported in earlier studies were higher than those reported in some recent studies. The findings of the present study, based on pistachio samples collected in 2026, are also consistent with this trend. This difference may be associated with factors such as increased awareness among producers of the risk factors affecting aflatoxin formation, wider adoption of good agricultural practices, improvements in harvesting and post-harvest processes, and better control of storage conditions. Furthermore, the rejection of products exceeding aflatoxin limits in international markets leads to significant economic losses for producers, and this is considered an important driving force encouraging the adoption of preventive practices for aflatoxin control.

AFB1 contamination levels observed in the present study were lower than those reported in some previous studies conducted in Türkiye. However, due to the high toxicity potential of AFB1, continuing regular monitoring studies on pistachios, promoting good agricultural and storage practices, and implementing effective quality control systems remain important for both protecting public health and ensuring sustainability in international trade.

REFERENCES

Zamudio, M.C., Balleza, D. (2026). Aflatoxin B1 and food safety: Mechanisms of action associated to Hepatocellular Carcinoma. *Arch Microbiol*, 208(8):417. doi: 10.1007/s00203-026-04978-4. PMID: 42223606.

Okoye, C.O., Ezenwanne, B.C., Olalowo, O.O., Ajanwachukwu, O.J., & Chukwudozie, K.I. (2025). Microbial-mycotoxin interactions in food: a review of ecotoxicological implications and omics approaches for understanding detoxification mechanisms. *Food Microbiology*, 104955.

IARC (International Agency for Research on Cancer) (1993). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: some naturally occurring substances, food items and constituents, heterocyclic aromatic amines and mycotoxins. International Agency for Research on Cancer, 56, pp. 489-521.

Açar, Y., and Akbulut, G. (2024). Evaluation of aflatoxins occurrence and exposure in cereal-based baby foods: an update review. *Current Nutrition Reports*, 13(1), 59-68.

Kos, J., Radić, B., Radović, R., Šarić, B., Jovanov, P., & Šarić, L. (2024). Aflatoxins in maize, milk and dairy products from Serbia. *Food Addit Contam: Part B*, 17(4), 296-307.

Muñoz-Solano, B., Lizarraga Pérez, E., & González-Peñas, E. (2024). Monitoring mycotoxin exposure in food-producing animals (cattle, pig, poultry, and sheep). *Toxins*, 16(5), 218.

Fakhri, Y., Ranaei, V., Pilevar, Z., Moradi, M., Mahmoudizeh, A., Hemmati, F., & Mousavi Khaneghah, A. (2025). The prevalence and concentration of aflatoxins in beers: a global systematic review and meta-analysis and probabilistic health risk assessment. Int J Environ Health Res, 35(2), 521-539.

Altyar, A.E., Kensara, O.A., Sayed, A.A., Aleya, L., Almutairi, M.H., Zaazouee, M. S., Abdel-Daim, M.M. (2023). Acute aflatoxin B1-induced hepatic and cardiac oxidative damage in rats: Ameliorative effects of morin. *Heliyon*, 9(11).

Liu, H., He, Y., Gao, X., Li, T., Qiao, B., Tang, L., Hu, L. (2023). Curcumin alleviates AFB1-induced nephrotoxicity in ducks: regulating mitochondrial oxidative stress, ferritinophagy, and ferroptosis. *Mycotoxin Research*, 39(4), 437-451.

Diaz, G.J., Murcia, H.W. (2019). An unusually high production of hepatic aflatoxin B1-dihydrodiol, the possible explanation for the high susceptibility of ducks to aflatoxin B1. *Scientific Reports*, 9(1), 8010.

Korkak, F.A., Alkaç, Z.K., Arkalı, G., Güngör, İ.H., Yüksel, B.F., İncili, C.A., Tanyıldızı, S., Dağoğlu, G. (2025). Co-administration of rifampicin and Boswellia serrata mitigates testicular toxicity caused by Aflatoxin B1. *Toxicon*, 255:108238. doi: 10.1016/j.toxicon.2025.108238. Epub 2025 Jan 15. PMID: 39824464.

Wang, L., He, L., Zeng, H., Fu, W., Wang, J., Tan, Y., Shu, W. (2020). Low-dose microcystin-LR antagonizes aflatoxin B1 induced hepatocarcinogenesis through decreasing cytochrome P450 1A2 expression and aflatoxin B1-DNA adduct generation. *Chemosphere*, 248, 126036.

European Commission. (2023). Commission Regulation (EU) 2023/915 of 25 April 2023 on maximum levels for certain contaminants in food and repealing Regulation (EC) No 1881/2006. *Off. J. Eur. Union*, 119, 103-157.

Esmaeilpour, A., & Shakerardekani, A. (2022). Effect of harvesting time and delay in the hulling process on the aflatoxin content of pistachio nuts. *J Food Quality*, 2022(1), 7831016.

Kaminiaris, M.D., Varveri, M., Dimakopoulou, M.G., & Tsitsigiannis, D.I. (2025). Effective chemical management of Aspergillus flavus and aflatoxin contamination in pistachio nuts and orchards. *Pest Manag Sci*, 81(9), 5062-5070.

Mateus, A.R.S., Barros, S., Pena, A., & Silva, A.S. (2021). Mycotoxins in pistachios (Pistacia vera l.): Methods for determination, occurrence, decontamination. *Toxins*, 13: 682.

Gharibzahedi, S.M.T., Savas, S. (2025). Processing and Real-Time Monitoring Strategies of Aflatoxin Reduction in Pistachios: Innovative Nonthermal Methods, Advanced Biosensing Platforms, and AI-Based Predictive Approaches. *Foods*, 14(19):3411. doi: 10.3390/foods14193411. PMID: 41097579; PMCID: PMC12523715.

Mannani, N., El Boujamaai, M., Sifou, A., Bennani, M., El Adlouni, C., Abdennebi, E.H., Zinedine, A. (2023). Aflatoxins and Ochratoxin A in dried fruits from Morocco: Monitoring, regulatory aspects, and exposure assessment. *Regul Toxicol Pharmacol*, 145,105503. doi: 10.1016/j.yrtph.2023.105503. Epub 2023 Sep 29. PMID: 37778435.

Turkish Food Codex Türk Gıda Kodeksi Bulaşanlar Yönetmeliği. Resmî Gazete Tarihi: 29.12.2011 Resmî Gazete Sayısı: 28157 (3.Mükerrer) [(accessed on 26 February 2023)]; Available online: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat

Ulca, P., Evcimen, M.K., Senyuva, H.Z. (2010). Surveys of aflatoxin B1 contamination of retail Turkish foods and of products intended for export between 2007 and 2009. *Food Addit Contam Part B Surveill*, 3(2):120-5. doi: 10.1080/19393210.2010.493619. PMID: 24785502.

Set, E., Erkmen, O. (2010). The aflatoxin contamination of ground red pepper and pistachio nuts sold in Turkey. *Food Chem Toxicol*. 48(8-9):2532-7. doi: 10.1016/j.fct.2010.06.027. Epub 2010 Jun 19. PMID: 20600537.

Taghizadeh, S.F., Rezaee, R., Davarynejad, G., Asili, J., Nemati, S.H., Goumenou, M., Tsakiris, I., Tsatsakis, A.M., Shirani, K., Karimi, G. (2018). Risk assessment of exposure to aflatoxin B1 and ochratoxin A through consumption of different Pistachio (Pistacia vera L.) cultivars collected from four geographical regions of Iran. *Environ Toxicol Pharmacol*, 61:61-66. doi: 10.1016/j.etap.2018.05.010. Epub 2018 May 24. PMID: 29852370.

Ghali, R., Belouaer, I., Hdiri, S., Ghorbel, H., Maaroufi, K., & Hedilli, A. (2009). Simultaneous HPLC determination of aflatoxins B1, B2, G1 and G2 in Tunisian sorghum and pistachios. J Food Compost Anal, 22(7-8), 751-755.

MİKRO- VE NANOPLASTİKLER VE İNSAN SAĞLIĞI: SİSTEMİK BİYODAĞILIM VE HEDEF ORGANLAR

MICRO- AND NANOPLASTICS AND HUMAN HEALTH: SYSTEMIC BIODISTRIBUTION AND TARGET ORGANS

Dr. Hayat AYAZ
Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Dicle University, 21280, Diyarbakır, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0556-9031

Assoc. Prof. Fırat AŞIR
Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Dicle University, 21280, Diyarbakır, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-6384-9146

Abstract
While microplastics (MPs) are defined as plastic particles smaller than 5 mm in diameter, particles ranging from 1 to 1000 nm are classified as nanoplastics (NPs). Their ubiquity and persistence in the environment have rendered exposure to micro- and nanoplastics (MNPs) a critical public health concern. Humans are primarily exposed to MNPs through oral, inhalation, and dermal routes. In addition, medical procedures represent an iatrogenic source of exposure that can facilitate direct entry into the bloodstream. Emerging evidence indicates that particularly small-sized microplastics and nanoplastics can traverse key biological barriers, such as the intestinal epithelium, the placenta, and the blood-brain barrier. Particles entering the systemic circulation have been reported to accumulate in various tissues, most notably the liver, kidneys, lungs, brain, and reproductive organs. Experimental studies demonstrate that MNP exposure is associated with disrupted barrier integrity in the gastrointestinal tract, hepatocellular injury in the liver, tubular changes in the kidneys, alveolar and parenchymal damage in the lungs, neuroinflammation in the central nervous system, and structural and functional alterations in reproductive organs. Interrelated mechanisms, including oxidative stress, inflammation, mitochondrial dysfunction, and programmed cell death, play a key role in the development of these pathologies. In this review, the entry pathways and systemic biodistribution of MNPs, as well as the pathological alterations they induce in different organs and tissues, are evaluated in light of the current literature. Although existing findings underscore the significance of MNP exposure in terms of multi-organ toxicity, further research utilizing standardized methodologies is urgently needed to elucidate long-term health outcomes, particularly in humans.
Keywords: Biological barriers, Cellular mechanisms, Microplastic, Nanoplastic, Systemic biodistribution

Özet
Mikroplastikler (MP), çapı 5 mm'den küçük plastik parçacıkları olarak tanımlanırken, 1–1000 nm boyutundaki parçacıklar nanoplastik (NP) olarak sınıflandırılmaktadır. Çevrede yaygın ve kalıcı olmaları, mikro- ve nanoplastiklere (MNP) maruziyeti önemli bir sağlık sorunu hâline getirmiştir. İnsanlar MNP'lere başlıca oral, inhalasyon ve dermal yollarla maruz kalmaktadır. Bunun yanı sıra tıbbi uygulamalar, doğrudan dolaşıma geçişe neden olabilen iyatrojenik bir maruziyet kaynağıdır. Güncel bulgular, özellikle küçük boyutlu mikroplastiklerin ve nanoplastiklerin bağırsak epiteli, plasenta ve kan-beyin bariyeri gibi biyolojik bariyerleri aşabildiğini göstermektedir. Sistemik dolaşıma katılan partiküllerin karaciğer, böbrek, akciğer, beyin ve üreme organları başta olmak üzere farklı dokulara ulaşabildiği bildirilmiştir. Deneysel çalışmalar, MNP maruziyetinin gastrointestinal sistemde bariyer bütünlüğünün bozulması, karaciğerde hepatoselüler hasar, böbrekte tübüler değişiklikler, akciğerde alveoler ve parankimal hasara, sinir sisteminde nöroinflamasyon ve üreme organlarında yapısal ve fonksiyonel değişikliklerle ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu etkilerin gelişiminde oksidatif stres, inflamasyon, mitokondriyal disfonksiyon ve programlanmış hücre ölümü gibi birbiriyle ilişkili mekanizmalar rol oynamaktadır.

Bu derlemede, MNP'lerin vücuda giriş yolları ve sistemik biyodağılımı ile farklı organ ve dokularda oluşturduğu patolojik değişiklikler güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Mevcut bulgular MNP maruziyetinin çoklu organ toksisitesi açısından önem taşıdığını göstermekle birlikte, özellikle insanlardaki uzun dönem etkilerin ortaya konulabilmesi için standartlaştırılmış yöntemlerle yürütülen ileri çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Biyolojik bariyerler, Hücresel mekanizmalar, Mikroplastik, Nanoplastik, Sistemik biyodağılım.

SYSTEMS BIOLOGY-BASED ANALYSIS OF GENE EXPRESSION CHANGES IN CELL FUSION

HÜCRE FÜZYONUNDA GEN İFADESİ DEĞİŞİKLİKLERİNİN SİSTEM BİYOLOJİSİ TEMELLİ ANALİZİ

Prof. Dr. Şenay GÖRÜCÜ YILMAZ
Gaziantep University, Health Science Faculty
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0523-7819

Dr. Mutlu Can ASLANPAY
Gaziantep University, DOSAP Researcher
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2259-5127

ABSTRACT

This study aimed to globally investigate gene expression changes during cell fusion using a systems biology approach. Five transcriptomic studies representing different fusion types (myoblast, osteoclast, trophoblast, cancer, and macrophage) were selected from the GEO database. Data from a total of 142 samples (71 pre-fusion, 71 post-fusion) were corrected for batch effects using the ComBat algorithm, and differential expression analysis was performed with the limma package (adj. $p < 0.01$, $|\log2FC| > 1$). Functional enrichment (clusterProfiler), protein-protein interaction network (STRING), and transcription factor regulatory network (TRRUST) analyses were applied. A total of 1,247 genes were significantly altered after fusion (765 upregulated, 482 downregulated); the highest upregulation was observed for *CD36*, *IL1B*, and *MMP9*, while the most pronounced downregulation was seen for *EPCAM* and *CDKN1A*. Enrichment analyses revealed that the altered genes were enriched in critical biological processes, including cell adhesion, inflammatory response, extracellular matrix organization, and cell cycle regulation. In the PPI network, *STAT3*, *MYC*, and *NFKB1* emerged as hub proteins with the highest centrality, and TF analyses showed that these transcription factors regulate large target sets (MYC: 87, STAT3: 65, NFKB1: 58) and play central roles in the fusion process. The findings indicate that cell fusion has a universal gene expression signature and that the *MYC-STAT3-NFKB1* axis is a key regulator of fusion transcription. The data provide novel molecular targets such as *MMP9*, *STAT3*, and *VEGFA* for therapeutic strategies, including inhibition of fusion in cancer metastasis and promotion of fusion in muscle regeneration.

Keywords: Cell fusion, gene expression, meta-analysis, bioinformatics, transcription factors, systems biology.

ÖZET

Bu çalışma, hücre füzyonu sürecinde meydana gelen gen ekspresyonundaki değişiklikleri sistem biyolojisi yaklaşımıyla küresel ölçekte incelemeyi amaçlamıştır. GEO veritabanından farklı füzyon tiplerini (miyoblast, osteoklast, trofoblast, kanser ve makrofaj) temsil eden 5 transkriptom çalışması seçilmiş; toplam 142 örneğe (71 füzyon öncesi, 71 sonrası) ait veriler ComBat algoritması ile batch etkilerinden arındırıldıktan sonra limma paketi ile diferansiyel ekspresyon analizi yapılmıştır (adj. $p < 0{,}01$, $|\log2FC| > 1$). Fonksiyonel zenginleşme (clusterProfiler), protein-protein etkileşim ağı (STRING) ve transkripsiyon faktörü düzenleyici ağ (TRRUST) analizleri uygulanmıştır. Füzyon sonrası 1.247 genin anlamlı düzeyde değiştiği (765 up, 482 down) belirlenmiş; en yüksek upregülasyon *CD36*, *IL1B* ve *MMP9*'da, en belirgin downregülasyon ise *EPCAM* ve *CDKN1A*'da gözlenmiştir. Zenginleşme analizleri, değişen genlerin başta hücre adhezyonu, inflamatuar yanıt, ekstraselüler matriks organizasyonu ve hücre döngüsü olmak üzere kritik biyolojik süreçlerde yoğunlaştığını göstermiştir. PPI ağında *STAT3*, *MYC* ve *NFKB1* en yüksek merkezilik derecesine sahip hub proteinler olarak öne çıkarken, TF analizleri bu transkripsiyon faktörlerinin geniş hedef kümelerini (*MYC*: 87, *STAT3*: 65, *NFKB1*: 58) düzenlediğini ve füzyon sürecinde merkezi bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Bulgular, hücre füzyonunun evrensel bir gen ekspresyon imzası taşıdığını ve *MYC-STAT3-NFKB1* ekseninin füzyonun transkripsiyonel kontrolünde anahtar düzenleyici olduğunu göstermektedir.

Elde edilen veriler, kanser metastazında füzyonun inhibisyonu ve kas rejenerasyonunda füzyonun teşviki gibi terapötik stratejiler için *MMP9*, *STAT3* ve *VEGFA* gibi yeni moleküler hedefler sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Hücre füzyonu, gen ekspresyonu, meta-analiz, biyoinformatik, transkripsiyon faktörleri, sistem biyolojisi.

INTRODUCTION

Cell fusion, or syncytium formation, is a fundamental biological process in which two or more distinct cells merge their plasma membranes to form a single multinucleated cellular entity. This process is essential for the development and homeostasis of multicellular organisms, playing critical roles in skeletal muscle formation, bone remodeling, placental development, and immune responses. During myogenesis, mononucleated myoblasts fuse to form multinucleated myotubes, a process indispensable for skeletal muscle growth and repair. Similarly, osteoclast fusion generates large multinucleated cells required for bone resorption, while trophoblast fusion creates the syncytiotrophoblast layer of the human placenta, which is essential for maintaining pregnancy and ensuring fetal health (Sieler and Dittmar, 2024; Renaud, 2024; Chitale, Kulkarni, and Bapat, 2025; You, Chen, Wang, Li, and Li, 2025). Beyond these physiological roles, cell fusion is also implicated in pathological conditions, including cancer progression, metastasis, and viral infections.

The fusion process generates heterokaryons or syncytia—structures containing multiple nuclei within a shared cytoplasm—that undergo profound reprogramming of their gene expression profiles. These transcriptional changes can drive the acquisition of new cellular identities and functions, a phenomenon that has captured the attention of both basic and translational researchers. In cancer, for instance, fusion between tumor cells and macrophages or other migratory cells can generate hybrid cells with enhanced metastatic potential, chemoresistance, and stem-like properties (Wherley, Thomas, Millay, Saunders, and Roy, 2024). The cancer cell–leukocyte fusion theory posits that such fusion events explain the aberrant gene expression patterns and phenotypic diversity observed in malignant cells. In the context of regenerative medicine, cell fusion has been explored as a mechanism for cellular reprogramming and tissue repair, with fused cells exhibiting dynamic and coordinated changes in gene regulatory networks that generate novel hybrid cell states (Płachno, Kapusta, and Świątek, 2024). Despite the recognized importance of cell fusion, a comprehensive understanding of its universal gene expression signature and the conserved transcriptional programs that govern it remains elusive. Recent advances in single-cell transcriptomics have begun to illuminate the heterogeneity of fusion-competent cell populations and the dynamic nature of post-fusion transcriptional reprogramming. For example, single-cell RNA-sequencing has revealed distinct fusion-competent myoblast states that differentially express fusogens such as myomaker and myomixer, offering new insights into how muscle cells coordinate fusion during embryonic development. Similarly, integrative single-cell computational frameworks have mapped the transcriptional and signaling alterations following fusion between cardiomyocytes and mesenchymal stromal cells, revealing biased distributions of gene expression and acquired phenotypes in fused hybrids (Nazaryabrbekoh, Huang, Shoaib, Tang, Kim, and Brenda, 2025).

At the regulatory level, transcription factors play a central role in orchestrating fusion-associated gene expression changes. Recent work has identified TFEB as a critical regulator of syncytin expression and trophoblast fusion in the human placenta, demonstrating that this transcription factor, traditionally known for its role in autophagy and lysosomal biogenesis, translocates to the nucleus during syncytiotrophoblast formation and binds to the promoters of fusogenic genes (Renaud, 2024). In muscle cells, the ERK5 signaling pathway regulates myoblast fusion through Klf transcription factors, while the MyoD and MEF2 families remain central to the myogenic transcriptional program (Wherley, Thomas, Millay, Saunders, and Roy, 2024). In the context of oncogenic fusions, fusion proteins such as PAX3::FOXO1 in rhabdomyosarcoma and EWS::FLI1 in Ewing sarcoma rewire transcriptional machinery to promote proliferation and survival while blocking differentiation. These findings underscore the importance of transcription factor networks in mediating the functional consequences of cell fusion across diverse biological contexts.

The convergence of these observations raises fundamental questions: Is there a universal "gene expression signature" of cell fusion that transcends cell type and biological context? What are the common pathways and regulatory hubs that are consistently activated or repressed following fusion?

How do fusion-associated expression changes relate to key cellular processes such as cell cycle regulation, apoptosis, and epithelial-mesenchymal transition? And can these findings be leveraged for therapeutic targeting in cancer or for regenerative medicine applications?

To address these questions, we conducted a comprehensive meta-analysis of publicly available transcriptomic datasets from five independent studies encompassing diverse fusion contexts—including human myoblast fusion, murine osteoclast fusion, human trophoblast fusion, human tumor cell fusion, and murine macrophage fusion. By integrating these datasets and applying systematic bioinformatics analyses, we aimed to identify differentially expressed genes (DEGs) common across fusion types, elucidate the biological pathways and protein-protein interaction networks enriched among these genes, and characterize the transcription factor regulatory networks that govern fusion-associated transcriptional reprogramming. Our analysis also explored the disease associations of fusion-related genes and their potential as therapeutic targets or biomarkers.

This study represents, to our knowledge, the first systematic meta-analysis of cell fusion transcriptomes across multiple cell types and biological contexts. By leveraging the power of meta-analysis to increase statistical power and identify robust, reproducible signals, we sought to uncover the core transcriptional program of cell fusion and its implications for both fundamental cell biology and translational medicine. The findings presented herein provide a comprehensive "Fusion Expression Atlas" that maps the transcriptional landscape of cell fusion and identifies key regulatory hubs—including MYC, STAT3, and NFKB1—that may serve as nodes for therapeutic intervention in cancer, inflammatory diseases, and regenerative medicine.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

The conceptual framework of this study is built upon the central hypothesis that cell fusion, irrespective of the cellular context (physiological or pathological), induces a conserved core transcriptional reprogramming while simultaneously eliciting context-specific adaptive responses. This framework integrates principles of systems biology, network medicine, and functional genomics to systematically decode the black box of post-fusion gene expression dynamics. To operationalize this hypothesis, we developed a multi-layered analytical architecture that progresses from raw biological heterogeneity to high-confidence translational insights. This framework is structured across four interconnected levels, moving from data acquisition to functional interpretation, and finally to therapeutic inference.

1. The Conceptual Premise: "Common Ground vs. Contextual Divergence"

At its core, the framework posits that the physical merger of two distinct cellular compartments creates a unique "hybrid transcriptomic state." We propose that three fundamental biological imperatives universally drive this state across different fusion types: **Adhesion and Cytoskeletal Remodeling:** The immediate requirement for membrane merging universally upregulates adhesion molecules and ECM modifiers. **Metabolic and Energetic Demands:** The newly formed multinucleated entity necessitates a shift in metabolic programming to sustain increased biomass and bioenergetic needs. **Nuclear Reprogramming:** The mixing of nuclear contents and cytoplasmic signaling cascades leads to a "transcriptional tug-of-war," where master transcription factors converge to establish a new homeostasis. Our conceptual model distinguishes between **"Core Universal Genes"** (e.g., *CD36*, *MMP9*) that are consistently dysregulated across all fusion contexts, and **"Satellite Contextual Genes"** (e.g., placental-specific fusogens versus myogenic-specific regulators) that fine-tune the process for specific tissue functions. This distinction is critical for distinguishing fundamental fusion biology from tissue-specific adaptation.

2. The Analytical Pipeline

The framework is operationalized through a structured, stepwise bioinformatics pipeline that translates raw transcriptomic noise into biological meaning: **Heterogeneous Data Harmonization**: **Concept**: To mitigate experimental bias and uncover the true biological signal, the framework integrates five distinct GEO datasets (myoblast, osteoclast, trophoblast, tumor, and macrophage fusions). **Rationale**: By applying rigorous batch-effect correction (ComBat) and quality control, we ensure that the subsequent differential expression signals reflect genuine fusion biology rather than technical artifacts or platform-specific variations.

Differential Expression and Functional Landscape: **Concept**: This layer serves as the "translator" between raw gene counts and cellular phenotypes. By applying strict statistical thresholds (|log2FC| > 1, FDR < 0.01), we systematically map the transcriptomic landscape of fusion. **Rationale**: We utilize Gene Ontology (GO) and KEGG/Reactome pathway enrichment to functionally annotate the identified DEGs. This transforms a list of gene names into high-order biological narratives—such as the activation of inflammatory responses (TNF signaling) or the suppression of apoptosis—providing a functional context for the transcriptional changes. **Regulatory Network Construction (The Causal Layer)**: **Concept**: Recognizing that genes do not act in isolation, this layer shifts the analysis from a "gene-list" approach to a "network-connectivity" approach. **Sub-component A (Protein-Protein Interactome)**: Utilizing STRING and Cytoscape, we build physical interaction networks to identify **"Hub Nodes"** (e.g., *STAT3*, *MYC*, *TP53*). These hubs represent the central organizational points of the fusion-induced proteomic landscape. **Sub-component B (Transcription Factor Hierarchy)**: By employing TRRUST and JASPAR, we perform upstream regulator analysis. This aims to uncover the **"Master Switches"**—the transcription factors whose activation (or repression) drives the differential expression of the target genes. This causal inference allows us to propose a hierarchical regulatory cascade (e.g., *MYC/STAT3/NFKB1* axis) orchestrating the fusion response. **Translational Integration**: **Concept**: This final layer bridges fundamental biology with clinical application. The framework explicitly links the identified regulatory hubs and dysregulated pathways to human disease phenotypes using DisGeNET and literature mining. **Rationale**: By mapping the fusion signature onto cancer progression, inflammation, and regenerative deficits, we can stratify the identified genes into actionable categories: **(a)** Potential diagnostic biomarkers, **(b)** Therapeutic targets for inhibition (to block pathological fusion in cancer), and **(c)** Therapeutic targets for activation (to promote physiological fusion in muscle regeneration).

3. Dynamic Temporal Inference

Although our primary analysis utilizes cross-sectional data (pre- vs. post-fusion), the conceptual framework incorporates a **temporal model** to hypothesize the sequence of events. We propose three sequential but overlapping phases, which guide the interpretation of our results: **The "Trigger" Phase**: Immediate upregulation of adhesion (e.g., *CD36*) and actin-cytoskeleton rearrangement genes. **The "Execution" Phase**: Peak activation of extracellular matrix remodeling (e.g., *MMP9* and *MMP2*) to facilitate membrane breakdown and merger. **The "Stabilization" Phase**: Establishment of the new transcriptional identity driven by the sustained activation of oncogenic TFs (*MYC* and *STAT3*) and the suppression of lineage-specific apoptosis genes.

4. Limitations and Assumptions

The framework explicitly acknowledges two key assumptions: **Static Snapshot**: It assumes that the pooled post-fusion samples are representative of a steady-state "mature" hybrid cell, rather than capturing the highly dynamic transitional stages (which will be explored via future single-cell time-series studies). **Epistatic Interplay**: While we identify TFs and protein hubs, the framework does not assume simple linear causality; rather, it suggests a complex, interconnected feedback loop where hubs mutually regulate each other, a concept we explicitly address in the network centrality metrics (Betweenness and Degree).

METHODOLOGY

1. Study Design and Data Acquisition

This study employed a systematic meta-analysis approach to investigate the conserved transcriptional signatures of cell fusion across diverse biological contexts. We conducted a comprehensive search of the Gene Expression Omnibus (GEO) database using the following keywords: *"cell fusion"*, *"syncytium"*, *"myoblast fusion"*, *"osteoclast fusion"*, *"tumor cell fusion"*, and *"hybrid cell"*. The inclusion criteria for dataset selection were: (i) the study must compare transcriptomic profiles between pre-fusion (control) and post-fusion (experimental) states, (ii) raw or processed expression data must be publicly available, and (iii) the study must have a minimum of three biological replicates per condition. Based on these criteria, five independent datasets were selected, encompassing a total of 142 samples (71 pre-fusion and 71 post-fusion).

The selected studies include: GPL570 platform (Affymetrix Human Genome U133 Plus 2.0). GPL6246 platform (Affymetrix Mouse Gene 1.0 ST Array). GPL16791 platform (Illumina HiSeq 2500). GPL20301 platform (Illumina HiSeq 4000). GPL21103 platform (Illumina NextSeq 500).

2. Data Preprocessing and Quality Control

2.1. Microarray Data Processing

For the microarray datasets, raw CEL files were normalized using the Robust Multi-array Average (RMA) algorithm implemented in the affy R package. Background correction, quantile normalization, and log2 transformation were applied. Probe-level signals were summarized using the median-polish method. Only probesets with detection calls present in at least 50% of samples were retained for downstream analysis.

2.2. RNA-Sequencing Data Processing

For the RNA-seq datasets, quality assessment of raw FASTQ reads was performed using FastQC. Reads were filtered and trimmed using Trimmomatic to remove adapter sequences and low-quality bases (Phred score < 20). The cleaned reads were aligned to the respective reference genomes (Human: GRCh38/hg38; Mouse: GRCm39/mm39) using STAR, with default parameters for splice-aware alignment. Read counts per gene were quantified using featureCounts based on GENCODE annotations (v35 for human, vM27 for mouse).

2.3. Cross-Species Integration and Homology Mapping

To enable meta-analysis across human and murine species, we utilized the HomoloGene database and the biomaRt R package to map orthologous genes. Only one-to-one orthologs with high sequence homology and functional conservation were retained. Entrez Gene IDs were used as the universal identifiers for all downstream analyses.

2.4. Batch Effect Correction

Given the heterogeneity of platforms and experimental conditions across the five studies, we performed batch effect correction using the **ComBat** algorithm, implemented in the sva R package (v3.40). ComBat employs an empirical Bayes framework to adjust for known batch covariates (study source and platform) while preserving biological variance. To validate the efficacy of the correction, we compared Principal Component Analysis (PCA) plots and Relative Log Expression (RLE) distributions before and after correction. The percentage of variance attributable to batch effects decreased from 42.3% to 8.7%, indicating successful harmonization of the datasets.

3. Differential Expression Analysis

Differential expression analysis was performed to identify genes that are significantly altered between the post-fusion and pre-fusion states. The analysis was carried out using the limma R package, which employs a linear modeling framework with empirical Bayes moderation of standard errors—a robust approach suitable for both microarray and RNA-seq count data when combined with voom transformation.

3.1. Linear Model Construction

A design matrix was constructed incorporating both the biological condition (fusion status) and batch covariates to account for residual unwanted variation. The eBayes function applies a moderated t-statistic to each gene, which shrinks the sample variance toward a global pooled value, thereby improving the stability of inference for genes with small sample sizes.

3.3. Multiple Testing Correction and Selection Criteria

Raw p-values were adjusted for multiple testing using the Benjamini-Hochberg (BH) procedure to control the False Discovery Rate (FDR). Genes were considered differentially expressed (DEGs) if they met the following stringent dual-threshold criteria: Absolute log2 Fold Change ($|\log2FC| > 1$), ensuring biological significance. Adjusted p-value (FDR) < 0.01, ensuring statistical robustness. This approach yielded a final list of 1,247 high-confidence DEGs, comprising 765 upregulated and 482 downregulated genes.

4. Functional Enrichment and Pathway Analysis

To elucidate the biological processes perturbed by cell fusion, we performed systematic over-representation analysis on the identified DEGs.

4.1. Gene Ontology (GO) Enrichment

GO enrichment analysis was conducted using the clusterProfiler R package. We tested for enrichment across three GO sub-ontologies: Biological Process (BP), Cellular Component (CC), and Molecular Function (MF). The background gene set was defined as all orthologous genes expressed in the merged dataset. Statistical significance was determined using the hypergeometric test, with p-values adjusted via the BH method. GO terms with an FDR < 0.05 were considered significantly enriched. The top 10 enriched biological processes included "cell adhesion" (GO:0007155), "inflammatory response" (GO:0006954), and "ECM organization" (GO:0030198).

4.2. KEGG and Reactome Pathway Analysis

To identify signaling cascades and molecular pathways modulated during fusion, we performed pathway enrichment analysis using the **KEGG** (Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes) and **Reactome** databases via the same clusterProfiler framework. The analysis was restricted to pathways containing at least two DEGs to avoid overfitting. We identified significant enrichment in pathways such as "Focal adhesion" (hsa04510), "TNF signaling pathway" (hsa04668), "MAPK signaling pathway" (hsa04010), and "PI3K-Akt signaling pathway" (hsa04151).

5. Protein-Protein Interaction (PPI) Network Analysis

To explore the functional relationships and physical interactions among the fusion-associated proteins, we constructed a global Protein-Protein Interaction network.

5.1. Network Construction

The list of 1,247 DEGs was submitted to the STRING database for interaction retrieval. We utilized the STRING API to extract experimentally validated and curated interactions (sub-credits: experiments, databases, co-expression), with a stringent minimum confidence score threshold of **0.7** (high confidence). Text-mining and automated predictions were excluded to reduce false positives.

5.2. Network Visualization and Topology Analysis

The resulting interaction network was imported into Cytoscape for visualization and topological analysis. To identify critical "hub" nodes within the network, we computed the Degree Centrality (number of direct connections) and Betweenness Centrality (frequency of a node lying on the shortest path between other nodes) using the NetworkAnalyzer tool. Nodes with degrees exceeding the 90th percentile were designated as hubs. Additionally, we employed the MCODE (Molecular Complex Detection) plugin to identify densely interconnected subnetworks (clusters), which may represent functional modules driving specific aspects of the fusion phenotype.

6. Transcription Factor Regulatory Network Analysis

Understanding the upstream regulators driving the differential expression patterns was a central objective of this study. We performed a dual-pronged regulatory analysis.

6.1. Upstream Transcription Factor (TF) Enrichment

We utilized the TRRUST (Transcriptional Regulatory Relationships Unraveled by Sentence-based Text mining) database (v2.0) to identify TFs that are statistically enriched among our DEGs. TRRUST provides a curated repository of TF-target gene interactions. We applied a hypergeometric test to determine if the overlap between DEGs and the known targets of a given TF was greater than expected by chance. TFs with an FDR < 0.05 were considered significantly active. The analysis identified *MYC*, *STAT3*, and *NFKB1* as the most prominent regulators, each controlling over 50 target genes.

6.2. TF Binding Motif Analysis

To validate the upstream regulator predictions and identify potential novel TFs, we performed binding motif enrichment analysis using the JASPAR database. We extracted 1,000 base pairs upstream of the transcription start site (TSS) of our DEGs (using the TxDb.Hsapiens. UCSC.hg38.

knownGene annotation). The TFBSTools R package was used to scan these promoter regions for overrepresented sequence motifs relative to a background set of all genes. Motifs with an E-value < 0.001 were considered statistically significant.

6.3. Integrated Regulatory Network Construction

Finally, we constructed an integrated TF-target regulatory network by merging the TRRUST predictions with the JASPAR motif data. This network, visualized in Cytoscape, allowed us to reconstruct the hierarchical regulatory architecture of the fusion process, highlighting the central "master regulator" axis of *MYC-STAT3-NFKB1* and their downstream effectors.

7. Disease Association and Translational Analysis

To bridge our findings to clinical applications, we investigated the association between fusion-responsive genes and human diseases using the DisGeNET database.

7.1. Gene-Disease Association Scoring

The list of DEGs was queried against DisGeNET to retrieve gene-disease association scores (GDA scores). We specifically extracted variants, mutations, and expression associations. Genes with a GDA score > 0.7 were classified as having a strong disease association. The analysis revealed significant associations with neoplastic processes, metastasis, inflammation, and diabetes.

7.2. Therapeutic Target Stratification

Based on the network hub status, disease relevance, and literature evidence, we stratified potential therapeutic targets into two categories: **Inhibitory targets**: Genes/pathways whose activation promotes pathological fusion (e.g., *MMP9*, *VEGFA*, *STAT3*). **Activatory targets**: Genes/pathways whose enhancement could promote beneficial fusion (e.g., *MYC*, *CD36* for regenerative contexts).

8. Statistical Analysis and Software Environment

All statistical analyses were performed using R and Bioconductor. The specific packages used include limma, sva, clusterProfiler, ggplot2 (for visualization), stringr, and Cytoscape (for network analysis). **Normality and Homogeneity**: The Shapiro-Wilk test was used to assess the normality of expression distributions ($p > 0.05$ for all datasets), and Levene's test was used to assess variance homogeneity. **Multiple Comparisons**: All p-values were corrected using the Benjamini-Hochberg FDR method, as mentioned. **Batch Correction Validation**: Performance was evaluated using Percentage of Variance Explained by Covariates (PVCA), Silhouette scores, and RLE distributions.

9. RESULTS

Following batch effect correction using the ComBat algorithm and differential expression analysis with the limma package, we identified a total of 1,247 significantly differentially expressed genes (DEGs) between post-fusion and pre-fusion samples across the five integrated datasets (adj. $p < 0.01$, $|\log2FC| > 1$). Of these, 765 genes (61.3%) were upregulated, and 482 genes (38.7%) were downregulated in the post-fusion state. The Principal Component Analysis (PCA) before and after batch correction demonstrated successful harmonization of the heterogeneous datasets. Before correction, the first two principal components explained 42.3% of the variance attributable to batch effects. Following ComBat correction, this percentage decreased to 8.7%, confirming effective removal of platform-specific and study-specific technical variations while preserving biological signals. The Relative Log Expression (RLE) distributions showed marked improvement in sample homogeneity post-correction, with median-centered distributions across all samples.

Identification of Differentially Expressed Genes

The results revealed a clear bimodal distribution of expression changes, with a substantial number of genes exceeding both the fold-change and statistical significance thresholds.

Most Prominent Upregulated Genes

The most significantly upregulated gene was *CD36* (log2FC = 3.45, FDR = 1.5E-12), a multifunctional scavenger receptor involved in cell adhesion, lipid metabolism, and immune recognition, which demonstrated consistent upregulation across all five fusion contexts. The second most upregulated gene was *IL1B* (log2FC = 2.98, FDR = 2.1E-11), encoding a pro-inflammatory cytokine, followed

by *MMP9* (log2FC = 2.87, FDR = 3.8E-11), a matrix metalloproteinase critical for extracellular matrix remodeling. Notably, the oncogenic transcription factors MYC (log2FC = 2.54, FDR = 8.7E-10) and *STAT3* (log2FC = 2.21, FDR = 3.4E-09) were among the top upregulated genes, suggesting a coordinated activation of proliferative and survival signaling pathways.

Most Prominent Downregulated Genes

The most significantly downregulated gene was EPCAM (log2FC = -2.87, FDR = 8.2E-10), an epithelial cell adhesion molecule, indicating a loss of epithelial characteristics post-fusion. CDKN1A (log2FC = -1.76, FDR = 3.4E-08), encoding p21, a cyclin-dependent kinase inhibitor, was the second most downregulated gene, suggesting cell cycle progression and escape from growth arrest. Other notably downregulated genes included epithelial markers (KRT19, log2FC = -1.68; CLDN1, log2FC = -1.49; CDH1, log2FC = -1.42) and tumor suppressors (TP53, log2FC = -1.35, FDR = 8.9E-07), indicating a transcriptional shift away from epithelial and tumor-suppressive programs toward mesenchymal and proliferative phenotypes.

3.1 Gene Ontology (GO) Enrichment

GO enrichment analysis revealed significant enrichment across all three sub-ontologies (Biological Process, Cellular Component, and Molecular Function) with FDR < 0.05. The most significantly enriched biological process was **"cell adhesion"** (GO:0007155, FDR = 2.1E-09), encompassing 124 DEGs including *CD36*, *ITGAV*, *ITGB1*, *FN1*, and *COL1A1*. This was followed by **"inflammatory response"** (GO:0006954, FDR = 3.4E-08) with 89 genes, including *IL1B*, *TNF*, *IL6*, *PTGS2*, and *NFKB1*, and **"extracellular matrix organization"** (GO:0030198, FDR = 3.1E-06) with 76 genes, including *MMP9*, *MMP2*, *COL1A1*, *FN1*, and *VEGFA*. Other significantly enriched processes included **"positive regulation of cell cycle"** (GO:0045787, FDR = 3.9E-05), **"cell migration"** (GO:0016477, FDR = 2.4E-07), and **"negative regulation of apoptosis"** (GO:0043066, FDR = 7.1E-05), indicating that fusion promotes a proliferative, migratory, and anti-apoptotic transcriptional program.Cellular Component analysis (Supplementary Table S2B) revealed enrichment in **"focal adhesion"** (GO:0005925, FDR = 4.6E-08), **"extracellular matrix"** (GO:0031012, FDR = 5.8E-07), and **"cell surface"** (GO:0009986, FDR = 2.1E-06). Molecular Function analysis showed enrichment in **"integrin binding"** (GO:0005178, FDR = 3.2E-07), **"cytokine activity"** (GO:0005125, FDR = 5.4E-07), and **"metallopeptidase activity"** (GO:0004222, FDR = 8.9E-07).

KEGG and Reactome Pathway Enrichment

KEGG pathway analysis identified 36 significantly enriched pathways (FDR < 0.05), with the top 10 most significantly enriched pathways being **"Focal adhesion"** (hsa04510, FDR = 3.6E-07), supporting the GO finding of enhanced cell adhesion and integrin signaling. The **"TNF signaling pathway"** (hsa04668, FDR = 1.8E-06) was the second most enriched, consistent with the activation of inflammatory responses. The **"MAPK signaling pathway"** (hsa04010, FDR = 6.0E-05) and **"PI3K-Akt signaling pathway"** (hsa04151, FDR = 0.0013) were significantly enriched, indicating activation of mitogenic and survival signaling cascades. Critically, **"Pathways in cancer"** (hsa05200, FDR = 0.0027) emerged as significantly enriched, supporting the involvement of fusion-associated genes in malignancy. Reactome pathway analysis corroborated these findings, with significant enrichment in **"Extracellular matrix organization"** (R-HSA-1474244, FDR = 2.1E-07), **"Signal Transduction"** (R-HSA-162582, FDR = 3.4E-05), and **"Immune System"** (R-HSA-168256, FDR = 4.8E-04).

Cross-Context Consistency Analysis

To assess the consistency of gene expression changes across different fusion contexts, we performed a cross-study overlap analysis. A total of 139 genes (87 upregulated, 52 downregulated) were consistently dysregulated across all five fusion contexts, representing the core fusion expression signature. These core genes included *CD36*, *IL1B*, *MMP9*, *VEGFA*, *MYC*, *STAT3*, *NFKB1*, *ITGAV*, *ITGB1*, *TNF*, *IL6*, *JUN*, *FOS*, *CCND1*, *FN1*, and *COL1A1* among the upregulated genes, and *EPCAM*, *CDKN1A*, *KRT19*, *CLDN1*, *CDH1*, *TP53*, *CASP3*, *CTNNB1*, *SMAD4*, *RB1*, and *E2F1* among the downregulated genes.

The tumor cell fusion dataset showed the highest number of unique DEGs (312 genes), consistent with the greater transcriptional plasticity and heterogeneity of cancer cells. In contrast, the trophoblast fusion

dataset showed the most conserved expression pattern, with the highest proportion of shared genes (61.2% of DEGs shared with at least two other studies), possibly reflecting the highly regulated nature of syncytiotrophoblast formation.

Protein-Protein Interaction (PPI) Network Analysis

Network Construction and Topology

The protein-protein interaction network constructed using STRING (confidence score ≥ 0.7) comprised 847 nodes and 3,142 edges, representing a highly interconnected network of fusion-associated proteins. The network exhibited scale-free topology, with a degree distribution following a power law ($\gamma = 2.1$), characteristic of biological networks where a small number of highly connected hub nodes coordinate the majority of interactions.

Table 1. Top 10 hub proteins by degree centrality.

Gene Symbol	Degree	Betweenness Centrality	Closeness Centrality	Functional Annotation
STAT3	52	0.142	0.487	Signal transducer, TF
MYC	48	0.126	0.476	Transcription factor
NFKB1	44	0.118	0.462	Transcription factor
TP53	38	0.098	0.451	Tumor suppressor, TF
AKT1	36	0.092	0.438	Kinase, signaling
MAPK1	34	0.087	0.429	Kinase, signaling
JUN	32	0.084	0.421	Transcription factor
TNF	31	0.079	0.418	Cytokine
IL6	30	0.076	0.412	Cytokine
VEGFA	28	0.072	0.406	Growth factor

Hub Protein Identification

The PPI network analysis identified STAT3 as the most highly connected hub protein (Degree = 52, Betweenness = 0.142), followed by MYC (Degree = 48, Betweenness = 0.126) and NFKB1 (Degree = 44, Betweenness = 0.118). These three transcription factors formed a tightly interconnected triad, with direct protein-protein interactions between STAT3-MYC, STAT3-NFKB1, and MYC-NFKB1, suggesting synergistic regulatory functions. TP53 (Degree = 38, Betweenness = 0.098) and AKT1 (Degree = 36, Betweenness = 0.092) were also prominent hubs. Notably, TP53 exhibited high betweenness centrality despite being downregulated post-fusion (log2FC = -1.35), indicating that its physical interaction with other proteins and position within the network remain critical even with reduced expression. The presence of both oncogenic (MYC, STAT3, NFKB1) and tumor suppressor (TP53) hubs in the top ranks suggests a complex regulatory balance tipped toward proliferation and survival.

Network Modules and Functional Clusters

MCODE clustering analysis identified five densely interconnected subnetworks (clusters) with significance scores > 5.0 (Table 2).

Table 2. MCODE-identified network clusters

Cluster	MCODE Score	Nodes	Edges	Top Genes	Functional Enrichment
Cluster 1	14.2	38	267	*STAT3, MYC, NFKB1, JUN, FOS, RELA*	Transcription regulation, inflammatory response
Cluster 2	11.8	29	181	*AKT1, MAPK1, PIK3CA, MTOR, RPTOR*	PI3K-Akt signaling, mTOR signaling
Cluster 3	10.4	24	134	*MMP9, MMP2, TIMP1, TIMP2, COL1A1, FN1*	ECM organization, matrix remodeling

Cluster 4	8.7	19	87	*CD36, ITGAV, ITGB1, FAK, SRC*	Focal adhesion, cell adhesion
Cluster 5	7.3	16	62	*TNF, IL1B, IL6, PTGS2, NFKB1A*	Inflammatory response, cytokine signaling

The highest-scoring cluster (MCODE score = 14.2) was centered on the STAT3-MYC-NFKB1 regulatory axis, including 38 nodes and 267 edges. This cluster was functionally enriched for "transcription factor activity" (FDR = 1.2E-08), "inflammatory response" (FDR = 3.4E-07), and "cell proliferation" (FDR = 5.6E-06). The density of this cluster indicates that the STAT3-MYC-NFKB1 axis is not merely composed of isolated transcription factors but forms an integrated regulatory module with extensive mutual regulation and shared downstream targets. Cluster 2 (MCODE score = 11.8) was enriched for PI3K-Akt and mTOR signaling, highlighting the activation of metabolic and survival pathways. Cluster 3 (MCODE score = 10.4) comprised ECM-remodeling enzymes and structural proteins, reflecting the importance of matrix degradation and reorganization in fusion. Cluster 4 (MCODE score = 8.7) was enriched for focal adhesion and cell adhesion components, consistent with the requirement for cell-cell contact and cytoskeletal reorganization. Cluster 5 (MCODE score = 7.3) represented the inflammatory cytokine network, underscoring the activation of sterile inflammatory responses post-fusion.

Transcription Factor Regulatory Network Analysis

Transcription Factor Enrichment (TRRUST)

TRRUST-based transcription factor enrichment analysis identified 28 transcription factors significantly enriched among the DEGs (FDR < 0.05), with target gene counts ranging from 12 to 87 (Table 3).

Table 3. Top 10 enriched transcription factors (TRRUST)

Transcription Factor	Target Genes in DEG List	Total Annotated Targets	Enrichment Ratio	FDR
MYC	87	456	2.34	8.2E-14
STAT3	65	342	2.18	3.6E-12
NFKB1	58	298	2.07	5.1E-11
TP53	52	278	1.89	2.4E-09
JUN	47	234	1.76	6.8E-08
FOS	42	215	1.68	1.5E-07
RELA	39	206	1.62	3.2E-07
SP1	36	189	1.58	7.8E-07
CEBPB	34	178	1.54	1.2E-06
E2F1	32	165	1.49	2.8E-06

MYC emerged as the most highly enriched transcription factor, with 87 target genes in our DEG list (enrichment ratio = 2.34, FDR = 8.2E-14). *STAT3* was the second most enriched (65 target genes, enrichment ratio = 2.18, FDR = 3.6E-12), followed by *NFKB1* (58 target genes, enrichment ratio = 2.07, FDR = 5.1E-11). Notably, *TP53* (52 targets, enrichment ratio = 1.89, FDR = 2.4E-09) was also highly enriched, despite being downregulated, suggesting that even reduced TP53 activity may have significant consequences given its extensive target network. The mutual regulatory interactions among these TFs were striking: *MYC* directly regulates 12 genes that are also targets of *STAT3*, while *STAT3* and *NFKB1* share 15 common target genes. This extensive target overlap creates a robust, interconnected regulatory network that amplifies and sustains the fusion transcriptional program.

Transcription Factor Binding Motif Analysis (JASPAR)

JASPAR-based motif scanning of the promoter regions of DEGs identified 17 transcription factor binding motifs significantly overrepresented (E-value < 0.001) compared to background (Table 4).

Table 4. Enriched transcription factor binding motifs (JASPAR).

Motif ID	Transcription Factor	E-value	Occurrences in DEG Promoters	Background Frequency
MA0147.2	MYC	4.2E-12	412	2.4%
MA0059.1	MYC::MAX	2.8E-11	387	2.1%
MA0144.2	STAT3	3.6E-10	256	1.8%
MA0105.2	NFKB1	5.2E-10	238	1.6%
MA0106.3	TP53	1.2E-09	224	1.4%
MA1133.1	JUN	3.4E-09	201	1.3%
MA0099.1	FOS	4.8E-09	195	1.2%
MA0107.1	RELA	6.2E-09	188	1.1%
MA0079.1	SP1	1.2E-08	173	0.9%
MA0024.1	E2F1	2.8E-08	162	0.8%

The MYC binding motif (MA0143.2) was the most significantly overrepresented (E-value = 4.2E-12), occurring in 412 DEG promoters (2.4% frequency) compared to a background frequency of 0.8%. The MYC::MAX heterodimer motif (MA0144.2) was also highly enriched (E-value = 2.8E-11, 387 occurrences). STAT3 (MA0139.2, E-value = 3.6E-10, 256 occurrences) and NFKB1 (MA0105.1, E-value = 5.2E-10, 238 occurrences) motifs were similarly enriched.
Importantly, the **STAT3-NFKB1 co-binding motif** (identified through sequence analysis) was significantly enriched in 87 genes (15.6% of DEGs with both motifs present), suggesting synergistic regulation by these two transcription factors. Similarly, 65 genes (11.6%) contained both MYC and STAT3 binding motifs, and 58 genes (10.4%) contained both MYC and NFKB1 motifs. The triple co-occurrence (MYC, STAT3, and NFKB1 motifs) was found in 42 genes (7.5%), representing a core set of genes under the control of all three master regulators.

Integrated Regulatory Network
The integrated TF-target regulatory network, combining TRRUST predictions and JASPAR motif data, comprised **347 nodes** (21 TFs and 326 target genes) and 1,284 regulatory edges. The network exhibited a hierarchical structure with the MYC-STAT3-NFKB1 axis at the apex, exerting broad regulatory control over downstream effector genes (Table 5).

Table 5. Top 10 target genes regulated by MYC-STAT3-NFKB1 axis

Gene	MYC	STAT3	NFKB1	Total TFs	Function
CD36	✓	✓	✓	8	Adhesion, lipid metabolism
MMP9	✓	✓	✓	7	ECM remodeling
VEGFA	✓	✓	✓	6	Angiogenesis
IL1B	✓	✓	✓	6	Inflammatory cytokine
TNF	✓	✓	✓	6	Inflammatory cytokine
CCND1	✓	✓	✓	5	Cell cycle progression
JUN	✓	✓	✓	5	Transcription factor
MYC	✓	✓	✓	4	Self-regulation
AKT1	✓	✓	-	4	Kinase, survival signaling
FN1	✓	✓	✓	4	ECM organization

The integrated network revealed that 87 genes were direct targets of all three master transcription factors (MYC, STAT3, and NFKB1), representing the core downstream effector program of fusion. These co-regulated targets included key functional categories: ECM remodeling (*MMP9, MMP2, TIMP1, FN1, COL1A1*), cell adhesion (*CD36, ITGAV, ITGB1*), inflammation (*IL1B, TNF, IL6, PTGS2*), angiogenesis (*VEGFA*), cell cycle (*CCND1, E2F1*), and transcription factors (*JUN, FOS, RELA*). The network also revealed positive autoregulatory loops: MYC directly activates its own transcription (self-regulation), STAT3 activates MYC, NFKB1 activates STAT3, and MYC activates NFKB1.

These feed-forward loops create a self-sustaining regulatory state that maintains fusion-associated gene expression even after the initial fusion stimulus resolves.

Disease Association Analysis

Gene-Disease Associations (DisGeNET)

DisGeNET analysis revealed that 856 of the 1,247 DEGs (68.6%) had at least one documented disease association, with a total of 2,843 gene-disease association pairs. Table 6 presents the top disease categories associated with fusion-responsive genes.

Table 6. Top disease categories associated with fusion DEGs.

Disease Category	Disease	Associated Genes	GDA Score	FDR
Neoplasms	Breast cancer	142	0.85	2.3E-06
	Colorectal cancer	128	0.82	4.8E-06
	Lung cancer	115	0.79	7.2E-06
	Prostate cancer	108	0.76	1.1E-05
	Gastric cancer	97	0.73	2.5E-05
Inflammatory	Rheumatoid arthritis	89	0.81	3.4E-06
	Atherosclerosis	76	0.78	5.9E-06
	Psoriasis	72	0.75	8.2E-06
Metabolic	Type 2 diabetes	68	0.78	4.7E-06
	Obesity	54	0.71	1.8E-05
	Metabolic syndrome	47	0.68	3.2E-05
Neurological	Alzheimer's disease	52	0.72	2.1E-05
	Multiple sclerosis	43	0.69	4.5E-05

Among cancer-related diseases, breast cancer (142 associated genes, GDA score = 0.85, FDR = 2.3E-06), colorectal cancer (128 genes, GDA score = 0.82, FDR = 4.8E-06), and lung cancer (115 genes, GDA score = 0.79, FDR = 7.2E-06) showed the strongest associations. Key fusion-responsive genes with high cancer association scores included *MYC* (GDA = 0.94), *STAT3* (GDA = 0.91), *TP53* (GDA = 0.89), *MMP9* (GDA = 0.87), *VEGFA* (GDA = 0.86), and *CD36* (GDA = 0.78). Inflammatory diseases were the second most enriched category, with *IL1B*, *TNF*, *IL6*, *NFKB1*, and *PTGS2* showing high association scores with rheumatoid arthritis (GDA = 0.81), atherosclerosis (GDA = 0.78), and psoriasis (GDA = 0.75). Metabolic disorders, including type 2 diabetes (68 genes, GDA = 0.78, FDR = 4.7E-06) and obesity (54 genes, GDA = 0.71, FDR = 1.8E-05), were also significantly associated, with *CD36* showing the strongest metabolic disease association (GDA = 0.79 for type 2 diabetes).

Pathway-Disease Networks

We constructed a pathway-disease network linking enriched KEGG pathways to associated diseases (Figure 7). The network revealed that the **"Pathways in cancer"** (hsa05200) was connected to all 12 cancer types through 96 DEGs. The **"TNF signaling pathway"** (hsa04668) was connected to 8 inflammatory and autoimmune diseases, while the **"ECM-receptor interaction"** (hsa04512) was linked to metastatic progression and tissue fibrosis.

Survival Association Analysis

To explore the prognostic significance of fusion-responsive genes, we performed Kaplan-Meier survival analysis using publicly available cancer datasets (TCGA). Table 7 presents the top genes whose expression was associated with patient survival across multiple cancer types.

Table 7. Survival-associated fusion genes (TCGA analysis).

Gene	Cancer Type	Hazard Ratio	p-value	Association Direction
MYC	Breast cancer	1.87	8.4E-06	High expression → poor prognosis
STAT3	Colorectal cancer	1.76	1.2E-05	High expression → poor prognosis
MMP9	Lung cancer	1.65	3.8E-05	High expression → poor prognosis
VEGFA	Gastric cancer	1.58	5.1E-05	High expression → poor prognosis

CD36	Breast cancer	0.62	2.4E-04	High expression → favorable prognosis
TP53	Colorectal cancer	0.71	4.7E-04	High expression → favorable prognosis
EPCAM	Prostate cancer	0.58	1.8E-04	High expression → favorable prognosis

High expression of *MYC*, *STAT3*, *MMP9*, and *VEGFA* was consistently associated with poor prognosis across multiple cancer types, consistent with their roles in promoting proliferation, survival, and metastasis. Conversely, high expression of *CD36*, *TP53*, and *EPCAM* was associated with favorable prognosis, likely reflecting their roles in differentiation, tumor suppression, and epithelial maintenance, respectively.

Therapeutic Target Identification

Target Stratification

Based on network hub status, disease relevance, drug targetability, and literature evidence, we stratified 127 genes into potential therapeutic targets (for the top 20 in Table 8). Genes were categorized into: **Category A (High priority)**: Hub genes with strong disease associations and available inhibitors/activators. **Category B (Medium priority)**: Important network nodes with moderate disease associations. **Category C (Emerging)**: Novel genes with promising evidence.

Table 8. Top 20 prioritized therapeutic targets.

Gene	Category	Therapeutic Direction	Drug Examples	Indications
STAT3	A	Inhibition	Stattic, Napabucasin	Cancer, inflammation
MYC	A	Inhibition	Myc-inhibitors (clinical)	Cancer
NFKB1	A	Inhibition	Bortezomib, Denosumab	Cancer, bone diseases
MMP9	A	Inhibition	Marimastat, Doxycycline	Cancer metastasis
VEGFA	A	Inhibition	Bevacizumab, Sorafenib	Cancer, angiogenesis
CD36	A	Activation/Inhibition	Small molecules (PD)	Diabetes, wound healing
IL1B	A	Inhibition	Anakinra, Canakinumab	Inflammation
TNF	A	Inhibition	Infliximab, Etanercept	Autoimmune diseases
TP53	B	Activation	Nutlin-3a, APR-246	Cancer (mutant p53)
JUN	B	Inhibition	T-5224, Curcumin	Cancer, inflammation
FOS	B	Inhibition	MicroRNA-based	Cancer
AKT1	B	Inhibition	MK-2206, Capivasertib	Cancer
MAPK1	B	Inhibition	Trametinib, PD-0325901	Cancer
CCND1	B	Inhibition	Palbociclib, Ribociclib	Cancer
PTGS2	B	Inhibition	Celecoxib, Aspirin	Inflammation, cancer
ITGAV	B	Inhibition	Abituzumab, Cilengitide	Cancer, fibrosis
FN1	C	Inhibition	Antibody-based	Cancer, fibrosis
COL1A1	C	Inhibition	siRNA-based	Cancer, fibrosis
MYOD1	C	Activation	Small molecules (PD)	Muscle regeneration
PAX7	C	Activation	Small molecules (PD)	Muscle regeneration

Pharmacological Target Network

We constructed a **Pharmacological Target Network** integrating the fusion-responsive genes with existing FDA-approved drugs and drugs in clinical trials. The network identified 234 potential drug-gene interactions involving 87 genes and 112 unique drugs. Key druggable genes included:

STAT3 inhibitors (Stattic, S3I-201, Napabucasin): These compounds target the SH2 domain of STAT3, blocking its dimerization and DNA binding. Preclinical evidence suggests STAT3 inhibition prevents tumor-macrophage fusion and reduces metastasis.

MYC inhibitors (Omomyc, MYC inhibitors in clinical trials): MYC is traditionally considered undruggable, but newer strategies including small-molecule inhibitors targeting MYC-MAX dimerization and BET inhibitors (JQ1, OTX-015) that suppress MYC transcription show promise.

MMP inhibitors (Marimastat, Doxycycline, Batimastat): Broad-spectrum MMP inhibitors have shown efficacy in preclinical models by blocking ECM remodeling required for cell fusion and invasion.

VEGFA inhibitors (Bevacizumab, Sorafenib, Sunitinib): Anti-angiogenic agents may limit fusion-associated vascularization and tumor progression.

Biomarker Potential

We evaluated the potential of fusion-responsive genes as diagnostic or prognostic biomarkers using ROC curve analysis. The top 10 genes with the highest diagnostic accuracy (AUC > 0.85) are listed in Table 9.

Table 9. Top biomarker candidates with diagnostic potential.

Gene	AUC	Sensitivity	Specificity	Best Cutoff (log2)
CD36	0.94	0.92	0.88	2.1
EPCAM	0.92	0.85	0.91	-1.8
MMP9	0.91	0.89	0.84	2.3
MYC	0.90	0.87	0.86	1.9
STAT3	0.89	0.85	0.85	1.8
IL1B	0.88	0.84	0.83	2.0
CDKN1A	0.87	0.82	0.84	-1.4
VEGFA	0.87	0.83	0.82	2.2
TNF	0.86	0.81	0.83	1.7
NFKB1	0.86	0.80	0.82	1.6

CD36 exhibited the highest diagnostic accuracy (AUC = 0.94), with a cutoff of log2FC > 2.1 providing 92% sensitivity and 88% specificity for distinguishing post-fusion from pre-fusion samples. The combined panel of the top 10 genes achieved an AUC of 0.97, suggesting that a multi-gene biomarker panel could robustly detect fusion events in clinical samples

CONCLUSION AND DISCUSSION

1. Interpretation of Core Findings

Our meta-analysis of 1,247 differentially expressed genes across five distinct cell fusion contexts has yielded several significant insights into the transcriptional architecture of cell fusion. The identification of a conserved core gene expression signature, characterized by the coordinated upregulation of adhesion molecules (CD36), inflammatory mediators (IL1B), extracellular matrix remodeling enzymes (MMP9), and oncogenic transcription factors (MYC, STAT3, NFKB1), suggests that cell fusion triggers a stereotyped transcriptional response that transcends cellular context. This finding addresses our primary research question and provides compelling evidence for the existence of a universal "fusion expression signature."

The robust upregulation of CD36 (log2FC = 3.45, FDR = 1.5E-12) across all fusion types is particularly noteworthy. CD36, a multifunctional scavenger receptor involved in cell adhesion, lipid metabolism, and immune recognition, has been implicated in myoblast fusion and osteoclast differentiation. Our data suggest that CD36 may serve as a universal fusion competence marker, potentially facilitating the membrane remodeling and cell-cell recognition events essential for syncytium formation.

The concurrent upregulation of IL1B (log2FC = 2.98, FDR = 2.1E-11) and other pro-inflammatory cytokines indicates that fusion activates an innate immune-like transcriptional program. This observation aligns with the emerging concept of "sterile inflammation" accompanying tissue remodeling and may explain the inflammatory microenvironment observed in fusion-associated pathologies such as cancer and atherosclerosis.

The striking activation of the MYC-STAT3-NFKB1 regulatory axis represents the most significant finding of this study. These three transcription factors, each controlling over 50 target genes within our DEG list, form a highly interconnected regulatory hub that appears to orchestrate the post-fusion transcriptional program. MYC, a master regulator of cell proliferation and metabolism, showed both self-upregulation (log2FC = 2.54) and extensive downstream target activation. STAT3, a critical mediator of cytokine signaling and cell survival, was similarly activated (log2FC = 2.21), suggesting that fusion promotes cell survival through the upregulation of anti-apoptotic pathways. The co-activation of NFKB1, the central mediator of inflammatory and stress responses, indicates that fusion triggers a coordinated proliferative and survival response that may explain the persistence and functional adaptation of fused cells.

2. The Three-Phase Temporal Model of Fusion

Based on the functional enrichment analysis and the temporal dynamics inferred from the gene expression patterns, we propose a three-phase model of fusion-associated transcriptional reprogramming:

Phase I: Adhesion and Priming

The early upregulation of cell adhesion molecules (CD36, ITGAV, ITGB1) and focal adhesion components (FAK, vinculin) suggests that fusion begins with the establishment of intimate cell-cell contacts. The enrichment of "cell adhesion" (GO:0007155, FDR = 2.1E-09) and "focal adhesion" (hsa04510, FDR = 3.6E-07) pathways supports this interpretation. This phase likely involves the reorganization of the actin cytoskeleton and the clustering of adhesion receptors at the fusion site.

Phase II: The Merger Phase (ECM Remodeling and Membrane Disruption)

The peak activation of matrix metalloproteinases (MMP9, MMP2) and other ECM-remodeling enzymes marks the execution phase of fusion. The enrichment of "extracellular matrix organization" (GO:0030198, FDR = 3.1E-06) and "cell migration" (GO:0016477, FDR = 2.4E-07) pathways reflects the active degradation of ECM barriers and the cytoskeletal reorganization required for membrane merging. The involvement of the MAPK signaling pathway (hsa04010, FDR = 6.0E-05) suggests that mitogenic signals drive the dynamic membrane remodeling events.

Phase III: Transcriptional Consolidation

Following fusion, the sustained activation of MYC and STAT3 drives the establishment of a new transcriptional identity. The suppression of pro-apoptotic genes (CASP3, FDR = 4.5E-08) and the upregulation of survival pathways (PI3K-Akt, hsa04151, FDR = 0.0013) ensure the survival and functional integration of the fused cell. The enrichment of "positive regulation of cell cycle" (GO:0045787, FDR = 3.9E-05) indicates that fused cells enter a proliferative state, potentially contributing to the expansion of hybrid cell populations in pathological contexts.

3. Regulatory Architecture and Network Topology

The integration of PPI network analysis and transcription factor regulatory analysis has revealed a hierarchical regulatory architecture governing the fusion response. The identification of STAT3, MYC, NFKB1, TP53, and AKT1 as central hubs (Degree > 30, Betweenness > 0.08) in the PPI network underscores their functional significance. These hubs not only serve as physical interaction nodes but also as critical points of signal integration, receiving inputs from multiple upstream pathways and coordinating downstream effector programs.

The STAT3-MYC-NFKB1 axis emerges as the dominant transcriptional regulatory module. Our TF analysis revealed that these three TFs collectively control over 200 target genes within our DEG list, representing approximately 16% of all fusion-responsive genes. The mutual regulatory interactions among these TFs—STAT3 directly transactivates MYC, MYC enhances NFKB1 activity, and NFKB1 regulates STAT3 signaling—suggest the existence of a positive feedback loop that sustains the fusion-

associated transcriptional program. This feed-forward regulatory architecture may explain the persistence of the fusion phenotype even after the initial fusion stimulus is removed.
The enrichment of TP53 (Degree = 35, Betweenness = 0.098) as a network hub is particularly intriguing given its role as a tumor suppressor. Our data reveal that TP53 targets are predominantly downregulated post-fusion (e.g., CDKN1A, log2FC = -1.76), suggesting that fusion may promote cell cycle progression and survival by dampening TP53-mediated tumor surveillance. This observation has significant implications for cancer biology, as it suggests that fusion events may facilitate the acquisition of malignant phenotypes by neutralizing key tumor suppressor pathways.

4. Clinical and Therapeutic Implications

Our findings have significant translational implications, particularly in the areas of oncology, regenerative medicine, and inflammatory disease management.

Oncological Applications

The centrality of the MYC-STAT3-NFKB1 axis in driving fusion-associated transcriptional reprogramming suggests that pharmacological targeting of these nodes could impede pathological fusion in cancer. **Specifically:** STAT3 inhibitors (e.g., Stattic) may prevent tumor-macrophage fusion, thereby limiting the generation of metastatic hybrid cells. MMP9 inhibitors (e.g., Marimastat) could block ECM remodeling required for fusion and subsequent invasion. VEGFA inhibitors (e.g., Bevacizumab) might suppress the angiogenic consequences of fusion, reducing tumor vascularization. The cancer pathway enrichment (hsa05200, FDR = 0.0027) further supports the involvement of fusion in malignancy, suggesting that fusion-responsive genes may serve as novel biomarkers for aggressive disease or therapeutic targets.

Regenerative Medicine

Conversely, the identification of genes promoting beneficial fusion (e.g., CD36, myogenic regulators) offers opportunities for therapeutic enhancement of tissue repair. In the context of muscular dystrophies, promoting myoblast fusion could augment muscle regeneration and functional recovery. Similarly, enhancing osteoclast fusion could accelerate bone remodeling in osteoporosis patients.

Inflammatory and Metabolic Disorders

The strong association of fusion genes with inflammatory pathways (e.g., TNF signaling, IL1B activation) and metabolic disorders (diabetes, obesity) suggests that fusion may play a role in chronic inflammatory conditions. The association of CD36 with diabetes (DisGeNET score = 0.78) and its upregulation post-fusion imply that fusion events could contribute to metabolic dysregulation, potentially explaining the link between chronic inflammation and metabolic syndrome.

5. Methodological Considerations and Limitations

The inclusion of data from different platforms (microarray and RNA-seq), species (human and mouse), and experimental conditions introduces unavoidable technical variability. Although we applied rigorous batch correction (ComBat) and stringent statistical thresholds to mitigate these effects, subtle platform-specific biases may persist. The cross-species homology mapping, while necessary, may have excluded species-specific genes that are functionally important in particular fusion contexts. Our analysis is based on cross-sectional comparisons between pre- and post-fusion states, providing a static snapshot of the transcriptional changes. The fusion process is highly dynamic, with transcriptional reprogramming occurring over minutes to hours. Future studies employing time-series transcriptomics would be necessary to capture the kinetic architecture of fusion and validate the three-phase model we propose. The computational predictions of regulatory networks and hub genes have not been experimentally validated in this study. While our findings are supported by extensive literature, functional experiments (e.g., CRISPR-Cas9 knockout of candidate hub genes, pharmacological inhibition studies) are essential to confirm the causal role of these regulators in the fusion process. The included studies employed different fusion-inducing stimuli (e.g., cytokine treatment, co-culture, overexpression of fusogens), potentially introducing variability in the fusion efficiency and the resulting transcriptomic changes. While our meta-analysis captured the common core signature, we cannot rule out that specific stimuli may induce unique transcriptional responses that are diluted in our pooled analysis.

7. Future Perspectives

The findings of this study lay the groundwork for several future research directions. Single-cell RNA-sequencing (scRNA-seq) of fusion-competent populations would enable the identification of rare fusion events, the characterization of transitional states, and the dissection of heterokaryon heterogeneity. This approach would allow us to distinguish between the transcriptional contributions of the two parental nuclei and understand nuclear reprogramming dynamics. Systematic CRISPR-Cas9 screening of the identified hub genes and transcription factors would establish causality and identify the essential regulators of fusion. In vitro fusion assays coupled with high-content imaging could provide functional readouts for the candidate genes. Longitudinal sampling during fusion would capture the temporal dynamics of gene expression, enabling the construction of regulatory networks that evolve and the identification of early response genes that trigger the cascade. The therapeutic candidates identified in this study (e.g., STAT3 inhibitors, MMP inhibitors) warrant preclinical testing in animal models of fusion-associated diseases, including cancer metastasis, inflammatory conditions, and regenerative disorders. Spatially resolved transcriptomic analysis could reveal the spatial organization of fusion events within tissues, identifying the microenvironments that favor or inhibit fusion and the paracrine signaling networks that coordinate fusion across cell populations.

8. Conclusion

This comprehensive meta-analysis of 1,247 differentially expressed genes across five distinct cell fusion contexts has revealed the universal transcriptional architecture of cell fusion, characterized by the coordinated upregulation of adhesion molecules, inflammatory mediators, ECM remodeling enzymes, and oncogenic transcription factors. We have identified the MYC-STAT3-NFKB1 axis as the central regulatory hub orchestrating the post-fusion transcriptional program, controlling a network of over 200 target genes that govern cell proliferation, survival, migration, and immune modulation.

Our proposed three-phase temporal model—encompassing preparation (adhesion), execution (ECM remodeling and membrane fusion), and stabilization (transcriptional consolidation)—provides a conceptual framework for understanding the dynamic progression of fusion events from cellular engagement to the establishment of a new cellular identity.

The translational implications of our findings are significant, suggesting that targeting the identified regulatory hubs could modulate pathological fusion in cancer or promote beneficial fusion in regenerative medicine. The enrichment of fusion-responsive genes in cancer pathways, inflammatory processes, and metabolic disorders underscores the broad biological and clinical relevance of cell fusion beyond its developmental roles.

While this study is limited by data heterogeneity and the lack of functional validation, the robust meta-analytic approach has enabled the identification of conserved, reproducible signals that transcend specific experimental conditions. These findings provide a foundational resource—the "Fusion Expression Atlas"—that will inform future investigations into the molecular mechanisms of cell fusion, guide functional validation studies, and accelerate the development of fusion-targeted therapeutic strategies. Ultimately, this work contributes to a paradigm shift in our understanding of cell fusion as not merely a structural process but as a profound transcriptional reprogramming event that fundamentally alters cellular identity and function. By mapping the transcriptional landscape of fusion, we have identified the critical nodes through which fusion exerts its biological effects, opening new avenues for therapeutic intervention in fusion-associated diseases and offering a blueprint for harnessing fusion mechanisms in tissue engineering and regenerative medicine. The convergence of systems biology, functional genomics, and translational medicine exemplified in this study highlights the power of integrative bioinformatics approaches to uncover the hidden patterns in complex biological phenomena and to translate fundamental insights into clinical applications. As the field moves toward the era of single-cell and spatial multi-omics, the foundational map provided by this analysis will serve as a compass for navigating the intricate transcriptional landscape of cell fusion and its manifold biological consequences.

REFERENCES

Sieler, M., Dittmar T. (2024). Cell Fusion and Syncytia Formation in Cancer. *Results Probl Cell Differ*., 71, 433-465.

Renaud, S. J. (2024). An old dog with new tricks: TFEB promotes syncytin expression and cell fusion in the human placenta. *Genes Dev.*, *38*(15-16), 695-697.

Chitale, G. G., Kulkarni, S. R., Bapat, S. A. (2025). Chimerism: A whole new perspective in gene regulation. *Biochim Biophys Acta Gen Subj.*, *1869*(3), 130767.

You, K., Chen, T., Wang, Y., Li, P., Li ,T. (2025). Oncogenic Fusions with Aberrant Transcriptional Regulation. *J Mol Biol.*, *437*(17), 169268.

Wherley, T. J., Thomas, S., Millay, D. P., Saunders, T., Roy, S. (2024). Molecular regulation of myocyte fusion. *Curr Top Dev Biol*., 158, 53-82.

DEEP STRUCTURE AND TECTONIC GEOMETRY OF THE SOUTHERN GIBRALTAR ARC (RIF BELT, MOROCCO): INSIGHTS FROM GRAVITY AND AEROMAGNETIC DATA

Dr. Soufiane ZIANI
Laboratory of Applied Geosciences, Department of Geology, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.
ORCID ID: 0000-0003-3302-3973

Dr. Driss KHATTACH
Laboratory of Applied Geosciences, Department of Geology, Faculty of Sciences, Mohammed First University, Oujda, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-4756-8336

Abstract
The southern sector of the Gibraltar Arc, particularly the Rif belt in northern Morocco, is characterised by a highly complex geological framework. This region hosts significant peridotite massifs, including the Beni Bousera complex, which represents one of the largest known infracontinental mantle rock exposures worldwide. Despite numerous geological investigations, the deep structural architecture of the Rif region remains insufficiently constrained. In particular, the geometry, extent, and continuity of peridotite bodies and associated tectonic structures are still poorly defined. This study aims to improve the understanding of the subsurface geometry of major geological structures in the Rif belt. Special emphasis is placed on delineating peridotite bodies, faults, and major lithological contacts within the southern Gibraltar Arc domain. To achieve this objective, a multiscale analysis of geological contacts was performed using gravity and aeromagnetic datasets. Structural interpretation was enhanced through the application of the Euler deconvolution method, allowing the estimation of the geometry, strike, dip, and depth of subsurface contacts. The integration of potential field data led to the production of a detailed structural map of the study area. The results confirm the presence of several known and inferred faults and suggest a broader offshore extension of the Beni Bousera peridotite massif from Jebha to Ceuta. Additionally, significant deep anomalies were identified, potentially corresponding to ophiolitic remnants of a suture zone. This work provides a refined geophysical model of the southern Gibraltar Arc, offering new constraints on the deep structure of the Rif belt. It highlights previously unrecognised extensions of mantle rocks and contributes to a better understanding of tectonic processes associated with the evolution of the Gibraltar Arc system.
Keywords: Gibraltar Arc, Rif Belt, Beni Bousera Peridotites, Gravity, Aeromagnetic Data.

ELECTROCHEMICAL ADVANCED OXIDATION PROCESSES COUPLED WITH BIOLOGICAL TREATMENTS FOR THE REMOVAL OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS FROM WASTEWATER: A CRITICAL REVIEW

Mounir BOUTARBOUCH
Laboratory of Energy, Materials, and Sustainable Development (EMDD), Higher School of Technology, Mohammed V University in Rabat, Salé, Morocco.
ORCID ID: 0009-0002-8674-5494

Khadija EL-MOUSTAQIM
Improvement and Valorization of Plant Resources, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.
ORCID ID: 0009-0007-9193-6638

Jamal MABROUKI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERNE2D, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.
ORCID ID: 0000-0002-3841-7755

Abstract
Water pollution by persistent organic contaminants originating from industrial and agricultural activities represents a major environmental challenge that requires effective treatment solutions prior to effluent discharge. Advanced oxidation processes (AOPs) have emerged as efficient alternatives to conventional treatment methods due to their ability to degrade hazardous compounds rather than merely transferring pollution to secondary matrices. Among these processes, electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs), particularly the electro-Fenton process, stand out for their high efficiency and environmentally friendly character. These technologies rely on the in situ generation of highly reactive hydroxyl radicals, promoting the non-selective degradation of persistent organic pollutants while mitigating the limitations associated with the conventional Fenton process. Nevertheless, the high energy demand required for complete mineralization still restricts their large-scale application. In this context, the synergistic combination of EAOPs with biological treatments represents a promising approach, enabling enhanced biodegradability and reduced effluent toxicity while controlling operational costs. This review provides a comprehensive overview of recent advances in standalone electrochemical treatments, biological processes, and their synergistic combinations, with a particular focus on three highly problematic categories of effluents: textile dyes and wastewater, olive mill wastewater, and pharmaceutical and hospital effluents.
Keywords: Electro-Fenton; Persistent organic pollutants; Wastewater treatment; Hybrid processes.

ADVANCING NATURAL SCIENCES THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GEOSPATIAL TECHNOLOGIES FOR SUSTAINABLE ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Aamir MUNIR
Geo Spatial Innovations (Pvt.) Ltd., Pakistan

Abstract
Natural sciences play a fundamental role in understanding Earth's complex systems and addressing emerging environmental challenges such as climate change, biodiversity loss, natural hazards, and resource depletion. Recent advances in Artificial Intelligence (AI), Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, and Earth observation technologies have significantly enhanced the collection, analysis, and interpretation of scientific data across environmental disciplines. This study explores the integration of AI-driven analytical techniques with geospatial technologies to improve environmental monitoring, ecosystem assessment, and evidence-based decision-making. The research highlights the application of satellite imagery, machine learning algorithms, spatial modeling, and environmental datasets to evaluate land-use change, vegetation dynamics, water resource management, and disaster risk assessment. By combining predictive analytics with high-resolution geospatial information, researchers can identify environmental trends, detect anomalies, and support sustainable planning with greater precision and efficiency. Furthermore, the study discusses how interdisciplinary collaboration between natural scientists, geospatial specialists, and policymakers contributes to achieving the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to climate action, clean water, sustainable cities, and life on land. The findings demonstrate that integrating AI and geospatial intelligence strengthens scientific research, enhances environmental resilience, and supports informed policy development. This approach offers a scalable framework for advancing natural sciences and promoting sustainable resource management at local, regional, and global levels while encouraging innovation in environmental research and technological development.
Keywords: Natural Sciences, Artificial Intelligence, Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, Environmental Monitoring, Sustainability, Climate Change, Earth Observation, Machine Learning, Sustainable Development Goals (SDGs).

CLIMATE CHANGE IMPACTS ON FRESHWATER ECOSYSTEMS IN THE KURDISTAN REGION, IRAQ

Dr. Rabar Mohammed HUSSEIN
Noble Technical Institute, Medical Laboratory Technology Department, Erbil, Iraq
ORCID: 0000-0002-7272-7095

Abstract
Climate change has become one of the most important environmental challenges affecting freshwater ecosystems worldwide. Increasing air temperatures, changing precipitation patterns, drought, and increasing water demand can significantly influence the physical, chemical, and biological characteristics of freshwater ecosystems. The Kurdistan Region of Iraq contains important freshwater resources, including lakes, reservoirs, rivers, and wetlands that support biodiversity, agriculture, fisheries, water supply, and other ecosystem services. This study aimed to evaluate recent air temperature variability and discuss its potential impacts on freshwater ecosystems in four major cities of the Kurdistan Region: Erbil, Sulaymaniyah, Duhok, and Halabja. Monthly mean air temperature data from January to June 2026 were analyzed to identify seasonal and spatial temperature variations among the selected locations. The results demonstrated a clear increase in mean air temperature from winter to early summer in all four cities. The lowest temperatures were observed in January, whereas the highest temperatures occurred in June. Erbil and Halabja generally recorded higher temperatures, while Duhok showed comparatively lower values, potentially reflecting differences in elevation, topography, and geographic location. The observed warming conditions may have important implications for freshwater ecosystems by increasing evaporation, influencing water temperature, reducing dissolved oxygen availability, modifying nutrient cycling, and affecting aquatic biodiversity and ecosystem productivity. Warmer conditions may also increase the potential for algal blooms and ecological stress, particularly in freshwater systems exposed to drought and water scarcity. The findings indicate that climate variability represents an important environmental pressure on freshwater ecosystems in the Kurdistan Region. Continuous climate monitoring, freshwater ecosystem assessment, and integrated water-resource management are therefore necessary to improve climate adaptation and protect aquatic biodiversity. Future research should combine air and water temperature observations with hydrological, physicochemical, and biological indicators to provide a more comprehensive assessment of climate-related impacts on freshwater ecosystems in the region.
Keywords: Climate change; air temperature; freshwater ecosystems; aquatic biodiversity; Kurdistan Region; Iraq

CLIMATE CHANGE AND PLASTIC POLLUTION: A SHARED ORIGIN, A SHARED SOLUTION

Dr. Ayesha BATOOL
Department of Rural Sociology, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

PhD Scholar Hafsa NAEEM
Department of Biochemistry, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

MPhil Scholar Zainab FATIMA
Institute of Soil and Environmental Sciences, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan.

Tawseef KHAN
Founder & CEO, Progressive Climate Foundation (PCF), Pakistan.

Abstract
Climate change and plastic pollution represent two of the most pressing environmental challenges of the twenty first century, and their interconnections are increasingly recognized as mutually reinforcing rather than separate crises. This abstract examines the dual pathways through which plastic production and disposal contribute to climate change, while also considering how a warming planet exacerbates the scale and impact of plastic pollution. Plastics are derived overwhelmingly from fossil fuels, and their manufacturing process, from extraction through refining and polymerization, emits substantial greenhouse gases at every stage. As global plastic production continues to rise, so too does its carbon footprint, positioning the plastics industry as a significant and growing contributor to climate change that is often overlooked in mainstream climate policy discussions. At the same time, plastic waste that accumulates in oceans, rivers, and landfills degrades slowly, releasing methane and other greenhouse gases as it breaks down under sunlight and heat, a process accelerated by rising global temperatures. Marine ecosystems, already vulnerable to warming waters and acidification, face compounded stress from plastic debris that disrupts food chains, damages coral reefs, and threatens biodiversity. This paper argues that addressing plastic pollution must be integrated into broader climate mitigation strategies, since reducing single use plastics and transitioning toward circular economy models can simultaneously curb emissions and reduce waste accumulation. Drawing on recent interdisciplinary research, this abstract highlights policy gaps, particularly the absence of binding international frameworks that treat plastic and climate governance as interconnected rather than parallel agendas. It further considers the disproportionate burden borne by coastal and low income communities, who often experience the compounded effects of both crises with the least capacity to adapt. By synthesizing environmental science, policy analysis, and social vulnerability perspectives, this work calls for a more integrated approach to climate and plastic governance, one that recognizes the shared fossil fuel origins of both problems and the urgent need for coordinated, systemic solutions.
Keywords: climate change, plastic pollution, fossil fuels, circular economy, environmental governance

DATA CAPITALIZATION ON BORAGO OFFICINALIS: PHYTOCHEMICAL COMPOSITION, BOTANICAL CHARACTERISTICS, AND PHARMACOLOGICAL ACTIVITIES

Fatima-Ezzahra JAAYEFAR

Laboratory of Botany, Biotechnology and Plant Protection, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.

Jamila DAHMANI

Laboratory of Botany, Biotechnology and Plant Protection, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.

Abstract

Borago officinalis (borage), a member of the Boraginaceae family, is an annual herb cultivated for medicinal and culinary uses, although it is commercially cultivated primarily for borage seed oil. This study aims to systematically review and capitalize on reliable published data concerning the botanical characteristics, phytochemical composition, and pharmacological activities of *B. officinalis*.

According to published studies, borage seed oil is the richest plant source of gamma-linolenic acid (GLA) (26%-38%), along with other fatty acids including linoleic acid (35%-38%), oleic acid (16%-20%), palmitic acid (10%-11%), stearic acid (3.5%-4.5%), eicosenoic acid (3.5%-5.5%), and erucic acid (1.5%-3.5%). The leaves contain α-linolenic acid (ALA) (55%), GLA (more than 4%), silicic acid (1.5%-22.0%), potassium, calcium, nitrate potassium (3%), acetic, lactic and malic acid, as well as mucilage (up to 30%) hydrolysable to glucose, galactose, arabinose, and allantoin. The flowers and all parts of the plant contain 30% mucilage. Phytochemical investigations have also revealed the presence of pyrrolizidine alkaloids (licosamin, intermedin, sopinin, sopindian, yezan, colin), rosmarinic acid, synergic acid, synaptic acid, flavonoids, anthocyanins, saponins, tannins, and δ-tocopherols. This rich chemical diversity underpins a wide array of pharmacological activities. Borage is traditionally used as an anticonvulsant, bronchodilator, vasodilator, and cardiodepressant. Today, GLA and stearidonic acid (SDA) supplements are used to treat various diseases including multiple sclerosis, diabetes, heart diseases, arthritis, eczema, autoimmune disorders, cancer, premenstrual syndrome, atopic dermatitis, psoriasis, and obsessive-compulsive disorder. The antioxidant properties of borage extracts are attributed to phenolic compounds, particularly rosmarinic acid, synergic acid, and synaptic acid, which act as free radical scavengers and metal chelators. Borage also exhibits diuretic, antihypertensive, and kidney-protective effects.

Borago officinalis thus emerges as a promising source of natural bioactive compounds with significant anti-inflammatory, antioxidant, and therapeutic properties. These findings provide a scientific basis for its traditional uses and highlight its potential in the treatment of various chronic diseases. However, further research is warranted, including the isolation of individual active constituents, detailed mechanistic studies, comprehensive *in vivo* toxicity evaluations, and clinical trials to ensure its safety and efficacy for potential therapeutic development.

Keywords: *Borago officinalis*, borage, Boraginaceae, gamma-linolenic acid, GLA, fatty acids, antioxidant, anti-inflammatory, rosmarinic acid, pyrrolizidine alkaloids, phytochemicals

ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN ANIMAL PRODUCTION: MECHANISMS, SELECTIVE PRESSURES, AND MITIGATION STRATEGIES WITHIN THE ONE HEALTH FRAMEWORK

Oussama MAHMOUDI
Mohamed-Cherif Messaadia University, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Veterinary Medicine .Souk Ahras .Algeria.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-1817-3759

Abstract
Antimicrobial resistance (AMR) represents one of the most significant challenges facing modern animal production and global public health. The increasing emergence of resistant bacterial strains compromises therapeutic efficacy, threatens animal welfare, reduces productivity, and facilitates the dissemination of resistant pathogens and resistance genes across animal, human, and environmental interfaces. This review examines the principal mechanisms of bacterial resistance, including enzymatic antibiotic inactivation, efflux systems, reduced membrane permeability, and target-site modification. Particular attention is given to the selective pressures generated by inappropriate antimicrobial use, especially routine prophylactic administration, growth-promotion practices, and prolonged exposure to subtherapeutic doses. These factors accelerate the selection of resistant microorganisms and contribute to the development of multidrug-resistant populations. The review further explores the epidemiology of resistance dissemination through both clonal expansion and horizontal gene transfer, highlighting the role of food production systems, water resources, soil ecosystems, and the food chain in the circulation of resistance determinants. Current evidence indicates that antimicrobial stewardship, biosecurity enhancement, diagnosis-guided therapy, and integrated surveillance programs are among the most effective strategies for limiting AMR emergence. In addition, vaccines, probiotics, and bacteriophage-based approaches provide promising alternatives that reduce dependence on conventional antibiotics. Within the One Health framework, preserving antimicrobial effectiveness requires a transition from routine and preventive overuse toward evidence-based and responsible antimicrobial practices. Such an approach is essential not only for safeguarding animal health and production efficiency but also for protecting public health and ensuring the long-term sustainability of livestock systems.
Keywords: antimicrobial resistance, One Health, animal production, antimicrobial stewardship, biosecurity

MYCOBACTERIUM SPP. ASSOCIATED WITH BARBARY MACAQUE

Dassine BELLIL
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Alima GHAROUT-SAIT
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Ferhat DJOUDI
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Zahra BELLIL
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Ouidad MENDIL
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Lyticia MANSEUR
Laboratory of Microbial Ecology, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

Sabrina DIB-SAIT
Laboratory of Biochemistry, Biophysics, Biomathematics and Scientometrics, Faculty of Natural and Life Sciences, University of Bejaia, Bejaia, Algeria.

ABSTRACT
Mycobacteria, a diverse group of organisms that include both pathogenic and opportunistic species, pose significant risks to human and animal health and threaten aquatic ecosystems due to the severity of their diseases.
This study focused on isolating and identifying mycobacterial strains from Barbary macaque. Conducted at the Laboratory of Microbial Ecology, University of Bejaia, the study analyzed 198 fecal samples originated from Barbary macaque using bacteriological methods. After decontaminating the samples to remove contaminants, they were cultured on Lowenstein Jensen medium and incubated at 30°C for 8 weeks.
Identification of mycobacterial isolates was based on the morphological characteristics of the colonies, such as color, size, shape, and texture, complemented by biochemical tests. The study isolated 40 mycobacterial strains from the fish tissues, emphasizing the potential health risks and ecological impact of these pathogens.
Keywords: *Mycobacterium* spp, barbary macaque, public health, Algeria.

THE TRANSITION TO CLEAN ENERGY: A NEW ENERGO-CRACY?

Pr Sanae HANINE
Hassan First University
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6510-524X

ABSTRACT
The influence of geopolitics on the deployment, dynamics, and pace of the energy transition is undeniably significant, but its impact on power relations and the distribution of power on the global chessboard is also irrefutable. The tectonic shock between a world based on fossil fuels, which has persisted since the first industrial revolution, and a new one attempting to establish a new energy architecture, brings upheavals in the distribution of influence on the global stage. In this article, we analyze the geopolitical implications of the energy transition through the lens of five factors: 1) the US-China trade war, 2) the positioning of hydrocarbon-producing and importing countries, 3) the role of critical and strategic minerals, 4) the factor of green technological innovation and the issue of patents, and finally, we will discuss 5) the geopolitical impact of nuclear energy in the energy transition. We will discuss the situation in Morocco and how the energy transition could strengthen its geostrategic role at the regional and international levels. Our analysis concludes that the energy transition is likely to become more complex in the coming decades and will be a determining factor in the architecture of the geopolitical and geo-economic chessboard of the future world order.
Keywords: Energy transition, geopolitics, trade war, fragmentation, critical and strategic minerals, low-carbon technologies, Africa, Morocco

"The politics of states is in their geography." - Napoleon Bonaparte

Introduction
The Iran-US war, commonly referred to as the third Gulf war, has materialized the worst-case scenario feared by the entire world: the explosion of the energy crisis and the surge in hydrocarbon prices already weakened by the war in Ukraine. These events bring to the forefront the importance of transitioning to clean energy (Renewable Energy) and their role as shock absorbers against the cyclical crises of hydrocarbons. Indeed, energy is not merely a resource but rather a political weapon, an instrument of power, and a symbol of national sovereignty. In terms of international relations, the energy transition appears as the marker of the shift from energy geopolitics, dominated by oil, coal, and natural gas, to a new era where renewable resources and essential materials for their production are already mobilized as instruments of power. Thus, we start from a postulate stating a consubstantial relationship between the energy transition and geopolitical imperatives, and how the latter undeniably influence its dynamics and pace. The geopolitics of the energy transition induces the influence of geographical factors, such as the distribution of supply and demand on the influence of states. But also political, technological, industrial, and even social factors. Similarly, the energy transition generates new power asymmetries and reconfigures sovereignty and interdependence among states in a fragmented, multipolar, and uncertain world order. Indeed, the geopolitical risks associated with dependence on fossil fuels have prompted some countries to consider massive investments in clean energy and to accelerate their transition to low-carbon energy systems. Consequently, concerns regarding energy security have marked the conduct of international relations, the formation of alliances, the protection of national interests, and defense planning (Paillard, 2012). It is estimated that the energy transition will be one of the main elements reshaping geopolitics in the 21st century and will lead to upheavals in the distribution of power among nations as it alters the political economy of energy at all levels: global, regional, national, and local. It does not only mean the introduction of new energy resources or technologies, but also changes in markets, institutions, regulations, and societies. (IRENA, 2023) revealed that stabilizing the climate at 1.5 °C requires the establishment of 33,000 GW of renewable energy capacity and electrifying 90% of road transport by 2050. However, transitioning more or less gradually to a new energy system requires resources in critical and strategic minerals, technological, territorial, and societal innovations (Bombenger & al., 2019). The energy transition includes efforts to promote low-carbon or decarbonized energies (solar, wind, biomass, hydroelectric, geothermal; nuclear; carbon capture and storage, etc.).

It also includes decarbonized energy vectors (electricity, green hydrogen, biofuels, and synthetic fuels), transportation, storage, management, and low-carbon energy transport (batteries, thermal storage), industry, and other uses (Goldthau & al., 2019). Energy transition technologies include nuclear; onshore and offshore wind turbines; next-generation solar panels; batteries; decarbonized hydrogen; electricity storage systems using hydrogen and batteries; smart grids; recycling technologies; digital technologies; and cybersecurity technologies. The transition to renewable energy (RE) is not merely a shift from one set of fuels to another, but it involves a profound transformation of global energy systems that will have major social, economic, and political implications far beyond the energy sector (IRENA, 2019).

Thus, the geopolitical implications of the energy transition could paradoxically prove to be as complex as the current energy geopolitics. It would be tempting to believe that the transition to renewable energy (RE) will gradually mark the end of fossil fuel-related geopolitics, but on the contrary, we must question the influence of producing states and the transformations of relationships with the rest of the world. Similarly, importing countries are influenced by the energy transition, particularly by reducing their dependence on hydrocarbons. Nevertheless, a massive diffusion of renewable energy (RE) in the global energy mix could lead to new dependencies arising from technical, economic, geographical, and legal transformations (Hache, 2016). Therefore, the geopolitics of the energy transition focuses on the relationship between these elements, articulated in a dialectical relationship between energy, geography, and politics, particularly at the international level. Despite the fact that global dependence on fossil fuels persists (over 86%), and that only 40.9% of global electricity was produced by clean energy (renewable and nuclear), a new aspect of international relations is emerging around a geopolitics in which certain countries will have geopolitical weight and could ultimately disrupt some geopolitical and economic balances (Ember report, 2025). Indeed, renewable energies (RE) are not subject to finitude like fossil fuels, and their geographical concentration is lower since they are available in one form or another in most countries, providing a significant degree of diversification to energy systems. In contrast, their dependence on energy flows (wind, sunlight), storage techniques, and the intensified competition for critical minerals and terrestrial resources create new dependencies similar to those on hydrocarbons. Renewable energies (EnR) can be deployed at almost any scale and are better suited to decentralized forms of production and consumption, which enhances the democratization effects of energy. Clearly, the global energy transition represents a historic turning point in the restructuring of supply chains. Factors related to critical metals and technology, their cost, and accessibility will be decisive in international relations. Present in many decarbonization technologies, critical metals are essential to the energy transition both directly through their integration into technologies and indirectly as components that are related but independent of the technology, such as batteries for electric vehicles; they are reshaping a new map of the global power landscape. Thus, whether for the hybrid or electric vehicle sector (cobalt, lanthanum, lithium, etc.), catalysts or fuel cells (platinum, palladium, rhodium, etc.), or the wind sector (neodymium, dysprosium, terbium, etc.).In civil aviation (titanium) or even solar PV (cadmium, indium, gallium, etc.), all innovations in decarbonization depend on the availability of critical or strategic minerals. However, the large-scale diffusion of energy transition technologies could exacerbate tensions in the markets for these metals and condition the future development of industries, particularly defense. This highlights the vulnerability of certain powerful states (China, US, EU) regarding these minerals, as they are rare natural resources that remain unequally distributed, costly, and often difficult to access.[1]

In light of the above, this article analyzes the dialectical articulation between geopolitics and energy transition, particularly in the context of current conflicts characterized by the technological decoupling between China and the US and the emergence of Global South countries as rising powers, indicating a fragmentation and multipolarity of global influence. It proceeds to analyze the effects of the energy transition on the transformation of power relations, as well as on the reconfigurations of international exchanges. This global energy transformation is already becoming a major geopolitical force that alters the power structures of states and regions and risks disrupting the current balances, as we have known them since the second industrial revolution based on hydrocarbons. This means analyzing the strategies and power rivalries induced by the green transition at a global level and how Morocco is preparing to play an important role in this regard.

[1]Global Electricity Review 2025

Thus, the article aims to answer the following question: How is the energy transition disrupting the global power landscape, and how is Morocco positioning itself within it? To this end, we adopted a methodology based on a systematic documentary analysis relying on secondary data, including government reports, legal documents, strategic and institutional frameworks, as well as relevant statistical sources. It is situated within a critical and reflective epistemological framework, based on an interpretative qualitative analysis. The design of the article consists of two parts. The first part related to the geopolitics of the energy transition is divided into five (5) sections, the first (1) of which pertains to the geo-economic war between China and the US and how the energy transition is shifting power towards the Middle Kingdom. The second (2) section relates to the positioning of hydrocarbon-producing and importing countries and how the energy transition will disrupt their geopolitical weight. The third (3) section relates to critical and strategic minerals, essential components for clean technologies, and how they are reconfiguring the global power landscape. The concentration of production of these materials by a few global producing countries, which control more than three-quarters of global production, gives them a significant competitive advantage and, in fact, constitutes an undeniable geopolitical and geo-economic weapon. The fifth section (5) addresses the issue of civil nuclear energy and explains how countries that are advanced in nuclear energy dedicated to low-carbon production are likely to have an undeniable competitive advantage in the race for influence.
The second part analyzes how the energy transition provides Morocco with power levers. Traditionally dependent on energy imports, it is now turning towards renewable energy (RE) and becoming a strategic player in the new energy value chains, particularly in green hydrogen. Its power vectors revolve around the export of clean electricity to European countries, a predominance in the global green hydrogen market, mastery of power to X, the development of marine renewable energies, and civil nuclear energy. All these factors could strengthen its geostrategic and geopolitical capital and redefine its role in regional and global energy alliances.

I.The geopolitics of the clean transition

L'(IRENA) 2019 argues that the global energy transformation will have significant geopolitical implications. It will redefine relationships between states and lead to fundamental structural changes in economies and society. This specialized institution in renewable energy assumes that the world emerging from the transition to renewable energy will be very different from the one built on a fossil fuel basis. Thus, renewable energy will not only influence the balance of power between states but will also reconfigure alliances and trade flows, creating new interdependencies around electrical networks and new raw materials. (Eyl-Mazzega & Mathieu, 2019) emphasize that the geopolitical and geo-economic stakes related to energy and climate policies are becoming more complex. Old energy rivalries are joined by new competitions related to the energy transition, particularly concerning the control of value chains for low-carbon technologies, which are essential for competitiveness, economic development, energy autonomy, and national security. A substantial increase in renewable energy (RE) in the global energy mix could lead to new interdependencies, such as dependencies on critical materials, a new geopolitics of patents, and the implementation of renewable energy diplomacy. It can be inferred that the energy transition will be a war of sovereignty, industries, and supply chains, not just a climate battle.
Currently, the energy transition takes place in a context of increasing geo-economic fragmentation, geopolitical tensions, technological uncertainties, and increasingly politicized value chains. The current phase of the transition can be described as a "mid-transition" moment characterized by heightened uncertainty, where the continuous decline in renewable energy costs coexists with a deep entrenchment of fossil economies, as evidenced by this third Gulf War, one of whose stakes is undoubtedly oil. The oil shock caused by this war cannot be treated as a mere accident or an isolated phenomenon. Indeed, it is a continuum of the expression of an economy still largely organized around hydrocarbons. For the United States, the issue is not only Iranian oil as such but especially the stability of global energy markets and the internal political cost of rising pump prices. For Iran, oil and the Strait of Hormuz serve as a deterrent factor and provide a means of diplomatic pressure. Oil still acts as an economic stake, a tool of coercion, and a barometer of geopolitical risk. On the supply side, the concentration of production, export restrictions, and geopolitical rivalries for control of new supply chains are reshaping global markets.

It is expected that the global energy transition will lead to unprecedented demand for critical minerals essential for low-carbon technologies such as batteries, renewable energy production, electrical networks, nuclear power, and digital infrastructure. Critical minerals thus raise macroeconomic and financial issues for both consuming and producing countries. For producing countries, particularly in Africa and Latin America, these resources can generate significant revenues and development opportunities, but they also expose these countries to the dark memories of colonial extractivism and the anger of populations. The rush for critical minerals refers to the intense competition among global powers to dominate supply chains, markets, and innovations in renewable energies, batteries, and green hydrogen. Countries capable of leveraging new renewable energy technologies can expect to increase their global influence and reach. Three types of countries have the potential to become new leaders in renewable energy. In the first category, countries with strong technical potential for renewable energy generation can benefit if they manage to become significant exporters of electricity or renewable fuels. Mineral-rich countries such as Chile, Bolivia, Mongolia, Indonesia, the Philippines, and the Democratic Republic of the Congo will have the opportunity to be part of the global production and value chains necessary for renewable technologies. This will stimulate their economic development, provided they implement the right industrial policies and appropriate governance frameworks. The third category consists of leaders in technological innovation who are in a position to make the most of the global energy transformation. Among the three categories, China is the best positioned country to become the superpower in renewable energy (RE) and possesses all the strategic advantages to maximize benefits from the energy transition. China is currently the largest producer, exporter, and installer of solar panels, wind turbines, batteries, and electric vehicles globally. It benefits from benefit in clean energy manufacturing through four technologies: wind turbine components, crystalline silicon photovoltaic modules, LED packaging, and lithium-ion battery cells. Indeed, China caught up with the West in the 1990s through technological breakthroughs in the electric vehicle sector. With its strengthened control over the processing and refining chains of minerals such as cobalt, lithium, graphite, and copper, it faces a manifest geo-economic challenge from the United States. In the next section, we will detail all the geopolitical and geo-economic factors impacting the dynamics of the energy transition and how they are redrawing the map of global influence. Without access to low-carbon technologies, developing countries risk being excluded from global trade relations through mechanisms such as the carbon border adjustment mechanism (CBAM) planned at the EU level.

1. The China-US geo-economic war: Who will be the Prometheus of the 21st century?

In a global context marked by a major geopolitical fact related to China-US competition, the energy transition is at the heart of this dynamic and exacerbates the trade war between the two countries, especially at a time when China is destined to assume a leadership role in renewable energy (RE). Initiatives aimed at diversifying supplies or relocating certain activities are part of a selective securing of partners, thus contributing to inducing new forms of dependence. Chinese plans such as "Made in China 2025" and the "dual circulation" strategy have been outlined to ensure significant economic and technological "autonomy" in this area. Its colossal investments in low-carbon energy have led it to export innovative technologies and expertise that serve as geopolitical and geo-economic levers for the country (Mouton, 2023). Several indicators inform about the levers of this leadership. China has a leading position in manufacturing, but also in innovation and deployment of renewable energy technologies. China is the undisputed global leader in the manufacturing of clean energy products over the past decade, as well as the largest producer and supplier of rare earths, the largest user of renewable energy capacity, and the largest market for electric vehicles. China filed 6,356 PCT applications for green and low-carbon technologies in 2024, placing it first in the world for the fourth consecutive year (Xinhua, 2025). According to (Reuters, 2026), China plans to produce 2 million metric tons of renewable hydrogen per year by 2030, compared to a previous target of 100,000 to 200,000 tons per year by 2025.[2]

In 2026, China announced that investments in major energy projects and new business models would exceed 20 trillion yuan during the period 2026-2030, approximately 2,940 billion dollars (Global Times, 2026).

[2] https://www.zonebourse.com/actualite-bourse/la-chine-vise-50-d-electricite-d-origine-non-fossile-d-ici-2030-ce7f5fd9db8cf727

In addition to hosting the largest fleet of electric vehicles in the world and battery manufacturing capacity, China dominates the downstream refining process of cobalt, lithium, graphite, and rare earths. It is also a global leader in installed capacity for hydropower, photovoltaic solar, and wind energy. It has acquired dominant positions in certain critical sectors, producing 80% of the world's panels and batteries, respectively (Energy Knowledge & AFP 2024). By launching its energy transition project as part of its 13th Five-Year Plan (2016-2020), China aims to reshape its model and thus reduce the "energy threat" facing the country. The definition of "energy revolution" in the 13th Five-Year Plan indeed includes elements of energy security equivalent to national energy security. For example, State Grid, China's largest state-owned enterprise, opposes the creation of a global network called the "Global Energy Interconnection" (GEI) that would connect every continent through underwater transmission cables to supply the world with green electricity. China's goal is to reduce its dependence on energy and raw material imports that pass through chokepoints like the Strait of Malacca, the Strait of Hormuz, and the South China Sea, from which 75% of its oil supplies come. The supremacy of U.S. naval forces over critical supply routes, including the Bab-el Mandeb Strait, the Strait of Hormuz, across the Indian Ocean, and up to the Strait of Malacca and the South China Sea, highlights the weight of the "American threat" as an adjustment variable in China's energy strategy. The establishment of the first permanent military base in Djibouti demonstrates China's desire to secure these critical points of global energy transport. In the field of wind energy, two Chinese companies, Goldwind and Guodian, are enabling the export of these technologies worldwide. Similar to what the Chinese government has achieved in terms of large-scale deployment of wind turbines, solar energy capacities have also seen explosive growth in just a few years. Neither the United States nor the EU has managed to meet the decarbonization challenge as China has, which is the world's largest emitter of greenhouse gases, ahead of the United States, India, and the EU, giving it a significant strategic advantage for the years to come.

On their part, the United States and Europe, while placing green energy transition technologies at the heart of their domestic and foreign policy priorities, have adopted de-risking strategies for their strategic supply chains to ensure national security. However, the costs and complexities involved in terms of profitability and feasibility often prevent the transition from rhetoric to reality (Cohen, 2023). The most fitting example is the risk faced by European electric vehicle manufacturers of cutting themselves off from the global production networks (GPN) on which they depend (Gong et al., 2026). In the United States, powerful fossil fuel interests have long managed to push back or contain policies favoring an energy transition (Sauviat, 2023). Despite the fact that the United States is well-positioned in the clean energy race, as its companies hold strong positions in new technologies, including robotics, AI, and electric vehicles, President Trump ended measures favoring alternative energies and attempted to revive coal while promoting oil and gas. Similarly, he banned American investments in China in sensitive technology sectors and strengthened trade measures against China, even as the United States became its largest export market, particularly for electric vehicles, solar panels, and other "green" technologies. Thus, he imposed tariffs of 145% on Chinese exports, while China retaliated with tariffs of 125% on American exports. In 2025, the Chinese Ministry of Commerce announced export restrictions on seven rare metals to the United States, namely samarium, gadolinium, terbium, dysprosium, lutetium, scandium, and yttrium.

Europe, for its part, is trying to build a strategic advantage in the energy transition through a normative vector that includes a set of plans and initiatives such as the European Green Deal (2019), the European Climate Law and carbon tax, Fit for 55, and the Clean Energy Investment Strategy (2026). The European Council also adopted the Critical Raw Materials Act in 2024 to reduce the EU's strategic dependence on highly concentrated external supply chains, particularly from China, while securing access to essential raw materials for green and digital transitions and for defense and space industries (European Commission, 2024). The EU imposes standards that redefine value chains, investment decisions, and global industrial competitiveness, such as the EU Emissions Trading System (ETS) and the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Through these legislative instruments, Europe seeks strategic autonomy in the face of cheap Chinese imports. As European countries seek to distance themselves from Russian fossil fuels, they are turning their attention to North Africa, not only for its natural gas but also for the new opportunities offered by green hydrogen.

European projects, such as Desertec 3.0, aim to massively produce green hydrogen from North African deserts for export to Europe. Despite their stated sustainability goals, these initiatives encourage extraction that deprives local populations of control over their essential resources, particularly water, and exacerbate existing socio-economic inequalities (Hamouchene, 2022).

Overall, global geopolitical fragmentation negatively impacts global cooperation on energy transition, dangerously suggesting that emissions are likely to remain dangerously high by 2050, despite limited progress in some countries (Bradshaw, 2026).

2. The energy transition and hydrocarbons: between lobbying from producing countries and the resilience of importers

In the context of the energy transition, the question of the future of oil-producing countries, which have historically benefited from significant geopolitical influence, is pressing. Similarly, importing countries, whose national economies are burdened by exorbitant energy procurement costs, are expected to see their futures shaped by the energy transition.

2.1 The producing and exporting countries of hydrocarbons

Many observers assume that hydrocarbon-producing and exporting countries will see their influence diminish in the context of the energy transition, unless they can reinvent their economies for a new energy era (Ashford, 2022). Predictions suggest that these countries will not experience the transition in the same way. The most vulnerable are the rentier countries that depend almost entirely on crude oil and gas exports, without an industrial and technological base. In contrast, those that invest early in renewable energy, refining, petrochemicals, electrical networks, and new value chains can turn the transition into a strategic advantage (Goldthau & Westphal, 2019). These countries are likely to be disrupted in the long term compared to the oligarchies that benefit from this rent, as well as their ability to finance their armaments. Given the pace of the energy transition, producing countries will retain power for at least the next 50 years, but this power will be more negotiated than in the past, as the transition provides more options for importers and strengthens competition among suppliers. In the next fifty years, producers that have not diversified their economies risk losing centrality, while the more adaptable could remain influential as suppliers of residual oil, gas, refined products, hydrogen, or critical minerals. Therefore, the real question is not just, "how much oil will remain," but "which countries will know how to convert fossil rent into post-fossil power?" This will determine the geopolitical hierarchy for the coming decades. According to (Ashford, 2022), countries like Singapore and India, which have invested in crude oil refining and the export of petroleum products, are vulnerable. The Middle East and North Africa, along with Venezuela, Russia, and other countries like Azerbaijan and Kazakhstan, are the regions most exposed to a reduction in fossil fuel revenues. On average, these regions have net fossil fuel exports representing more than a quarter of their GDP. The (IEA 2018) estimates these revenue losses at around 7 trillion US dollars. The decline in export revenues will negatively affect their economic growth prospects and national budgets. Nevertheless, in our view, hydrocarbons have a long future ahead of them.

The geo-economic war for maintaining hydrocarbon power translates in 2026 into the war initiated by the United States against Iran, one of whose objectives is to control vital passages for oil transport and maintain the petrodollar system, which is likely to be weakened by China's increasing intrusion into the Middle East region. Additionally, Iran, a historical ally of China, is expected to be among the most important producers in the coming years. The alliance between the United States and Saudi Arabia, with the petrodollar system established since 1945, is an emblematic example of a strategic relationship in which oil plays a key role and which the United States will continue to defend fiercely. Thus, hydrocarbon-producing countries are fighting to maintain their influence, led by the United States, which has withdrawn from the Paris Agreement, paused the disbursement of certain funds related to the Inflation Reduction Act, and intervened militarily in two oil-rich countries, Venezuela and Iran (Bradshaw, 2026). The strategy of oil-producing countries, particularly those in the Middle East, Russia, and the United States regarding renewable energies, consists of investing in renewable energies, allowing them to keep all their fossil resources for export and thus reduce their own emissions. They understand well that they will eventually have to move away from oil.

But the idea is to gain 30 or 40 years during which they can exploit their resources to the maximum." (Guignard, 2025). Consequently, several processes are used, from softer to more coercive. Subsequently, intensive lobbying is exerted by the oil industry, which reportedly spent nearly 200 million euros on EU institutions in 2022. This lobbying has succeeded in blocking or diluting several bills favoring renewable energies, and global subsidies for fossil fuels reached a total of 5.2 trillion dollars in 2020 (Doussan, 2025). Thus, the Global Energy Monitor estimates that the majority of major oil and gas-producing countries plan to increase their production by 2030.In addition to Mauritania, Mozambique, Senegal, and Uganda, these new discoveries from 2022 and 2023 come approximately half from three countries: Guyana, Iran, and Namibia. Among the 22 countries mentioned by Global Energy Monitor for their major oil and gas discoveries during the same period, at least 20 fields have received a final investment decision, paving the way for the extraction of about 8 billion additional barrels of oil equivalent, which is expected to quadruple by the end of the decade.

The trajectory of oil-producing countries in the face of renewable energy development will depend on the pace of solar diffusion, electrification, carbon pricing, and the ability of rentier states to diversify their economies. In our view, four trajectories are possible. The first stipulates maintaining a high level of oil exports while investing in solar, wind, and sometimes hydrogen to reduce domestic consumption and preserve more exportable barrels. The second allows for accelerated diversification, meaning that some countries will continue to use oil rent to finance a rapid rise in renewable energies, industry, and petrochemicals, in order to prepare for a post-oil future. The third could foresee that states that remain highly dependent on oil will continue to increase or stabilize their production, as global demand is not yet declining sharply, especially if climate policies remain insufficient. The last and fourth stipulates that the fragmentation of the international order, sanctions, and market volatility will push some producing countries to prioritize short-term revenue security over transition, which will slow structural transformation.

Russia, the largest gas exporter in the world and the second-largest oil exporter, derives undeniable geopolitical advantages from these two resources but may face challenges in adapting to a world increasingly powered by renewable energies. Oil and gas revenues are a vital component of the state budget, accounting for about 40% of tax revenues. It still lags far behind China and the United States in terms of patents for renewable energy technologies.

In the Eastern Mediterranean region, conflicts could also escalate between Israel, Lebanon, Turkey, and Cyprus following the discovery of significant gas fields since 2009. The North African region (MENA) holds more than 60% of the world's reserves and produces a third of the hydrocarbons consumed globally. These reserves are likely to increase in the coming years due to the significant quantities of offshore natural gas discovered in the Eastern Mediterranean. In North Africa, hydrocarbons still play a significant role in the Libyan and Algerian economies. For Algeria, 98% of export revenues come from oil and gas, and it ranks low in terms of energy transition according to the Energy Transition Index (ETI) 2021. This position reflects the challenges to be met regarding the readiness for an effective energy transition (Mancer, Merzouk, 2024).This situation reflects the use of oil and gas as a factor of geopolitical pressure, particularly at a time when the EU is preparing to achieve carbon neutrality by 2050. Consequently, if the country invests in new hydrocarbon discoveries to meet Europe’s growing demand, it exposes itself to significant risks of technological lock-in and stranded assets (Boukhatem, 2022). For Libya, a rentier state that depends 90% on hydrocarbons and experienced record production in 2025 (an average of 1.374 million barrels per day), it is on the verge of facing the same fate as Algeria. Without a genuine transformation and the development of its renewable energies, Libya risks becoming a stranded asset in a decarbonizing world.

In Sub-Saharan Africa, the future of hydrocarbon-producing countries is characterized by a strategic maintenance of oil and gas as levers of development and sovereignty, while initiating energy and economic diversification to reduce vulnerability to demand and price shocks. The Atlantic Africa Gas Pipeline project is designed as an energy and industrial corridor that, if realized, will profoundly shape the energy, economic, and geopolitical future of West Africa during the transition: by creating a regional gas market, securing supply for 13 coastal countries and landlocked hinterlands, and serving as a foundation for low-carbon industrialization and exports to Europe.

The future of Sub-Saharan producers will not be a rapid exit from hydrocarbons, but a differentiated transition trajectory where oil, and especially gas, remain central for several decades, provided they are integrated into diversification strategies, improved governance, and massive investment in infrastructure.

2.2 Hydrocarbon-Importing Countries

For importing countries, the energy transition is not just a climate issue: it is also a strategy for reducing external risk. Unlike hydrocarbon-exporting countries, the energy transition is expected to bring these countries primarily gains in security, competitiveness, and sovereignty. Paradoxically, it also creates adjustment costs and new dependencies for batteries, critical minerals, or technologies. The clearest benefits are the potential reduction in the import bill, decreased exposure to price shocks, and lower geopolitical vulnerability. Nevertheless, these countries will face high initial costs, particularly for electrical infrastructure, networks, storage, electric vehicles, and energy renovation, which require significant investments. Countries heavily dependent on imported fuels do not see their macroeconomic problems disappear immediately, particularly external deficits and debt. In practice, importing countries will primarily gain long-term resilience, while in the short term, they bear investment and transformation costs. For example, countries like Egypt, Iraq, Lebanon, Tunisia, Morocco, and Sudan are among those that will be most affected between 2030 and 2050 by aridity and salinity of agricultural lands, potentially losing between 14% and 30% of their gross domestic product (GDP) from the agricultural sector. This demonstrates that these countries could benefit economically and geopolitically from the dividends of the energy transition.

3. The Issue of Strategic and Critical Minerals and Metals

Minerals and metals for low-carbon technologies are considered new geopolitical levers in the global energy transition. In past geo-economic conflicts, hydrocarbons dictated power relations; critical metals will increasingly bear the weight of new vectors of sovereignty in the future (IRENA, 2023). The 50 critical minerals and the subgroup of 17 rare earths identified by the U.S. Geological Survey (USGS) are essential for the functioning of the modern digital economy. These materials are used in the manufacturing of wind turbines, electric vehicle motors, smartphones, as well as F-35 fighter jets and many other high-tech products. Currently, China dominates the critical minerals market, producing 29 types of raw materials, including 22 metals and 7 industrial minerals. Critical and rare minerals influence the defense industry and directly engage the regeneration capacity of armed forces in the event of high-intensity conflict. These minerals are used in the manufacturing of guided missiles, electronically scanned radars, onboard optronics, electric motors, etc. In practice, this directly impacts armament, aerospace, military electronics, batteries, and certain alloys essential for the performance of defense systems. The defense industry relies on minerals such as cobalt, titanium, tungsten, niobium, molybdenum, tantalum, and certain rare earths, as they are used in components with no simple or cost-effective alternatives. The geographical concentration of extractions, especially of processing capacities, gives significant leverage to certain countries, particularly China, which currently dominates several segments of the critical minerals value chains. The stakes transcend the mining dimension; they are industrial, commercial, and security-related, as control over value chains becomes a tool of power (Paillard, 2012).

Although China does not produce the most essential materials for batteries, it buys, refines, and exports them to Western economies, making it the world's most important customer and supplier of critical minerals (Bonnet, 2025). Its dominance in the critical minerals supply chain poses geopolitical and supply security threats to Western countries, particularly to American defense companies. Similarly, the most significant potential reserves are found in developing countries like Chile, Peru, and Bolivia, which are expected to play a key role in supplying copper and lithium (21 million tons of reserves); Brazil is a dominant supplier of bauxite and iron ore, while Southern African countries and Guinea will play a crucial role in meeting the growing demand for platinum, manganese, bauxite, and chrome. India holds a dominant position in iron, steel, and titanium, while Indonesia, Malaysia, and the Philippines have significant reserves of bauxite and nickel. However, it is worth noting that, with the exception of China, Southern countries have few lucrative industries in the clean energy sector, with most of these activities concentrated in Northern countries.

The recent and anticipated acceleration in demand for critical minerals offers Southern countries an opportunity to move up the value chains and avoid bearing the brunt of the burdens associated with upstream extraction, which often leads to harmful ecological consequences and generates low economic returns. African countries are becoming a sought-after region for these minerals, but China already dominates this field. To this end, states are working to secure their supply through bilateral partnerships, the establishment of national production chains, or foreign direct investments. The resurgence of demand for these metals by 2050 (3 billion tons of minerals and metals needed for the deployment of green infrastructure according to the IMF) as well as the concentration of their production in a relatively small number of companies and a few countries, including African states, propels them as strategic products with highly valued geopolitical and geo-economic significance. In this regard, it is important to note the emergence and continuous development of two major economic alliances: on one hand, a bloc mainly composed of Western countries linked to the United States through strategic alliances, and on the other hand, the BRICS alliance, which includes countries with a higher endowment of critical metals. The BRICS countries indeed include the world's leading producers of all critical metals. As a result, they hold a strategic advantage in the transition to clean energy. According to Goldman Sachs Research, China currently accounts for 85 to 90% of global rare earth refining and 92% of global rare earth magnet manufacturing. Similarly, China refines 68% of cobalt, 65% of nickel, and 60% of quality lithium (Global Critical Minerals Outlook 2024 (IEA, 2024)). China also ranks first in the field of LFP (lithium iron phosphate) and in solid electrolyte innovations that make up the next generation of batteries. Goldman Sachs Research also estimates that 65% of battery components, 71% of battery cells, and 57% of global electric vehicles are manufactured in China. Neither the United States nor any other nation is currently able to compete with China in these areas. However, while China holds a dominant position downstream in the global supply chain, many nations are becoming aware of their vulnerability to supply disruptions. For example, in 2023, the EU regulation on critical raw materials explicitly set the goal of "reducing dependence on third countries for access to critical raw materials. The Critical Raw Materials Act imposes maximum dependency thresholds (for example: no more than 65% of a material from the same country) and promotes the relocation of part of the processing (European Commission, 2023). At the initiative of the United States, the Mineral Security Partnership (MSP) has been established in collaboration with 14 members to finance mining or industrial projects in third countries deemed "stable and reliable" (European Commission, 2024). It also aims to counter Chinese dominance within the supply chains of minerals necessary for clean energy technologies and to push mineral-rich countries to adopt stricter environmental standards. To date, the partnership, which includes all G7 countries, as well as Australia, India, South Korea, and several Scandinavian countries, has been most active in Africa and has involved projects covering the extraction, processing, and recycling of minerals. The Chips and Science Act of 2022 in the United States provided $39 billion in public funding for semiconductor manufacturing, strict export controls, and to preserve domestic production capabilities. In Africa, Zimbabwe has banned the export of unprocessed lithium to encourage local processing.

3.1 The African continent and the issue of critical and strategic minerals

Several African countries are rich in enormous deposits of strategic minerals. The continent holds about 30% of the world's reserves of a dozen minerals, including uranium, bauxite, chrome, cobalt, copper, gold, iron, lithium, manganese, and platinum, with 70% of the world's cobalt reserves, a crucial metal for battery manufacturing. These critical and strategic minerals play an essential role in global value chains (GVCs) as they form the backbone of renewable energy infrastructures. Thus, Africa can play a pivotal role in the energy transition. African countries are global leaders in terms of reserves and production of bauxite, cobalt, chrome, platinum group metals, and tantalum. They are also significant producers of copper, lithium, zinc, and nickel. For example, the Democratic Republic of the Congo (DRC), Madagascar, and Morocco account for over 50% of global deposits and ensure about 70% of cobalt production (USGS 2023).Zimbabwe and Mozambique play important roles for lithium and graphite, respectively. Namibia has long been a major supplier of germanium in global markets and has relatively larger deposits of monazite and bastnäsite, which are considered some of the most common rare earth minerals. South Africa is the leading producer of iridium, while Guinea is rich in bauxite, Zambia in copper, Gabon in manganese, and Madagascar and Mozambique in graphite, etc.

South Africa represents half of the global deposits of platinum group metals, 36% of gold, and 20% of cobalt. Guinea holds about 24% of global deposits and accounts for nearly 23% of global bauxite production, a crucial material used in the manufacturing of photovoltaic solar components. Given their importance as power factors, strategic minerals in Africa are currently attracting the attention of powerful countries, notably China, the United States, the European Union (EU), and others competing for influence in Africa (Matambo & Tamasiga, 2025).A multitude of mining companies from various origins—American, Russian, Indian, Turkish, Chinese, Canadian, or French—are present in Africa (Kohnert, 2024). However, this rush does not automatically translate into an interesting return on investment for the continent, which does not capture the benefit generated by the global supply chain of critical and strategic minerals. Historically, African economies were confined to a model based on raw materials, exporting unprocessed resources under conditions primarily dictated by external powers, which limited their maneuverability and development. This global race presents both opportunities and risks for the continent. On one hand, the strong demand for resources offers African countries a renewed leverage to break free from their historical role as mere exporters of raw materials. African countries risk remaining stuck at the bottom of the value chain, where value creation is minimal and external actors continue to impose their conditions, thus perpetuating patterns of dependency and underdevelopment. Although the criticality of critical and strategic metals is not urgent for Africa, the rush for African "green" minerals risks reproducing purely extractive exploitation dynamics where profits are drained outward, while African communities bear the weight of environmental, social, and economic consequences. China has invested heavily in African mines and processing facilities (for example, a significant resource-for-infrastructure exchange agreement in the Democratic Republic of the Congo), thus acquiring dominant control over many supply chains. Figures reveal that of the $21.7 billion total Chinese commitment to Africa under the "Belt and Road" initiative, between $8 and $10 billion have been allocated to the critical minerals sector. Chinese investments ensure Beijing's supply of minerals but often sideline local value addition, with China importing semi-processed minerals from Africa for its refineries and for exporting finished products to other markets. In contrast, of the $7.4 billion invested by the United States in Africa the same year, only $300 million (about 4%) were dedicated to critical minerals. The United States views its heavy dependence on refined Chinese minerals as a strategic vulnerability and has sought to reduce this dependence (Tucker, 2025). An important initiative is the Lobito Corridor project, a rail and corridor development project supported by the United States and the EU, aimed at linking cobalt and copper mines in the DRC and Zambia to the Atlantic port of Lobito in Angola. The project aims to facilitate exports of critical minerals to the west and provide an alternative to China-centered routes. The United States has also explored "minerals-for-security" exchange agreements. For example, a proposed agreement with the DRC envisions an exchange of access to critical mineral resources for American security assistance (Benabdallah, 2024).
The EU and its member states are committed to securing the supply of critical minerals necessary for the transition to clean energy. Under the "Global Gateway" strategy, the EU pledges to "support responsible mining practices and ensure secure access to critical raw materials (CRM) for both Europe and Africa," as well as to support the infrastructure, technologies, and innovation needed to meet the anticipated increase in demand for CRMs. The EU's strategy is based on sustainability, diversification, and partnership; this approach has fostered collaboration with the "African Mining Indaba," a thirty-year initiative providing a platform for mining sector actors and encouraging them to invest sustainably in the African mining industry. The "Critical Raw Materials Regulation" (2024) is a central pillar of this strategy. This text aims to reduce the EU's dependence on supply chains concentrated on a single source dominated by China while aligning mineral supply with environmental, social, and governance (ESG) principles. The EU has established a series of bilateral partnerships with African countries to achieve these goals. For example, it has signed a strategic alliance with Namibia, the DRC, Zambia, and Morocco. The complex regulatory requirements and rigorous compliance mechanisms with ESG criteria, while essential for ensuring sustainability, are likely to delay project implementation. This situation contrasts with the more simplified model adopted by China, which comes with fewer conditions.

In most cases, critical minerals are extracted by international mining companies (Andreoni & Roberts, 2022). Nearly 90% of China's imports from Africa consist of metals, mineral fuels, ores, and other mineral resources. In this regard, China has established a presence in Central and West Africa through direct investments and resource-for-infrastructure agreements. It also dominates the extraction of rare earths in sub-Saharan Africa. Chinese mining companies have invested heavily in Africa over the years as part of the Belt and Road Initiative. For example, China relies on the DRC for about 80% of its cobalt imports, but it has also effectively established a monopoly on production in the DRC. In the DRC, Chinese companies have taken control of a significant portion of the country's mining sector, including key cobalt and lithium resources.In 2021, Suzhou Cath Energy Technologies paid $240 million to acquire a 24% stake in Manono, the main lithium project in the DRC, from the Australian company AVZ Minerals. Russia is adopting a different strategy by relying on security and military partnerships often facilitated by personnel from the Wagner Group, allowing it to strategically access African mineral resources. Thus, the Russian company Rosgeo has signed agreements with African countries for the exploration of deposits, including ferrous, non-ferrous, rare metals, and rare earths. Groups like Alrosa, Rusal, Nordgold, and Nornickel are present or active on the continent, with interests in diamonds, aluminum, gold, nickel, and copper. Turkey is present in the African mining sector mainly as a partner in exploration, investment, and expertise provision, with a particularly visible presence in the Sahel and West Africa.The clearest case today is Niger, which has signed a mining cooperation agreement to encourage the exploration and exploitation of mineral resources by Turkish companies. The Sahel is currently the area where Turkey is most visible in African mining, particularly in Niger. Historically, it has also been active in Burkina Faso, where Turkish companies like MNG Gold have invested in gold and sought to position themselves in other deposits. In the current Sahelian context, this strategy is facilitated by the retreat of certain Western partners and the search by several African states for new investors and outlets. The United States, the European Union, the United Kingdom, and other countries like Australia, Canada, India, Japan, and South Korea have turned to sub-Saharan Africa to compete with China for critical minerals necessary for the energy transition. They have formed a Mineral Security Partnership (MSP). The United States, for example, has only one operational rare earth mine, owned by a company called "MP Materials."The EU heavily relies on a limited number of third countries for its supply of critical minerals. For example, the EU imports 100% of its rare earths and 97% of its magnesium from China. It depends on Turkey for 99% of its boron supply, while South Africa covers 71% of its platinum needs. This high level of dependence has exposed the EU to significant vulnerabilities within its supply chains. The United States Africa Command (U.S. AFRICOM) has identified rare earth mining as a central element of U.S. strategic objectives in the region since 2010 (Ferreira & Critelli). At the same time, the United States also wanted to counter the perpetuation of China's global monopoly on these critical resources, which has gained access to rare earth resources and production in many sub-Saharan African countries, including Nigeria and the Democratic Republic of Congo, and Beijing's grip on the involved African governments. The EU has adopted a "raw materials diplomacy" strategy to diversify its sources of supply for critical minerals. This approach relies on establishing strategic partnerships with resource-rich countries in the Global South, such as the DRC, Namibia, Rwanda, and Zambia, to strengthen cooperation in the critical raw materials sector.

3.1.2 The nexus of critical metals and violence

The conquest of minerals is also at the heart of many conflicts in Africa. The race for these minerals reflects political and armed conflicts in Africa. It amplifies disputes over land and fuels corruption and crime (Kameni, 2013). In South Africa, Zimbabwe, Namibia, Congo, and Niger, areas of tension and conflict often overlap with mining belts rich in coltan, tantalum, niobium, rare earths, platinum, germanium, and beryllium, which are essential for high-tech industries (Kameni, 2013). In eastern DRC, armed groups control or tax coltan, cobalt, and cassiterite sites, financing violence and displacing populations. In West Africa and the Sahel, the emergence of deposits (lithium, niobium, tantalum) and new tensions sometimes exploited by armed groups or military juntas. Mining revenues captured by armed groups or corrupt elites reduce the state's capacity to govern and provide a springboard for prolonged crises. The growing trend of resource-rich but security-fragile states trading their strategic minerals, particularly rare earths, in exchange for military support from major powers, as seen in the case of the Democratic Republic of Congo (DRC) with the Americans.

The limitations of this strategy include strategic dependence, lack of long-term vision, and risks associated with the presence of foreign military bases. This trend is particularly evident in Africa, where states endowed with rare earths and other critical minerals seek to exploit these resources to secure military support (Ndzana Ndzana, 2025). Illicit mineral flows are also common in fragile states, where smuggling networks transport raw minerals across borders and, in some cases, finance non-state armed groups, violent extremist groups, and foreign mercenaries. Environmental degradation and labor exploitation exacerbate these issues, undermining the public benefits of mining operations.

3.1.4 The vulnerability of African supply chains

Critical supply chains appear as key elements on the global chessboard. A country that exports critical minerals in raw form relinquishes the value-added processing, which then benefits importing countries. Ten of the fifteen economies most dependent on mining activities in the world are located in sub-Saharan Africa (IMF). At the same time, the continent's internal demand for many minerals is low due to limited levels of industrialization and decarbonization efforts (Boafo et al., 2024), as most extracted resources are exported. Exporting all mineral concentrates deprives African countries of 88% of potential revenues, particularly in terms of jobs, tax revenues, development of secondary industries, and other benefits that would arise from exporting semi-processed products (ANRC 2022). This is a crucial issue that African countries must address to generate significant economic growth through their critical minerals. They must work on developing the entire value chain to maximize the benefits of their resources. Promising projects such as the agreement reached in 2022 between Zambia and the DRC to jointly develop electric battery manufacturing capabilities illustrate the development of a regional value chain that could strengthen Africa's position in the critical minerals value chain. The DRC-Zambia Battery Initiative (BEV) aims to create (sub-)regional synergies by focusing on specific segments of the critical minerals value chains while leveraging the potential competitive advantage of the DRC in the field of battery precursors, a market valued at $271 billion (Bloomberg, 2021). The energy transition could offer African countries the opportunity to establish integrated value chains in the critical minerals technology sector, thus promoting industrialization and inclusive sustainable development. Nevertheless, the return on investment remains very low; for example, although the Congo provides 70% of the world's cobalt, it captures only 3% of the battery and electric vehicle value chain. The political instability and governance issues in some sub-Saharan African countries pose significant challenges to the exploitation of critical and rare earth metals. The absence of a uniform contractual model that can protect the vital interests of African states currently prevents them from exercising full sovereignty over rare minerals and creates a form of dependency on turnkey mining contracts that are often imposed on African states. These contracts often include clauses that exclude the immunities of African states in international arbitration, which calls into question the full sovereignty of states over their natural resources. The localization of the lithium-ion battery value chain thus offers Africa an opportunity to establish itself as the global leader in electric vehicle manufacturing. The continent is currently a very small player in the global lithium sector, representing about 5% of global reserves (Mukeredzi, 2022).

Furthermore, the African Green Minerals Strategy (AGMS), adopted by the African Union in February 2025, establishes a continental framework aimed at exploiting Africa's green minerals for sustainable development, industrialization, and electrification, while promoting green technologies and sustainable development. The establishment of the African Continental Free Trade Area since 2019 and regional economic development organizations (SADC, ECOWAS, CEMAC, etc.) can play an important role in improving value chains. The main contributions of this agreement are the possibility of concluding agreements with third countries and establishing African joint ventures to ensure a fair and equitable sharing of natural resources. The AfCFTA, implemented in 2021, can help African countries improve infrastructure, supply chains, the manufacturing sector, cross-border trade, the investment climate, and capital flow regulations. On another note, geopolitical and geo-economic fragmentation can be an opportunity for Africa regarding critical minerals, but only if countries manage to capture more value locally and better coordinate their policies. Otherwise, it risks mainly intensifying competition for access to deposits, dependence on dominant buyers, and revenue volatility. The rivalry among major powers strengthens the secure demand for critical minerals, placing Africa at the center of global supply chains,

particularly for cobalt, copper, graphite, and lithium. This demand can attract more FDI, infrastructure, and supply contracts, but often to the benefit of raw extraction rather than local refining (Nakhle, 2023).

3.1 The Nationalism of Critical and Strategic Metals

The ban on exporting unprocessed minerals represents a trend of weaponizing these materials and using them as geopolitical and geo-economic tools. Since 2023, at least 14 African countries have restricted exports of raw or semi-processed minerals. To promote local content, Zimbabwe and Namibia enacted a law banning the export of unprocessed lithium resources in 2022. Zimbabwe, the leading African producer of lithium, banned the export of all raw minerals in 2026. This led Zhejiang Huayou Cobalt (lithium extraction in Zimbabwe is dominated by Chinese state-owned enterprises) to establish a $400 million lithium sulfate refining plant in Zimbabwe, a first in Africa. Two other companies, Sinomine and Sichuan Yahua Industrial Group, have announced similar projects with the intention of eventually moving to final-stage lithium carbonate refining (Nantulya, 2026).Ghana, for its part, has adopted the "Green Minerals Policy," effectively banning the export of raw mineral resources to retain added value and strengthen national supply chains. The DRC has intermittently banned the export of cobalt and copper concentrates to compel companies to process these minerals locally (Cust and Zeufack, 2023). Zambia and the DRC have signed a partnership agreement to produce battery precursors based on nickel, manganese, and cobalt. These examples demonstrate Africa's willingness to assert its capacity for action, primarily by focusing on value creation. Alongside export restrictions, governments impose local content and joint venture requirements to ensure that foreign investments generate local jobs and enhance technical expertise.

4. The Issue of Technologies and Patents

It is important to understand the energy transition as a global socio-technical process. Patents and innovation in renewable energies serve as geopolitical and geo-economic tools because they allow for capturing technological rents, controlling value chains, and influencing the pace of the energy transition. Innovation in ICT, AI, quantum computing, and Big Data is transforming the green energy sector (Bradshow, 2026). The competition revolves around intellectual property, standards, and access to key technologies (IRENA, 2024). In this context, China and the United States have entered a real patent race in new energy technologies because they create market advantages and grant exclusive rights for a long period, allowing for the monetization of innovation through sales, licensing, or industrial deployment. Countries that do not control key energy technologies, such as sodium-ion batteries, could become heavily dependent on the few countries and companies that manufacture them.In low-carbon technologies, this becomes an instrument of power as mastery of patents conditions access to markets, the diffusion of equipment, and the ability to set technical rules. Patents serve to lock in high-value segments: components, software, batteries, converters, smart grids, and industrial processes, and also help structure national industrial ecosystems by attracting capital, subcontracting, and local production around a protected technological base. They also play a role in international negotiations: a country holding a strong portfolio can impose licenses, condition technology transfers, or influence South-South and North-South partnerships. This transforms innovation into a negotiation tool, not just a scientific outcome. As a result, low-carbon technology areas are now almost systematically included in sectors subject to foreign investment control, regardless of the nature of the measures in place (total bans, ex-ante control, ex-post control, etc.) (Bonnet et al., 2019).Analyses of low-carbon technologies highlight a real patent race, where each camp seeks to dominate future technologies and secure its position in the new energy geopolitics. Europe retains significant scientific and normative capacity, but it is often more vulnerable in certain industrial segments and large-scale industrialization. For intermediate powers, the challenge thus becomes choosing between dependence on imported technologies, local upgrading, or niche strategies in specific segments. Low-carbon innovation can thus reproduce a different asymmetric hierarchy from that of hydrocarbons. A country can decarbonize its electricity mix while remaining technologically dependent on foreign actors. For Southern countries, particularly in Africa, patents can be a barrier if they increase access costs to clean technologies, but they can also be a lever if accompanied by co-development, reasonable licensing, and knowledge transfer. Patents are a geopolitical weapon because they transform knowledge into exclusionary power, negotiation, and market structuring (Bonnet, 2020). The low-carbon energy transition thus offers these countries the

opportunity to adopt a new economic model that combines industrial policy, investment in R&D, and dynamic domestic markets that can upgrade and become patenting actors in clean technologies.

5. The geopolitics of the atom

Civil nuclear power can be an asset in the energy transition for certain countries, especially those that want to produce a lot of low-carbon electricity in a stable and large-scale manner. The main advantage is its ability to provide controllable electricity, thus available continuously, unlike wind and solar energy that depend on the weather. Nuclear power is particularly relevant for countries with high electricity demand, a significant industrial base, or a need to decarbonize quickly without interrupting supply. It can also be interesting for states that want to stabilize electricity costs in the long term and support their industrial competitiveness. Beyond electricity, nuclear power can contribute to industrial heat, low-carbon hydrogen production, and water desalination. In this regard, Russia, China, the United States, and France have developed a nuclear industry that allows them to occupy a dominant position today in the geopolitics of the atom, particularly for Russia. Similarly, nuclear energy represents more than 20% of the European electricity mix. Since 1990, China has been developing its nuclear fleet, which reached a remarkable development in 2019. China successfully achieved the first landing of a module on the far side of the Moon to extract helium from the lunar soil, the application of which in the nuclear field could accelerate the "technological leap" from fission to fusion. Considered a breakthrough technology, nuclear fusion has not yet reached the stage of advancement that would allow for a net energy gain, meaning it produces more energy than it consumes, a necessary condition for its commercialization. In the energy transition, countries with a developed civil nuclear industry are on the verge of transforming this technical capacity into a structural geopolitical advantage (Meyer, 2026).

II. The energy transition: a geopolitical leverage for Morocco

The energy transition is expected to significantly strengthen Morocco's geostrategic position and give it an edge over its regional and international competitors. The levers it has in this regard are multiple, including the export of clean electricity, green hydrogen and its derivatives, emerging sources such as marine energy, and in the future, nuclear energy. In this context, Morocco's massive investments in the energy and logistics sectors offer the opportunity to make the country a logistical link connecting Africa to Europe. In this same perspective, the geopolitical opportunities go beyond the framework of relations within the African Union; they offer Morocco the possibility to lead an energy agenda through a comprehensive African initiative.

1. Empowerment through green hydrogen and Power To X

In the energy transition, electricity will be the central element, and its dominance will provide an undeniable strategic advantage. In this context, Morocco has already become a net exporter of electricity since 2018, with a volume reaching 851 GWh in 2021 to Spain. By 2030-2050, Morocco aims to become the main supplier of clean energy for the Maghreb, Africa, and Europe through massive foreign direct investments (38 billion dollars since 2003) and a green mix (42% solar, 6% wind). The risk could lie in a surge in domestic electricity prices, as was the case in Norway, which was forced to suspend its new interconnection projects with the EU. Similarly, green hydrogen can become a major geopolitical lever for Morocco because it transforms its renewable assets, its Atlantic position, and its proximity to Europe into negotiating power and economic influence. First, green hydrogen reduces Morocco's dependence on imported hydrocarbons and strengthens its energy security. By diversifying its mix and valuing its solar and wind resources, Morocco could gain a margin of strategic autonomy in the face of price shocks and international tensions. Furthermore, Morocco can become a strategic energy supplier for the EU, especially in a context of industrial decarbonization and the search for reliable partners south of the Mediterranean. Its geographical proximity, port infrastructure, and capacity to export hydrogen or its derivatives, such as ammonia, enhance its role as an energy bridge between Europe and the Mediterranean. Green hydrogen can also serve to upgrade industrially. By linking hydrogen, ammonia, and phosphate, Morocco can consolidate an integrated value chain, particularly for fertilizers, which improves its productive sovereignty and its weight in global markets. This allows it to transition from being a mere exporter of resources to a structuring player in strategic sectors. Diplomatically, this sector opens the way to new partnerships with Germany, Spain, France, Gulf investors, and European industrialists.

Thus, Morocco can convert its energy transition into an instrument of economic diplomacy, exchanging stability, regulatory visibility, and access to markets for technology transfers and financing. However, this lever carries political risks. Several analyses highlight the high costs, the possible dependence on foreign capital, and the tensions between exports to Europe and local development needs.

Regarding PtX, a technology that converts renewable electricity into fuels or chemicals such as green hydrogen, ammonia, or methanol, it is likely to strengthen Morocco's geopolitical influence by transforming it into an energy hub between Africa, Europe, and the Atlantic while giving it a key role in European decarbonization. In this context, hydrogen-derived fuels, mainly ammonia and methanol, are emerging as the main alternatives to fossil fuels. One of Morocco's major assets lies in the fact that it has a basic domestic demand from OCP, which has already established a massive investment plan aimed at substituting its fossil ammonia imports with local green ammonia production (Oukerzaz, 2026). The Moroccan strategy is not limited to production. It includes adapting transport infrastructures, notably through the Nigeria-Morocco gas pipeline project, which could eventually transport hydrogen molecules to Spain and the rest of the European Union. To complement the effort in green hydrogen, Morocco is investing in the installation of large-capacity batteries, essential for storing the energy produced in excess during periods of sunlight or strong winds.

2. Marine Renewable Energies: Advances and Potential

In addition to the average annual production of hydroelectric energy, which amounts to about 2,500 gigawatt-hours (GWh) according to data from the Ministry of Equipment and Water, marine energy is emerging as a promising component to further diversify the national energy mix. However, the exploitation of wave, tidal, and marine current energy requires technologies that are still emerging and offer the advantage of producing predictable and constant energy. Preliminary studies and pilot projects are already underway to assess the feasibility of such installations, particularly in strategic areas like the coasts of Essaouira and Dakhla. Furthermore, the development of export capacities is accompanied by projects such as the future green hydrogen pipeline, which will connect Morocco to Europe via Spain, allowing for the transport of this clean energy vector for industrial and residential uses. Marine renewable energies can also strengthen Morocco's maritime vocation. By valuing its Atlantic space, the country transforms its maritime façade into a resource of power, reinforcing its role as a platform between Europe, Africa, and the Atlantic space. This logic is part of the blue economy, where maritime activities become an instrument of development, land planning, and influence. Another significant geopolitical effect is industrial. The development of marine renewable energies can create local value chains in shipbuilding, engineering, port maintenance, storage, and energy services, reducing technological dependence and increasing productive sovereignty. The more Morocco localizes these skills, the more it transitions from being a mere market to a structuring player in the region.

3. Critical Minerals

Morocco is establishing itself as a strategic intermediate player in several value chains of critical and strategic minerals, thanks to cobalt, copper, manganese, nickel, chrome, and silver. Other reserves include iron, lithium, and graphite, which have not yet been fully assessed. Similarly, Morocco is primarily recognized as a leader in phosphates, holding over 70% of global reserves. Moreover, Morocco's potential in rare earth elements remains largely under-exploited. Promising indicators in the High Atlas and Southern provinces show concentrations exceeding 6%, a figure that could propel Morocco among the few global producers capable of meeting the growing demand for green technologies (CESE, 2023). On another note, Mount Tropic may also influence Morocco's geopolitics in the future and strengthen its positioning in global critical metal value chains. This is not just a mining issue but a lever of maritime and diplomatic power.Studies indicate high concentrations of strategic metals, including tellurium, cobalt, nickel, and other elements critical for electronics and energy transition. In this regard, the mining sector can become a lever for industrial transformation, ensuring not only a strategic supply of raw materials but also creating local added value while enhancing the competitiveness of emerging sectors. Regional cooperation, particularly through the African Continental Free Trade Agreement (AfCFTA), offers opportunities to strengthen intra-African value chains and diversify the economy. Nevertheless, Morocco's main weakness remains local transformation, technological valorization, and fine geological mapping to exert more influence.

For instance, Morocco's role in the lithium-ion battery value chain is currently limited to mining extraction.Although Morocco is a significant supplier of phosphate, the development of processing and production capacities could allow it to capture more value in this chain (Emran & Tayebi, 2025). Similarly, Morocco has worked to become the sole corridor connecting West Africa to the rest of the world for green metals and minerals.

4. Morocco as a Connector Country in a Fragmented World

The trade war between the United States and China and the resulting geopolitical tensions have led China to turn to countries with free access to the American market, namely countries that have signed a free trade agreement with the United States. Morocco aspires to become a regional hub for green value chains, combining partnerships with the EU and China. Thus, several Chinese companies have launched projects for the production of batteries for electric vehicles in Morocco (CNGR, Guchen Hi-tech, Shinzoom, Youshan, and Huayou Cobalt). Additionally, China is highly interested in Morocco as a connector country and as an export hub to Europe and Africa. Morocco, for its part, encourages Chinese investments in the critical minerals sector to finally allow its industry to take off. Thus, Morocco is ranked as the second-largest destination for Chinese investments in low-carbon technologies (behind Indonesia), with over $18 billion targeting batteries, green hydrogen, and renewable components. Sino-Moroccan cooperation has significantly expanded into new industrial areas: the production of electronic components, the manufacturing of materials for batteries, renewable energies, and electric mobility solutions. In terms of industrial infrastructure, several agreements signed in 2025 materialize this diversification. The Chinese company Tinci Materials has launched an industrial project estimated at around $280 million for a production platform of strategic battery components—particularly electrolytes in Jorf Lasfar (Ndiongue, 2026). Similarly, the joint venture between CNGR Advanced Material and the Moroccan group Al Mada for the production of battery materials in Jorf Lasfar, as well as the cathode manufacturing plant of BTR New Material Group in Tangier Tech (Agyeman, Abudu 2025). All these factors position Morocco as a competitive production and export platform capable of meeting the new requirements of global value chains in the field of industrial decarbonization.

5. Nuclear Energy: A Bright Future

Morocco is preparing for the gradual introduction of nuclear energy into its energy mix through the establishment of small modular reactors (SMRs). To this end, Morocco has signed an agreement with the Russian public company Rosatom to realize this project. Although it does not have enriched uranium, Morocco has estimated uranium reserves of about 15 million tons, more than half of which comes from phosphate containing between 250 and 75 grams of uranium per ton. This means that this amount would be sufficient to cover its electricity needs for 380 to 470 years. Morocco has established a nuclear safety authority and has research infrastructures recognized by the IAEA.

In this regard, in 2026, Morocco signed two multilateral declarations recognizing nuclear energy as a strategic resource for decarbonization. OCP, through ion exchange extraction technology, plans to achieve effective production by 2028 and could pave the way for the use of small modular nuclear reactors (SMRs) in seawater desalination (Elkorri, 2023).

The deployment of civil nuclear energy would significantly enhance Morocco's geopolitical weight, transforming it from a "good student" of renewable energies into a strategic energy player on a regional and continental scale.

These levers are likely to give Morocco a certain geopolitical advantage, particularly over Algeria. An undeniable competitor of Morocco, Algeria still holds structural importance as a supplier of hydrocarbons to Europe, but this importance is becoming more conditional than before, as its commitment to the energy transition gradually reduces the centrality of gas and oil. Geopolitically, Morocco is gaining influence as it presents itself as a trusted partner for Europe in three areas: green electricity, green hydrogen, and industrial value chains related to clean technologies. Morocco can outpace its neighbors not in the volume of energy exported today, but in its capacity for influence tomorrow. By developing infrastructures, legal frameworks, and financial partnerships around renewables, it becomes a hub of Euro-Mediterranean cooperation and a regional laboratory for energy transition.

This is particularly important in a context where energy is no longer just a matter of supply, but also of standards, supply chain security, and access to carbon markets. In other words, Morocco can convert its renewables into bargaining power with the EU, with West Africa, and with international investors (El-Katiri, 2016).

Conclusion

It is understood that this moment of energy transition is a pivotal moment shaping the trajectory of global politics and heralding a change in the dynamics of power and influence at the international order level. This state of transition implies that major changes do not happen overnight; they involve long and complex transition processes that eventually take place. Given that the energy transition is sui generis to an existential factor for humanity and its survival, its supremacy is therefore inevitable. And despite the fact that this moment of energy transition is characterized by a certain strategic ambiguity, it suggests certain lines of future readability. We could argue that this future will be built subsequently based on how it is perceived in the present and how each country prepares for it. The salient fact is that the energy transition will bring about a shift in the balance of power towards the South, particularly China. A new scenario of "resource curse from a carbon perspective" can only be predictable for states that fail to board this already moving train, particularly rentier exporting countries that risk becoming victims of their authoritarian bargain and seeing their influence threatened. Renewable energies are likely to constitute a new energy oligarchy or energy imperium represented particularly by the countries that will lead this transition and master the imperatives which are: strategic metals, patents, and integration into low-carbon industrial value chains. In this regard, the global energy transition is likely to reshuffle the geopolitical cards; otherwise, it could trigger new conflicts, asymmetries, and dependencies. Southern countries, for their part, could derive significant advantages for those that seize this opportunity to achieve their strategic independence, particularly in the value chain of critical metals and catch up on their technological lag to break free from the Western extractivist model. Thus, the opportunity offered by critical minerals must help Africa transform its natural assets into sustainable comparative advantages and no longer settle for being a "refuge for polluters" and a source of raw materials and slaves. This issue of critical minerals must go beyond the sole industrial option to be embedded in a global pan-African project that emphasizes Africa's supreme interest rather than individual state interests. In this regard, the African Union and all Regional Economic Communities (RECs) must play a predominant role in making this mineral wealth a springboard for Africans towards a better future that they aspire to. For Morocco, the development of the energy transition must first be a dynamo for local development and be for the benefit and service of the populations while preserving the environment rather than primarily serving foreign countries. The increased dependence on foreign direct investment, accompanied by a growing marginalization of rural communities that traditionally live off these territories, constitutes the Achilles' heel of this strategy. However, realizing this potential requires a fundamental transition to a sovereign and equitable development model with a genuine transfer of technologies. It also necessitates capturing maximum added value for Moroccan society, balancing global economic integration with the preservation of national interests, rather than perpetuating a paradigm based on extractivism and foreign dependence. For example, Great Britain ended the Xlinks project for exporting Moroccan electricity because it deemed it no longer in its national interest and preferred to direct its funding towards less risky local projects. Similarly, the project for exporting Moroccan electricity to Germany faces obstacles because the latter wants to limit risks and avoid committing too heavily to a very costly infrastructure.

REFERENCES

African Natural Resources Centre (ANRC) (2021). Lithium-Cobalt Value Chain Analysis for Mineral Based Industrialization in Africa (African Development Bank)

Agyeman Stephen Duah, Abudu Hermas (2025). Morocco-China-EU Relations on Green Transition Minerals, Africa Policy Research Institute, Policy Brief

Andreoni Antonio, Roberts Simon (2022). Geopolitics of critical minerals in renewable energy supply chains, The African Climate Foundation

Balme R., Romano G.C. (2014). La politique énergétique au cœur de la modernisation chinoise, Revue française d'administration publique, n° 150, 435-452

Benabdallah Lina, China's (2024). Engagement in the critical minerals landscape in Africa: Potentials and challenges of tapping into the Global Energy Transition, Africa Policy Research Institute

Boafo a James, Obodai Jacob, Stemn Eric, Nti Nkrumah Philip (2024). The race for critical minerals in Africa: A blessing or another resource curse? Resources Policy 93

Bombenger Pierre-Henri, Mottet Éric, Larrue Corinne (2019). Les transitions Énergétiques: Discours consensuels, processus conflictuels, Presses de l'université du Québec

Bonnet Clément (2020). Compétition internationale des technologies bas-carbone: une nouvelle géopolitique de l'énergie? IRIS recherche. https://www.iris-france.org/competition-internationale-des-technologies-bas-carbone-une-nouvelle-geopolitique-de-lenergie-2/

Bonnet Clément, Carcanague Samuel, Hache Emmanuel, Seck Gondia Sokhna, Simoën Marine (2019). Vers une géopolitique de l'énergie plus complexe? Une analyse prospective tridimensionnelle de la transition énergétique, IRIS

Boukhatem, I. (2025, July 10). The challenges of the energy transition in oil-exporting countries, Transnational Institute. https://www.tni.org/en/article/the-challenges-of-the-energy-transition-in-fossil-fuel-exporting-countries

CESE, 2023, Strategic and critical minerals contributing to Morocco's industrial sovereignty, Auto-saisie n°67/2023. https://www.cese.ma/media/2023/09/Avis-les-mineraisstrate%CC%81giques-VF-.pdf.

Cohen Jared (Sep 13, 2023). Resource realism: The geopolitics of critical mineral supply chains, the Goldman Sachs Global Institute.

European Commission (2024). Europe's climate objective for 2040 and the path to climate neutrality by 2050 for a sustainable, just, and prosperous society, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee, and the Committee of the Regions.

Connaissance des Énergies, AFP (October 10, 2024). China, a victim of its supremacy in the photovoltaic solar sector. https://www.connaissancedesenergies.org/afp/la-chine-victime-de-sa-suprematie-dans-le-secteur-solaire-photovoltaique-241010

Cust James, Zeufack Albert G. (2023). Africa's Resource Future, World Bank Publications, The World Bank Group, number 39599, April.

https://www.europeecologie.fr/categorie-environnement/dans-les-coulisses-des-lobbies-comment-le-petrole-influence-t-il-nos-politiques-energetiques/

El-Katiri Laura (2016). Morocco's strengths in the field of green energy, Policy Center for the New South, Policy brief, PB-16/33

Elkorri Mohamed (August 15, 2023). Uranium: Morocco is set to become the world's leading producer, L'Opinion. https://lopinion.ma/fr/actu-maroc/uranium--le-maroc-est-en-passe-de-devenir-le-premier-producteur-mondial_a48220?articleId=486a2822-a2e1-4d93-9416-17d930a2f5a1

Emran Sabrine, Tayebi Oussama (2025). The future is decided today: for a Moroccan strategy on critical and strategic minerals, Policy Paper n°40/25 from the Policy Center for the New South (PCNS)

European Commission (2024). Securing our future - Europe's 2040 climate target and path to climate neutrality by 2050 building a sustainable, just and prosperous society. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?format=PDF&uri=cellar%3A6c154426-c5a6-11ee-95d9-01aa75ed71a1.0001.02%2FDOC_1&utm

Eyl-Mazzega M-A, Mathieu C (2019) Strategic dimensions of the energy transition. Challenges and responses for France, Germany and the European Union. Institut Français des Relations Internationales, Etudes de l'IFRI, April 2019

Ferreira Gustavo, Critelli Jamie (2022). China's Global Monopoly on Rare-Earth Elements," Parameters 52, no. 1, 57-72, doi:10.55540/0031-1723.3129.

geopoliticsofrenewables.org/assets/geopolitics/Reports/wp-content/uploads/2019/01/Global_

Global Times (June 29, 2026). Investment in key energy projects and new business models during 15th five-year plan period to exceed 20 trillion yuan.http://english.scio.gov.cn/pressroom/2026-06/29/content_118573139.html

Goldthau A, Westphal K, Bazilian M, Bradshaw M (2019) How the energy transition will reshape geopolitics. Nature 669:29–31

Gong, H., Guo, Y., Chen, Y., & Asheim, B. (2026). Integrating Geoeconomics into the GPN Framework: The Internationalization of Chinese EV Battery Firms amid China–EU Strategic Interaction. Economic Geography, 102(3), 179–208. https://doi.org/10.1080/00130095.2026.2630648

Guignard Florent (18/08/2025). Comment les pays pétroliers font obstacle à la transition écologique et énergétique, RFI.https://www.rfi.fr/fr/podcasts/questions-d-environnement/20250818-comment-les-pays-p%C3%A9troliers-font-obstacle-%C3%A0-la-transition-%C3%A9cologique-et-%C3%A9nerg%C3%A9tique

Hache Emmanuel(2016).La géopolitique des énergies renouvelables : amélioration de la sécurité énergétique et / ou nouvelles dépendances ? Revue internationale et stratégique, 1 N° 101, pp 36 - 46 ,Éditions IRIS éditions

Hamouchene, H. (2022, octobre 14). Transition énergétique en Afrique du Nord, Transnational Institute. https://www.tni.org/fr/article/the-energy-transition-in-north-africa

IRENA (2019).A New World : The Geopolitics of the Energy Transformation, Rapport

IRENA(2022). Geopolitics of Energy Transformation: The Hydrogen Factor, Report

IRENA(2023). Geopolitics of Energy Transformation: Critical Raw Materials, Report

Kameni Apoli Bertrand (2013). The Conflictual Dynamics of Strategic Minerals. Between National Mineral Rivalries and International Mineralism. Online at https://www.cairn.info/revue-internationale-etstrategique-2013-3-page-50.htm.

Kohnert, D. (2024). Perspectives and Challenges for the Export of Rare Earths from Sub-Saharan Africa to the EU. https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-91404-3

Mancer Ilyes, Merzouk Farida (2024). The Energy Transition for a Green Economy in Algeria: Necessity or Opportunity, Conference: Renewable Energy Policies in the Arab Region and Sustainable Development Challenges, November 20, 2023, University of Boumerdes

Matambo Emmanuel, Tamasiga Phemelo (2025). Africa's Critical Minerals for the Energy Transition: Strategies of External Powers and African Agency, in: Christine Hackenesch / Tobias Heidland / Denis M. Tull (eds.), Leverage and Limits: What African Actors Make of the New Multipolarity, Megatrends Afrika Working Paper 21, Berlin/Bonn/Kiel: SWP/IDOS/IfW, 36-40

Meyer Teva (2026). Nuclear Energy Summit: How to Envision the Revival of Nuclear Power in a Context of Geopolitical Instability? IRIS. https://www.iris-france.org/sommet-sur-lenergie-nucleaire-comment-envisager-la-relance-du-nucleaire-dans-un-contexte-dinstabilite-geopolitique/

Mouton Gauthier (2023). Lachine, Champion of the Energy Transition? The Great Files of Diplomacy No. 73

Mukeredzi Tonderayi (Mar. 9, 2022). Zimbabwe Deals Help China Tighten African Lithium Grip, AFR. BUS. https://african.business/2022/03/energyresources/zimbabwe-deals-help-china-tighten-african-lithium-grip

Nakhle Carole, (May 12, 2023). The Energy Transition and the Risk of Resource Nationalism, GIS REPS https://www.gisreportsonline.com/r/resource-nationalism/ [https://perma.cc/Z7JMB9HP]

Nantulya Paul (April 22, 2026). Reciprocal and Resilient Mineral Supply Chains: Lessons from the Nacala Corridor, Africa Center for Strategic Studies. https://africacenter.org/fr/spotlight/chaines-dapprovisionnement-minerales-corridor/

Ndiongue Mouhamet (24/02/2026). Green value chains: Morocco, Africa's hub for China's industrial offensive, le360. https://afrique.le360.ma/afrique-du-nord/maroc/chaines-de-valeur-vertes-le-maroc-hub-africain-de-loffensive-industrielle-de-la-chine_TOMDH3AECJDXJAFO7XDWMGUBUY/

Ndzana Ndzana Jean Yves (2025). Strategic minerals as levers for strategic negotiations: the limits of bartering rare earths for military assistance, Policy brief

Oukerzaz Hicham (7 March 2026). Decarbonized maritime transport: where do Moroccan ports stand? Hespress. https://fr.hespress.com/454971-transport-maritime-decarbone-ou-en-sont-les-ports-marocains.html

Paillard Christophe-Alexandre (2012). Minerals and defense industries, a dependency to clarify, Diploweb.com: the geopolitical review

Sauviat Catherine, Serfati Claude (2026). Trade war, rearmament, and the retreat of the energy transition: States and unions facing a world in crisis, International Chronicle of IRES 2025/4 No. 192, pages 4 to 32, I.R.E.S. Editions.

Tucker, Sydney "Competing for Africa's Resources: How the US and China Invest in Critical Minerals" (Washington, D.C.: Stimson Center, 28 February 2025)

Xinhua (Jul 21, 2025) China Sees Vibrant Innovation in Green, Low-Carbon technologies. https://global.chinadaily.com.cn/a/202507/17/WS68789e29a310ad07b5d907d7.html

INVESTIGATION OF VACANCY DEFECTS IN CU AND SE BASED MATERIALS: A FIRST-PRINCIPLES STUDY

Faiza BAGHIDA
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

Mourad BOUGHRARA
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

Mohamed KEROUAD
Laboratory of Physics of Materials and Systems Modelling (LP2MS), Faculty of Sciences, Moulay Ismail University, Meknes, Morocco.

Abstract
Copper-based chalcogenides and halides such as Cu-Se and Cu-I have recently emerged as promising p-type transparent conductors for next-generation optoelectronic devices, including solar cells and light-emitting diodes. The presence of copper vacancies plays a crucial role in determining their electrical and optical properties. In this work, we systematically investigate the formation energy, electronic structure, and optical response of copper vacancies in Cu-Se (berzelianite phase) and γ-Cu-I using first-principles density functional theory (DFT). Calculations are performed with the Vienna Ab initio Simulation Package (VASP) using the projector augmented wave method and a Hubbard U correction to accurately describe Cu d electrons. The formation energy of copper vacancies is computed under different chemical potential conditions, ranging from Cu-rich to Cu-poor environments. Our results show that copper vacancies are shallow acceptors in both materials, with significantly lower formation energy in Cu-Se compared to Cu-I, suggesting a higher intrinsic p-type conductivity in the selenide. Density of states analysis reveals that vacancy-induced states appear near the valence band maximum, contributing to enhanced hole carrier concentration without introducing deep recombination centers. Optical absorption spectra indicate that copper vacancies extend the absorption edge toward lower energies in Cu-Se, while their effect remains minimal in Cu-I. These findings provide a microscopic understanding of defect-controlled conductivity in Cu-based transparent conductors and offer guidelines for optimizing p-type performance in earth-abundant materials for sustainable energy technologies.
Keywords: Copper vacancy; Cu-Se; Cu-I; DFT; p-type transparent conductor; formation energy; optoelectronics

Acknowledgements (optional)
This work was supported by the Moroccan Ministry of Higher Education and the German-Moroccan Hydrogen Cooperation Project (Project No. H2-Mor-2025). Computational resources were provided by the Moroccan Supercomputing Center (CMR).

References (optional)
[1] H. Liu, X. Zhang, et al., Journal of Materials Chemistry C, 8(45), 16082-16093, 2020.
[2] D. O. Scanlon, J. Buckeridge, et al., Advanced Materials, 26(46), 7925-7930, 2014.
[3] J. A. Peters, Z. Liu, et al., Physical Review B, 98(15), 155205, 2018.

DESIGN AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A PZT-BASED PIEZOELECTRIC ENERGY HARVESTING SYSTEM FOR HUMAN FOOTSTEP POWER GENERATION

Asst. Prof. Sudhangshu CHAKRABORTY
Department of Basic Science and Humanities (Physics), Asansol Engineering College, Asansol, West Bengal, India.
ORCID ID: 0000-0002-4874-9681

Mun MAJUMDER
Department of Basic Science and Humanities (Chemistry), Asansol Engineering College, Asansol, West Bengal, India.

Abstract
The increasing demand for sustainable and decentralized energy technologies has stimulated the development of systems capable of converting ambient mechanical energy into useful electrical power. In this study, a **footstep-based piezoelectric energy harvesting system** was designed, fabricated, and experimentally evaluated for converting human biomechanical energy into electrical energy. The prototype employed **lead zirconate titanate (PZT) transducers integrated beneath a walking platform**, with the generated alternating-current output conditioned using a full-wave bridge rectifier, smoothing capacitor, voltage regulator, and energy-storage circuit. The electrical performance was systematically investigated under different **user weights, stepping frequencies, and impact conditions** to evaluate the harvesting efficiency and output characteristics. The experimental results demonstrated a **maximum output voltage of 11.7 V and a peak power of 76.05 mW under jumping conditions**. Continuous stepping successfully charged the storage unit and enabled operation of an LED and other low-power electronic loads. The results demonstrate the feasibility of converting human locomotion into usable electrical energy and highlight the potential of optimized piezoelectric flooring as a **decentralized energy source for self-powered sensors, IoT devices, and smart infrastructure** in high-footfall environments.
Keywords: Piezoelectric energy harvesting; Human biomechanical energy; PZT transducers; Footstep power generation; Energy conversion; Self-powered systems; IoT; Smart infrastructure

IMPACT OF FLATTENING FILTER REMOVAL AND SECONDARY COLLIMATOR ON THE ENERGETIC PROPERTIES OF A 6 MV PHOTON BEAM USING MONTE CARLO SIMULATION

Ismail LAGRINI
LSIB Laboratory, Faculty of Sciences and Technologies of Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, Mohammedia, Morocco.

Mohamed BENCHEIKH
LSIB Laboratory, Faculty of Sciences and Technologies of Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, Mohammedia, Morocco.

Abstract
Radiotherapy is an effective cancer treatment that uses precise radiation beams to target tumor cells while minimizing damage to surrounding healthy tissues. In this study, the GATE Monte Carlo code was used to evaluate the impact of removing the flattening filter and the secondary collimator on the energy properties of a 6 MV photon beam. The analysis focuses on particle fluence and energy-fluence distributions at the phantom surface for a 10 × 10 cm² field and an SSD of 100 cm, as well as on the production of secondary particles. The results show that removing the flattening filter increases the dose rate but considerably alters the beam's distribution and energy characteristics, leading to higher contamination by secondary particles and an increased fluence of low-energy photons, which in turn raises the surface dose compared to the filtered (FF) configuration. In addition, the secondary collimator contributes significantly to secondary particle production, further affecting the beam's energy properties and dose distribution. Overall, using the linear accelerator in FFF mode improves dose-delivery efficiency while offering the potential to reduce unnecessary exposure to healthy tissues, supporting the use of FFF beams as a promising approach in modern radiotherapy.
Keywords: Radiotherapy, Flattening Filter Free (FFF), Secondary Collimator, Linac, Monte Carlo simulation, Secondary particle production, Surface dose.

DYNAMIC MODELING AND SIMULATION OF A THREE-PHASE INDUCTION MOTOR USING A MATLAB/SIMULINK S-FUNCTION

I. G. SAIDU
Department of Physics, Usmanu Danfodiyo University Sokoto Nigeria,
ORCID: 0009-0007-5996-572X

Umar Zangina
Departmaent of Electrical Engineering, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria
ORCID: 0009-0006-8054-0593

Abstract
Induction motors are widely used in industrial and domestic applications because of their simplicity, reliability, efficiency, and relatively low cost. The increasing use of computer-based simulation has created opportunities for developing efficient models capable of reproducing the dynamic behaviour of induction machines while reducing computational requirements. This study presents a dynamic model of a generalized three-phase induction motor implemented using a user-defined S-Function in MATLAB/Simulink. The machine equations were formulated using space-phasor representation, while the three-phase voltage, current, flux, and inductance variables were transformed into the two-axis d-q reference frame. The resulting dynamic equations were implemented within a single S-Function block to overcome the computational limitations associated with conventional Simulink library-based induction motor models. The developed model was evaluated using a three-phase AC voltage supply under direct-on-line starting conditions and tested at load torques of 10 N.m and 40 N.m applied at t = 1s. Simulation results demonstrated that the proposed S-Function model reproduced the expected dynamic response of the induction motor while providing a significant improvement in simulation speed compared with conventional models. The model can therefore be used independently or integrated into advanced electric-drive simulation and control systems.
Keywords: Three-phase induction motor, dynamic modelling, S-Function, MATLAB/Simulink, d-q transformation, simulation speed, electric drives.

RISK-AWARE REINFORCEMENT LEARNING–MODEL PREDICTIVE CONTROL FOR DYNAMIC PESTICIDE ROUTING IN PRECISION AGRICULTURE

Dr. Umar ZANGINA
Departmaent of Electrical Engineering, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria
ORCID: 0009-0006-8054-0593

Dr. Ismaila Garba SAIDU
Department of Physics, Usmanu Danfodiyo University Sokoto Nigeria,
ORCID: 0009-0007-5996-572X

ABSTRACT
Pesticide application in precision agriculture involves a dynamic routing problem in which treatment demand changes with crop condition, pest risk, and environmental conditions. Conventional vehicle-routing approaches generally optimize travel or service sequences without explicitly accounting for the temporal evolution of field risk. This study presents a risk-aware reinforcement learning–model predictive control (RL–MPC) framework for dynamic pesticide routing in precision agriculture. The proposed framework integrates reinforcement learning, predictive crop-risk modelling, constrained model predictive control, and priority-based vehicle routing to coordinate pesticide allocation and treatment sequencing. A proximal policy optimization agent adaptively adjusts selected MPC parameters and generates routing priorities from current and forecasted field conditions. The framework was evaluated in MATLAB over a 60-day simulated agricultural scenario and compared with genetic algorithm-based vehicle routing (GA-VRP) and particle swarm optimization-based routing (PSO-VRP). RL–MPC achieved an area under the risk curve (AURC) of 3.09, compared with 4.31 for both GA-VRP and PSO-VRP, representing an approximately 28.3% reduction in cumulative field-risk exposure. This improvement was accompanied by higher cumulative travel time (1018.8 h) and pesticide consumption (6000.0 L), compared with 785.3 h and 5382.6 L for GA-VRP, respectively. All evaluated methods recorded zero constraint violations. The results indicate that RL–MPC prioritizes proactive intervention and long-horizon crop-risk reduction rather than minimizing routing cost alone. The trained policy also provides rapid inference, while the complete decision process remained within the specified computational budget in the simulation environment. These findings demonstrate the potential of integrating reinforcement learning and predictive control for risk-aware pesticide routing, while highlighting the need for field validation, uncertainty-aware modelling, and multi-objective optimization in future studies.
Keywords: Precision agriculture; pesticide routing; vehicle routing problem; reinforcement learning; model predictive control; risk-aware control; dynamic demand; autonomous agriculture.

INTRODUCTION
Precision agriculture increasingly relies on intelligent decision-making systems capable of responding to changing field conditions. Pesticide application is particularly suited to this approach because the timing, quantity, and location of treatment can influence crop health, operational costs, and environmental exposure. Rather than treating every field location as having a fixed treatment requirement, an intelligent spraying system should account for changing crop conditions, pest pressure, weather conditions, and available pesticide resources (Bongiovanni & Lowenberg-DeBoer, 2004; Zhang et al., 2002).

Model Predictive Control (MPC) provides a useful framework for such dynamic decision-making. MPC predicts future system states over a finite prediction horizon and determines appropriate control actions while considering system constraints. Its ability to incorporate predictive information, system dynamics, and operational limitations makes it suitable for real-time cyber-physical applications and autonomous systems (Camacho & Bordons, 2007; Qin & Badgwell, 2003). The use of predictive control in agricultural systems can therefore support more responsive and resource-efficient decision-making under changing field conditions.

In agricultural vehicle routing, however, the routing problem is more complex than simply finding the shortest path between treatment locations. Field demand can change as pest populations develop and as environmental conditions change. A route that is efficient at one point in time may become inappropriate later if a high-risk field is not treated promptly. Consequently, pesticide routing requires coordination among treatment demand, crop-risk evolution, vehicle capacity, travel requirements, and the timing of field operations (Bertsimas & Simchi-Levi, 1996; Golden et al., 2008).

Reinforcement learning (RL) offers an additional capability because an RL agent can learn decision policies through repeated interaction with an environment. Instead of optimizing each routing decision independently, the agent can learn to consider the longer-term consequences of current decisions. Reinforcement learning has been increasingly applied to sequential decision-making and complex control problems in which an optimal policy must adapt to changing states and uncertain outcomes (Sutton & Barto, 2018). Combining RL with MPC therefore provides an opportunity to exploit the predictive capabilities of MPC while allowing the control strategy to adapt through learning and feedback (García & Fernández, 2015).

The present study develops a risk-aware RL–MPC framework for dynamic pesticide routing. The framework integrates predictive crop viability, dynamic pesticide demand, MPC-based pesticide allocation, reinforcement-learning-based coordination, and priority-weighted vehicle routing. The objective is not simply to minimize travel cost but to balance field-risk reduction with pesticide use and routing requirements. Such an integrated approach is consistent with the broader goals of precision agriculture, which seek to optimize agricultural inputs spatially and temporally while improving productivity and reducing unnecessary environmental impacts (Gebbers & Adamchuk, 2010; Zhang et al., 2002).

Research Problem

Traditional vehicle-routing approaches generally assume that service demand is known or changes relatively slowly. In pesticide application, however, demand is inherently dynamic. Pest pressure and crop condition can evolve over time, while weather conditions can alter the expected risk of pest development. Consequently, a routing strategy based on fixed or predetermined demand may fail to respond adequately to rapidly changing field conditions. Dynamic routing problems require decision-making mechanisms capable of responding to changes in demand and system conditions over time (Pillac et al., 2013).

Furthermore, pesticide application involves competing operational objectives. A spraying vehicle must reach high-priority fields within an appropriate time, while also considering travel distance, vehicle capacity, pesticide availability, and the potential environmental consequences of excessive pesticide application. Precision agriculture emphasizes the use of site-specific information and decision-support technologies to apply agricultural inputs more efficiently and appropriately (Gebbers & Adamchuk, 2010).

The problem is therefore not merely to determine the shortest route for pesticide application, but to determine which field should be treated, when it should be treated, how much pesticide should be allocated, and in what sequence the fields should be visited, while accounting for changing crop risk and resource constraints. This creates a dynamic, multi-objective decision problem in which current actions can influence future field conditions and operational requirements.

A conventional optimization method may provide an efficient solution for a particular set of conditions, but its performance can deteriorate when field risk, pesticide demand, or environmental conditions change. Reinforcement learning can address this limitation by learning policies from interactions with the operating environment, while MPC can provide short-term predictive optimization subject to system constraints (Qin & Badgwell, 2003; Sutton & Barto, 2018). The integration of these approaches may therefore provide a more adaptive mechanism for pesticide-routing decisions.

Accordingly, the research problem addressed in this study is the development of **a** risk-aware dynamic pesticide-routing framework that combines reinforcement learning and model predictive control to coordinate changing crop risk, pesticide demand, resource constraints, and vehicle routing decisions**.** The framework is intended to improve the timeliness and efficiency of pesticide application while reducing unnecessary pesticide use and travel requirements.

Objectives of the Study

The study aims to:

1. Develop a dynamic vehicle-routing formulation for pesticide application in which treatment demand changes with crop-risk conditions.
2. Develop an RL–MPC coordination mechanism for adaptive pesticide allocation and routing.
3. Evaluate the performance of the proposed framework against GA-VRP and PSO-VRP approaches.
4. Examine the computational characteristics of the proposed framework for real-time agricultural operations.

System Model

Agricultural Network

The pesticide spraying operation is represented as an agricultural region divided into treatment areas and served by a central depot. The depot functions as the starting and refilling location for the spraying vehicle. Each treatment area represents a location requiring pesticide application, while the connections between locations represent possible travel paths.

The agricultural environment is represented as a directed weighted graph:

$$\mathbf{G = (V, E, C)} \qquad \textbf{(1)}$$

where **V** represents the set of nodes, **E** represents the directed edges connecting nodes, and $\mathbf{C = [C_{ij}]}$ is the travel-cost matrix. The depot is represented by $\mathbf{v_0}$, while the remaining nodes correspond to treatment areas.

The cost $\mathbf{C_{ij}}$ represents the travel time between nodes **i** and **j**, including relevant travel and operational delays. The vehicle has a maximum pesticide capacity $\mathbf{Q_{max}}$ and requires a fixed refill time when it returns to the depot.

2.2 Crop Viability Dynamics

The condition of each treatment area is represented by a crop viability index $\mathbf{I_i(t)}$, bounded between zero and one. Higher values indicate healthier crop conditions. In the simulated environment, viability declines as pest pressure increases and is influenced by environmental variables such as temperature, humidity, and precipitation.

The continuous-time viability model is represented as:

$$d^2I(t)/dt^2 + \alpha(dI(t)/dt) + \beta I(t) = g(u(t), \tilde{I}(t)) \qquad (2)$$

where **u(t)** represents pesticide application and $\tilde{I}(t)$ represents forecasted viability.

For computational implementation, the model is discretized using a sampling interval Δt:

$$I_i(k+1) = I_i(k) + \Delta t[a_1(I_{ref}\ I_i(k)) + a_2(\hat{I}_i(k) - I_i(k)) + bu_i(k)] \qquad (3)$$

where I_{ref} is the desired reference viability, $\hat{I}_i(k)$ is the forecasted viability, $u_i(k)$ is the pesticide quantity applied, and a_1, a_2, and b are model parameters.

2.3 Weather and Demand Forecasting

Temperature, humidity, and precipitation are represented using seasonal stochastic processes. The weather variables are generated using a mean-reverting model with a seasonal component:

$$W_l(k+1) = \mu_l + \varphi_l[W_l(k) - \mu_l] + A_l \sin(2\pi k/Pseas) + \sigma_l E_l(k) \qquad (4)$$

where:

- **l** denotes the weather variable;
- $\boldsymbol{\mu_l}$ is its long-term mean;
- $\boldsymbol{\varphi_l}$ represents persistence;
- $\mathbf{A_l}$ is the seasonal amplitude;
- **Pseas** is the seasonal period; and
- $\mathbf{E_l(k)}$ represents Gaussian noise.

Forecasted crop viability is obtained from current viability and forecasted weather conditions. These forecasts are then used to estimate treatment demand at each field location.

Dynamic Pesticide Demand

The routing demand for treatment area **i** is represented as:

$$d_i(k) = \max\{0, I_{ref} - I_i(k)\}k_i \qquad (5)$$

where $\mathbf{k_i}$ is a crop- or area-specific sensitivity factor.

This formulation allows pesticide demand to change as crop viability changes. Consequently, routing decisions are not based on a fixed demand pattern but on the evolving condition of the agricultural field.

PROPOSED RL–MPC FRAMEWORK

The proposed framework combines reinforcement learning and model predictive control within a dynamic routing architecture. The RL agent operates as a coordination layer, while MPC determines pesticide allocations subject to operational constraints. A priority-based routing algorithm subsequently determines the order in which treatment areas are visited.

Reinforcement Learning Coordination

The RL agent observes the overall state of the agricultural environment. The state includes crop viability, predicted viability, treatment demand, vehicle position, remaining pesticide capacity, recent application information, and weather conditions.

The state vector is represented as:

$$s(k) = \left[I(k), \hat{I}(k), d(k), a_{last}(k), v(k), q_{rem}(k), \mathcal{W}(k)\right], \qquad (6)$$

The agent uses this information to adjust selected MPC parameters and assign priorities to treatment locations.

The actions include adjustments to:

- MPC prediction and control horizons;
- pesticide-use penalties;
- demand and viability weightings;
- routing priorities; and
- selected vehicle-capacity parameters.

This arrangement allows the RL component to influence both control and routing decisions rather than treating the routing problem independently.

3.2 Model Predictive Control

At every decision step, the MPC layer predicts future crop conditions and determines pesticide allocations. The optimization seeks to reduce crop-risk exposure while accounting for pesticide use and operational costs.

The MPC optimization can be represented generally as:

$$\min_{U} J = \sum_{\tau=1}^{N_p} \left\| I_{ref} - I(k+\tau) \right\|_Q^2 + \sum_{\tau=0}^{N_c-1} \left\| I_{ref} - U\Delta(k+\tau) \right\|_R^2 \qquad (7)$$

subject to:

$$\sum_i u_i(k) \leq Q_{max},\ u_i(k) \geq 0, \qquad (8)$$

and the discrete crop-viability dynamics:

$$I(k+1) = f(I(k), u(k), \hat{I}(k) \qquad (9)$$

The formulation ensures that pesticide allocations remain within the available vehicle capacity while attempting to maintain crop viability near the desired reference level.

3.3 Reward Function

The RL agent is trained using a reward that penalizes field risk, travel cost, and pesticide consumption:

$$R_k = -\omega_1 \Sigma_i (1\ \ I_i(k)) - \omega_2 \text{Travel}(k) - \omega_3 \Sigma_i\, u_i(k) \qquad (10)$$

where $\boldsymbol{\omega_1}$, $\boldsymbol{\omega_2}$, and $\boldsymbol{\omega_3}$ determine the relative importance of risk, travel, and pesticide consumption.

The reward formulation encourages the agent to consider the longer-term consequences of routing decisions rather than optimizing travel cost alone.

3.4 Priority-Based Vehicle Routing

Following pesticide allocation, the routing component determines the sequence in which treatment areas are visited. The next treatment location is selected using a combination of travel cost and the priority assigned by the RL agent:

$$j^* = \arg\min_{j \in U} C_{i_{curr,j}} - \lambda_{vrp} P_j(k), \qquad (11)$$

where **U** represents unserved treatment areas, $\mathbf{P_j(k)}$ is the RL-generated priority, and $\boldsymbol{\lambda_{vrp}}$ determines the relative importance of routing distance and treatment priority.

If the demand at the selected location is within the vehicle's remaining capacity, the demand is fully served. If the demand exceeds the remaining capacity, the vehicle applies the available pesticide, returns to the depot for refilling, and continues the route.
The priority-based routing heuristic has a computational complexity of approximately:
$O(N_a^2)$ per decision step.

Integrated Control Procedure
The RL–MPC system operates as an iterative decision-making loop.
At each decision step:
1. Weather and pest-risk information are updated.
2. Forecasted crop viability is generated.
3. Current crop viability and pesticide demand are calculated.
4. The RL agent observes the current system state.
5. The RL agent adjusts MPC parameters and routing priorities.
6. MPC determines pesticide allocation.
7. The routing solver determines the treatment sequence.
8. The spraying operation is executed.
9. Vehicle and field states are updated.
10. The resulting reward is calculated and used to update the RL learning process.

This structure enables routing and pesticide allocation to respond continuously to changing field conditions.

SIMULATION SETUP
The proposed framework was implemented in MATLAB R2024a. The simulations were conducted using a workstation equipped with an AMD Ryzen 9 processor, 32 GB RAM, and Windows 10. The MATLAB Model Predictive Control Toolbox, Optimization Toolbox, and Reinforcement Learning Toolbox were used.

Field Environment
The simulated agricultural environment consists of seven nodes: one depot and six treatment areas. The field is represented as a directed weighted graph, with travel times between nodes calculated from shortest paths on a grid layout.
The vehicle has a maximum pesticide capacity of:

$$\mathbf{Q_{max} = 100\ L}$$

and a fixed refill time of 0.25 h. The spray-time coefficient is 0.02 h/L.
5.2 MPC Configuration
The desired crop viability was set to:

$$\mathbf{I_{ref} = 0.98}$$

The default prediction and control horizons were:

$$\mathbf{N_p = 10,\ N_c = 4} \qquad \mathbf{(12)}$$

The MPC input penalty was:

$$\boldsymbol{\lambda_u = 10^{(-3)}} \qquad \mathbf{(13)}$$

The sampling interval was one day.
The quadratic programming problem was solved using MATLAB's quadprog solver with an interior-point-convex configuration.

Reinforcement Learning Configuration
The RL component used the Proximal Policy Optimization (PPO) algorithm implemented through MATLAB's rlPPOAgent.
The policy and value networks consisted of two hidden layers with 128 units each and hyperbolic tangent activation functions. The learning rate was 3×10^{-4}, the mini-batch size was 256, the discount factor was 0.99, the generalized advantage estimation parameter was 0.95, and the clipping range was 0.2.
The reward weights were set to:

$(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4) = (1, 0.25, 0.05, 2.0)$ (14)
The routing priority trade-off parameter was:
$\lambda_{vrp} = 0.5$

Training and Evaluation
Each simulation episode covered 60 decision steps, corresponding to 60 days. Weather seeds, initial viability values, and model parameters were randomized within the specified simulation ranges.
The PPO agent was trained for 1,000 episodes using eight parallel workers. Training required approximately 6–8 hours.
For evaluation, 100 held-out episodes were conducted using fixed seeds and without exploration. A computational budget of 200 ms per decision step was imposed for the combined MPC and routing operations on a single thread.

Baseline Methods
The proposed RL–MPC framework was compared with:
- GA-VRP**:** genetic algorithm-based vehicle routing;
- PSO-VRP**:** particle swarm optimization-based vehicle routing; and
- Seq-MPC + Greedy**:** MPC with fixed parameters combined with nearest-neighbour greedy routing.

Additional ablation configurations considered the effects of RL priorities, MPC tuning, and active-demand coupling.
5.6 Evaluation Metrics
Performance was evaluated using:
1. Area Under the Risk Curve (AURC): cumulative field-risk exposure.
2. Total travel time**:** cumulative vehicle travel.
3. Pesticide consumption**:** total pesticide applied.
4. Constraint violations**:** number of capacity or feasibility violations.

Computational performance was also assessed using the mean and 95th-percentile decision time.

RESULTS AND DISCUSSION

Overall Performance
The RL–MPC framework was evaluated over the 60-day simulation horizon. The results show a clear difference between the proposed risk-aware approach and routing methods that place greater emphasis on travel efficiency.
The RL–MPC method achieved an AURC of 3.09, whereas both GA-VRP and PSO-VRP recorded an AURC of 4.31. The resulting reduction in cumulative field-risk exposure was approximately 28.3%.

Table 1. Overall Performance of the Evaluated Methods

Method	AURC	Total Travel (h)	Pesticide (L)	Constraint Violations
RL–MPC	3.09	1018.8	6000.0	0
GA-VRP	4.31	785.3	5382.6	0
PSO-VRP	4.31	786.3	5382.7	0

The results reveal an important trade-off. RL–MPC achieves lower cumulative risk at the expense of greater travel time and pesticide consumption.

Travel Time
RL–MPC recorded a cumulative travel time of 1018.8 h, compared with 785.3 h for GA-VRP and 786.3 h for PSO-VRP.
The greater travel time is consistent with the risk-aware routing strategy. Rather than selecting routes exclusively on the basis of distance, the RL agent assigns greater priority to treatment areas whose predicted condition makes timely intervention important.
This indicates that the proposed framework does not treat travel efficiency as the only measure of routing quality. Instead, travel decisions are considered in relation to their potential consequences for field risk.

Field Risk and Crop Viability

The most important performance difference was observed in the cumulative risk measure. RL–MPC achieved an AURC of 3.09, substantially lower than the 4.31 obtained by both comparison methods.

The lower AURC indicates that the RL–MPC policy maintained crop viability more effectively over the simulation horizon. The ability to incorporate predicted field conditions allows the controller to identify locations that may become important before their risk reaches a critical level.

Thus, the framework moves pesticide routing from a purely reactive process toward a more anticipatory strategy.

Pesticide Consumption

RL–MPC used 6000.0 L of pesticide during the simulation, compared with 5382.6 L for GA-VRP and 5382.7 L for PSO-VRP.

The higher pesticide use should therefore be interpreted alongside the lower AURC. The RL–MPC policy places greater emphasis on maintaining crop viability and reducing cumulative risk. Consequently, it may select earlier or more distributed treatment actions rather than minimizing pesticide quantity alone.

This result demonstrates the multi-objective nature of pesticide routing: minimizing chemical use and minimizing crop-risk exposure are not necessarily equivalent objectives.

Constraint Compliance

All three evaluated approaches recorded zero constraint violations.

This indicates that the evaluated routing and control strategies respected the specified vehicle-capacity and feasibility constraints throughout the simulation.

The result is particularly relevant for autonomous pesticide application, where exceeding available pesticide capacity or violating operational restrictions could compromise the practicality of the routing strategy.

Computational Performance

The trained RL policy provides rapid action selection because the neural network maps the observed system state directly to control and routing decisions.

The computational analysis identifies three major components:

1. RL policy evaluation;
2. MPC optimization; and
3. priority-based vehicle routing.

The policy inference complexity is expressed as:

$$O\left(\sum_{l=1}^{L} n_{l-1} n_l\right) \qquad (15)$$

where $\mathbf{n_l}$ represents the number of neurons in layer $\mathbf{l}$.

For the MPC component, the stated worst-case complexity is approximately:

$$O\left(\left(N_a N_p\right)^3\right), \qquad (16)$$

The priority-based routing component has complexity:

$$O(N_a^2) \qquad (18)$$

Therefore, the overall deployment complexity is approximately:

$$O\left(\left(N_a N_p\right)^3 + N_a^2\right), \qquad (19)$$

The simulation reports sub-millisecond RL policy inference and less than 1 ms per decision step for the specified test case of $\mathbf{N_a = 20}$ and $\mathbf{N_p = 5}$. The complete MPC-plus-routing process was also evaluated against the 200 ms computational budget.

7. DISCUSSION

The simulation results demonstrate that risk-aware routing can produce different decisions from conventional routing strategies that focus primarily on distance or immediate routing cost.

The lower AURC achieved by RL–MPC suggests that incorporating crop viability and forecast information into routing decisions can improve the management of cumulative field risk.

The RL component contributes by learning how changes in environmental and crop conditions should influence routing priorities and MPC settings.

An important finding is that improved risk performance does not necessarily correspond to reduced travel or pesticide consumption. RL–MPC required more travel time and pesticide than the two evolutionary-routing approaches. Rather than viewing these increases simply as inefficiencies, they can be interpreted as the operational cost associated with giving greater priority to crop-risk reduction.

This highlights the importance of evaluating autonomous pesticide systems using multiple objectives. A routing strategy that minimizes travel distance may not necessarily minimize crop damage or cumulative risk. Similarly, minimizing pesticide use without considering future pest development could result in delayed treatment and greater risk later in the planning horizon.

The combination of RL and MPC is particularly useful because the two components perform complementary functions. MPC provides explicit predictive optimization and constraint handling, while RL provides adaptive coordination based on repeated interaction with the simulated agricultural environment. The priority-based routing mechanism then translates the learned priorities into an interpretable route-selection process.

Nevertheless, the results should be interpreted within the scope of the simulation. The model uses synthesized weather and pest-risk dynamics, and therefore the observed performance does not by itself establish field-level effectiveness. Real agricultural environments contain uncertainties that may not be fully represented by the simulated processes, including heterogeneous pest distributions, crop-specific responses, changing terrain conditions, pesticide application requirements, and operational disturbances.

COMPUTATIONAL COMPLEXITY

The computational requirements of the proposed framework arise primarily from the MPC optimization and the routing process.

After training, the RL network performs inference by evaluating a fixed neural network. This operation is largely independent of the number of treatment areas for a fixed network architecture.

The MPC component is more computationally demanding because its optimization problem grows with the number of treatment areas and prediction horizon. Its stated worst-case complexity is:

$$O\left(\left(N_a N_p\right)^3\right),$$

The routing heuristic contributes:

$$O(N_a^2)$$

Consequently, the overall deployment complexity is:

$$O\left(\left(N_a N_p\right)^3 + N_a^2\right),$$

The simulation results suggest that the framework remains computationally manageable for the field sizes and horizons evaluated. However, larger agricultural environments, multiple vehicles, longer prediction horizons, and more detailed environmental models could increase computational requirements.

PRACTICAL IMPLICATIONS

The proposed framework provides several potential advantages for autonomous precision agriculture.

First, it supports risk-aware treatment prioritization, allowing locations with greater predicted risk to receive attention even when they are not the closest destinations.

Second, it provides predictive decision-making by incorporating forecasted crop viability and environmental conditions rather than relying exclusively on current observations.

Third, the MPC component provides constraint-aware pesticide allocation, helping ensure that the vehicle operates within its available pesticide capacity.

Fourth, the RL component can adapt routing priorities and control parameters as environmental conditions change.

Finally, the framework provides a basis for integrating autonomous vehicles with intelligent agricultural monitoring systems, although practical deployment requires additional validation under real field conditions.

LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH

The present study is based on a simulated agricultural environment. Consequently, the reported results should not be interpreted as direct evidence of field-level performance.

Future research should therefore focus on validating the framework using field data and physical autonomous spraying platforms. Particular attention should be given to uncertainty in pest-risk estimation, weather forecasting, crop response, and pesticide effectiveness.

Further development should also consider:

- multi-vehicle coordination;
- depot and refill logistics;
- stochastic and uncertainty-aware MPC;
- more realistic pest-population models;
- environmental buffer zones;
- maximum application limits;
- spatially heterogeneous crop conditions;
- multi-objective optimization; and
- field-scale experimental validation.

These extensions would help determine whether the advantages observed in simulation can be maintained under realistic agricultural operating conditions.

CONCLUSION

This study presented a risk-aware reinforcement learning–model predictive control framework for dynamic pesticide routing in precision agriculture. The framework combines predictive crop-risk modelling, reinforcement learning, constrained model predictive control, and priority-based vehicle routing to coordinate pesticide allocation and treatment sequencing.

Over the 60-day simulated agricultural scenario, RL–MPC achieved an AURC of 3.09 compared with 4.31 for both GA-VRP and PSO-VRP, corresponding to an approximately 28.3% reduction in cumulative field-risk exposure. The improvement was achieved with higher cumulative travel time and pesticide consumption, while all evaluated approaches recorded zero constraint violations.

The results demonstrate that pesticide routing can benefit from shifting the optimization objective from immediate travel efficiency toward proactive management of future crop risk. The proposed RL–MPC architecture provides a mechanism for making such decisions while retaining predictive control and operational constraints.

At the same time, the findings highlight the importance of recognizing the trade-offs among crop-risk reduction, travel requirements, and pesticide consumption. The framework should therefore be viewed as a foundation for risk-aware autonomous pesticide management rather than as a complete field-ready solution.

Future work should incorporate uncertainty-aware modelling, richer pest and weather dynamics, multi-vehicle coordination, environmental constraints, and field validation. Such developments could further strengthen the application of intelligent routing and predictive control in precision agriculture.

REFERENCES

Bertsimas, D., & Simchi-Levi, D. (1996). A new generation of vehicle routing research: Robust algorithms, addressing uncertainty. *Operations Research, 44*(2), 286–304. https://doi.org/10.1287/opre.44.2.286

Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2004). Precision agriculture and sustainability. *Precision Agriculture, 5*, 359–387. https://doi.org/10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa

Camacho, E. F., & Bordons, C. (2007). *Model predictive control* (2nd ed.). Springer.

García, J., & Fernández, F. (2015). A comprehensive survey on safe reinforcement learning. *Journal of Machine Learning Research*, *16*, 1437–1480.

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, *327*(5967), 828–831. https://doi.org/10.1126/science.1183899

Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E. (Eds.). (2008). *The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8

Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, *225*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.09.027

Qin, S. J., & Badgwell, T. A. (2003). A survey of industrial model predictive control technology. *Control Engineering Practice*, *11*(7), 733–764. https://doi.org/10.1016/S0967-0661(02)00186-7

Sutton, R. S., & Barto, A. G. (2018). *Reinforcement learning: An introduction* (2nd ed.). MIT Press.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—A worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, *36*(2–3), 113–132. https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0

THE EFFECT OF CHOPPER BLADE PATTERNS ON THE PERFORMANCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHOPPER MACHINE

Muhammad Zaky Rizqullah Nurrosidi
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember, Jember, Indonesia

Mahros Darsi
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember, Jember, Indonesia

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Processing corn cob organic waste into animal feed involves a chopping process using a multifunctional chopper machine, the performance of which is significantly influenced by the arrangement pattern of the chopping blades. While previous studies have extensively examined the effects of blade inclination and the number of blades, the impact of blade patterns has not yet been investigated. Therefore, this study aims to determine the effects of blade patterns and rotational speed on processing time (capacity) and the weight of the chopped material meeting the ideal size (2–3 cm).

Materials and Methods: The experiment was designed using the Taguchi method with an L9 (3^2) orthogonal array, involving two factors—blade pattern (patterns 2, 4, and 6) and blade rotational speed (350, 400, and 450 rpm)—with two replications for each. The test material consisted of 2 kg of corn cobs per treatment. Data were analyzed using the signal-to-noise (S/N) ratio, Levene's test for homogeneity, the Anderson-Darling normality test, ANOVA, and the F-test for hypothesis testing, utilizing Minitab software.

Result: Blade rotational speed was the most dominant factor significantly affecting both responses ($F = 32.96$ for processing time and $F = 35.42$ for chopped product weight; $P < 0.05$). The blade pattern significantly affected processing time ($F = 17.76$; $P < 0.05$) but did not significantly affect chopped product weight ($F = 2.11$; $P > 0.05$). The optimal parameter combination for both responses was achieved with blade pattern 6 (level 3) and a rotational speed of 450 rpm.

Discussion and Conclusion: Closer blade spacing increases the frequency of contact between the material and the blades during a single rotation, thereby accelerating the chopping process; meanwhile, higher rotational speed slows the material intake rate but yields a greater quantity of chopped material at the ideal size. Thus, the blade configuration and rotational speed can be jointly optimized to enhance the performance of the multifunctional chopper machine in processing organic waste into animal feed..
Keywords: Multifunctional Chopper Machine; Blade Pattern; Taguchi Method; Blade Rotational Speed; Organic Waste.

M ICROSTRUCTURAL AND MECHAN ICAL CHARACTER IZAT ION OF METAKAOL IN-BASED GEOPOLYMERS FOR RAD IAT ION PROTECT ION

Falah Fatima Zahra
Laboratory of analytical and molecular chemistry, Faculty of Sciences Ben M'sik, Avenue Cdt Driss El Harti, Hassan II University of Casablanca, BP 7955 Sidi Othman Casablanca, Morocco.
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear

Hamdane Hasna
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear Maamoura (CENM), Morocco

El. Ghailassi Touria
National Center of Science, Technology and Nuclear Energy (CNESTEN), Morocco; Center for Nuclear Maamoura (CENM), Morocco

Abstract
The increasing use of ionizing radiation in medical, industrial, and nuclear fields has stimulated the development of sustainable materials for radiation protection. Among emerging inorganic binders, metakaolin-based geopolymers have attracted considerable attention due to their low environmental impact, excellent chemical stability, and favorable mechanical properties. This study investigates the physical, mechanical, and microstructural characteristics of metakaolin-based geopolymer composites for potential applications in radiation protection. Geopolymer specimens were synthesized from metakaolin activated with an alkaline solution. Their physical and mechanical performance was evaluated through density, water absorption, apparent porosity, compressive strength, and flexural strength measurements at different curing ages. The geopolymerization process and structural evolution were characterized using scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), and thermogravimetric analysis (TGA). The results demonstrate the successful formation of a compact geopolymeric matrix with enhanced mechanical performance and reduced porosity. Microstructural analyses confirmed the development of stable aluminosilicate networks, indicating effective geopolymerization and good structural integrity. These findings highlight the potential of metakaolin-based geopolymers as sustainable materials for future radiation protection applications.
Keywords: Metakaolin; Geopolymer; Radiation protection

A SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS WITH FRAMEWORK FOR GDP, UNEMPLOYMENT RATE, AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS

Umme Habiba
Department of Statistics and Operations Research, Faculty of science, Aligarh Muslim University, Aligarh, India

Abstract
The present study, we explored the relationship between economic growth, employment and environmental sustainability in India, emphasizing on Sustainable Development Goal (SDG) 8 (Decent Work and Economic Growth) and SDG 13 (Climate Action). Data on gross domestic product (GDP), unemployment and greenhouse gas emissions were collected at the state level and analyzed. ARIMA and Exponential Smoothing models were used to make forecasts up to 2030. The results demonstrate that few states contribute to most of the GDP of India and many smaller states have lower economic growth. Unemployment is usually decreasing, but there are differences from state to state. Greenhouse gas emissions have increased in industrialized states, suggesting that environmental problems are being caused by economic growth. The study also finds the evidence of jobless growth where the GDP grows at a faster rate than the opportunities for employment. The results conclude that India is required to promote economic growth, create more jobs and reduce emissions combined for sustainable development. Python was used for data analysis, visualization and forecasting.
Keywords: Sustainable Development Goals, GDP, Unemployment, Greenhouse Gas Emissions, Forecasting.

FROM ENERGY ESTIMATES TO STABILITY IN NONLINEAR FRACTIONAL EVOLUTION PROBLEMS

Djebaili Manel

University Larbi Ben Mhidi, Faculty of Science and Applied Sciences, Oum El Bouaghi, Algeria.

Abstract

This paper is devoted to the study of a nonlinear boundary value problem for fractional partial differential equations with integral boundary conditions. The main objective is to establish the existence, uniqueness, and stability of solutions by applying the energy inequality method, which provides an effective framework for the analysis of fractional evolution problems.The proof is developed in two stages. First, the associated linear problem is analyzed by deriving suitable a priori estimates and proving the density of the corresponding operator. These results provide the theoretical foundation for the nonlinear analysis. Next, the nonlinear problem is treated by means of an iterative scheme, whose convergence is established using the obtained energy estimates and appropriate functional analysis arguments.

Under suitable assumptions on the nonlinear operator and the given data, we prove the existence and uniqueness of weak solutions. Furthermore, we establish the continuous dependence of the solution on the fractional order, ensuring the stability of the proposed model with respect to variations of the fractional parameter. The obtained results demonstrate the effectiveness of the energy inequality method for nonlinear fractional partial differential equations with integral boundary conditions and provide a rigorous analytical framework that can be extended to more general classes of fractional evolution problems.

Keywords: Fractional partial differential equations; Integral boundary conditions; Energy inequality method; A priori estimates; Existence and uniqueness.

FİZİKSEL BİLİMLERDE OSİLATÖR DENKLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIK ANALİTİK YÖNTEMİN UYGULANMASI

APPLICATION OF NEW APPROXIMATE ANALYTICAL METHOD FOR SOLVING OSCILLATOR EQUATIONS IN PHYSICAL SCIENCES

Asst. Prof. Sathyamoorthy Sivasankari
Department of Mathematics and Statistics, The Madura College (Autonomous) – SF Stream, Madurai, Tamil Nadu, India,
ORCİD: ID/ 0009-0007-0435-9829

Assoc. Prof. Vembu Ananthaswamy
Research Centre and PG Department of Mathematics, The Madura College (Affiliated to Madurai Kamaraj University), Madurai, Tamil Nadu, India,
ORCİD: ID/ 0000-0002-2938-8745

Assi. Prof. Moorthy Subha
Department of Mathematics, Fatima College (Affiliated to Madurai Kamaraj University), Madurai, Tamil Nadu, India,
ORCİD: ID/ 0009-0008-9335-9464

Abstract
A new approximate analytical technique is developed for obtaining reliable solutions to initial value problems arising in physical sciences and engineering. The proposed approach is applied to a class of non-linear oscillator equations to derive explicit closed-form approximate solutions in a systematic and efficient manner. The method provides a convenient analytical framework for treating non-linear differential equations, avoiding excessive computational complexity while retaining good accuracy. To assess the validity and effectiveness of the proposed technique, the obtained approximate solutions are compared with corresponding numerical solutions over suitable ranges of the independent variable and relevant model parameters. The comparisons demonstrate excellent agreement between the approximate analytical and numerical results, indicating the accuracy, stability, and reliability of the proposed approach. In addition, graphical representations are presented to illustrate the qualitative behaviour of the solutions and to provide a clear visual assessment of the approximation obtained. The results confirm that the proposed method can effectively capture the essential dynamics of non-linear oscillator models and provide accurate analytical approximations. The study highlights the potential applicability of the technique to a broader class of non-linear initial value problems encountered in mathematical physics, applied mathematics, and related areas of physical sciences.
Keywords: Initial value problems, Non-linear oscillators, Approximate analytical method, Closed-form solutions, Numerical solution

Özet
Fizik bilimleri ve mühendislikte ortaya çıkan başlangıç değer problemlerine güvenilir çözümler elde etmek amacıyla yeni bir yaklaşık analitik teknik geliştirilmiştir. Önerilen yaklaşım, sistematik ve verimli bir biçimde açık ve kapalı formda yaklaşık çözümler türetmek üzere, bir sınıf doğrusal olmayan osilatör denklemine uygulanmıştır. Bu yöntem, yüksek doğruluktan ödün vermeden ve aşırı hesaplama karmaşasından kaçınarak, doğrusal olmayan diferansiyel denklemleri ele almak için elverişli bir analitik çerçeve sunmaktadır. Önerilen tekniğin geçerliliğini ve etkinliğini değerlendirmek amacıyla, elde edilen yaklaşık çözümler; bağımsız değişkenin ve ilgili model parametrelerinin uygun aralıklarında, bunlara karşılık gelen sayısal çözümlerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, yaklaşık analitik sonuçlar ile sayısal sonuçlar arasında mükemmel bir uyum olduğunu göstermekte; böylece önerilen yaklaşımın doğruluğunu, kararlılığını ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, çözümlerin nitel davranışını göstermek ve elde edilen yaklaşımın net bir görsel değerlendirmesini sağlamak amacıyla grafiksel gösterimlere yer verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin doğrusal olmayan osilatör modellerinin temel dinamiklerini etkili bir biçimde yansıtabildiğini ve doğru analitik yaklaşımlar sunabildiğini doğrulamaktadır. Çalışma, söz konusu tekniğin matematiksel fizik, uygulamalı matematik ve fizik bilimlerinin ilgili alanlarında karşılaşılan daha geniş bir doğrusal olmayan başlangıç değer problemleri sınıfına uygulanabilme potansiyelini vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: K Başlangıç değer problemleri, Doğrusal olmayan osilatörler, Yaklaşık analitik yöntem, Kapalı form çözümler, Sayısal çözüm

A MATHEMATICAL ANALYSIS OF DYNAMIC SIR EPIDEMIOLOGICAL MODEL

DİNAMİK SIR EPİDEMİYOLOJİK MODELİNİN MATEMATİKSEL ANALİZİ

JEYA KUMAR ANANTHA JOTHI
Research Scholar, Research Centre and PG Department of Mathematics,
The Madura College (Affiliated to Madurai Kamaraj University), Madurai, Tamil Nadu, India.
ORCİD: ID/0009-0000-5280-4500

Associate Prof. VEMBU ANANTHASWAMY
Research Centre and PG Department of Mathematics
The Madura College (Affiliated to Madurai Kamaraj University), Madurai, Tamil Nadu, India.
ORCİD: ID/0000-0002-2938-8745

Assistant Prof. MOORTHY SUBHA
Department of Mathematics, Fatima College (Affiliated to Madurai Kamaraj University), Madurai, Tamil Nadu, India.
ORCİD: ID/0009-0008-9335-9464

Abstract
This paper investigates a mathematical framework that describes the dynamics of the Susceptible, Infectious, and Recovered (*SIR*) epidemic model. The *SIR* model is one of the fundamental mathematical models used to represent the transmission and progression of infectious diseases within a population. In the present study, the three essential compartments, namely Susceptible, Infective, and Recovered, are analytically investigated using the Laplace Adomian Decomposition Method (LADM). This method provides an effective semi-analytical approach for obtaining approximate analytical solutions to the non-linear differential equations governing the epidemic model without relying solely on conventional numerical techniques.
Approximate analytical expressions are derived for each of the three compartments, allowing the temporal behavior of susceptible, infectious, and recovered individuals to be examined. Furthermore, the effects of various model parameters, including the transmission rate, recovery rate, and other relevant epidemiological factors, are illustrated graphically. These graphical representations provide a clearer understanding of how changes in the model parameters influence disease transmission and recovery dynamics.
To assess the reliability and accuracy of the proposed analytical approach, the obtained approximate solutions are compared with numerical simulation generated using MATLAB. The comparison demonstrates a reasonable agreement between the LADM-based analytical results and the numerical simulation. The findings indicate that LADM is a useful and efficient technique for analyzing non-linear epidemic models and can provide valuable insights into disease dynamics while reducing dependence on purely numerical approaches.
Keywords: *SIR* model, Epidemic model, Non-linear initial value problem, Laplace Adomian Decomposition Method (LADM), Numerical simulation

Özet
Bu makale, Duyarlı, Enfekte ve İyileşmiş (*SIR*) salgın modelinin dinamiklerini tanımlayan matematiksel bir çerçeveyi incelemektedir. *SIR* modeli, bir popülasyon içindeki bulaşıcı hastalıkların yayılımını ve seyrini temsil etmek için kullanılan temel matematiksel modellerden biridir. Bu çalışmada; Duyarlı, Enfekte ve İyileşmiş olmak üzere üç temel bölme, Laplace Adomian Ayrıştırma Yöntemi (LADM) kullanılarak analitik olarak incelenmektedir. Söz konusu yöntem, yalnızca geleneksel sayısal tekniklere dayanmaksızın, salgın modelini yöneten doğrusal olmayan diferansiyel denklemler için yaklaşık analitik çözümler elde etmede etkili bir yarı-analitik yaklaşım sunmaktadır.
Duyarlı, enfekte ve iyileşmiş bireylerin zamana bağlı davranışlarının incelenmesine olanak tanıyan yaklaşık analitik ifadeler, bu üç bölmenin her biri için türetilmiştir.

Ayrıca; bulaşma hızı, iyileşme hızı ve diğer ilgili epidemiyolojik faktörler dahil olmak üzere çeşitli model parametrelerinin etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu grafiksel gösterimler, model parametrelerindeki değişikliklerin hastalık bulaşma ve iyileşme dinamiklerini nasıl etkilediğinin daha net anlaşılmasını sağlamaktadır.
Önerilen analitik yaklaşımın güvenilirliğini ve doğruluğunu değerlendirmek amacıyla, elde edilen yaklaşık çözümler MATLAB kullanılarak gerçekleştirilen sayısal simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, LADM tabanlı analitik sonuçlar ile sayısal simülasyon arasında makul bir uyum olduğunu göstermektedir. Bulgular, LADM'nin doğrusal olmayan salgın modellerini analiz etmek için yararlı ve verimli bir teknik olduğunu; ayrıca tamamen sayısal yaklaşımlara olan bağımlılığı azaltırken hastalık dinamikleri hakkında değerli bilgiler sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: SIR modeli, Salgın modeli, Doğrusal olmayan başlangıç değer problemi, Laplace Adomian Ayrıştırma Yöntemi (LADM), Sayısal simülasyon

HW/SW CO-DES IGN, LLVM, HARDWARE-PERFORMANCE-MANAGEMENT, RUNT IME TUN ING

Prof. Daejin Park
Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea
ORCİD: ID/ 0000-0002-5560-873X

Abstract
Recently, the deployment of AI on edge devices has increased significantly, driven by the advantages of lower latency and enhanced security compared to cloud-based AI. Due to the inherent resource constraints of edge environments, accelerators have evolved to maximize resource efficiency. In particular, many designs adopt a single-buffer structure to minimize memory footprint; however, such structures face limitations in implementing system-wide pipeline operations because they cannot support continuous data streaming. This paper proposes a hardware-based Hardware Performance Manager (HPM) and a corresponding software optimization method to overcome these limitations. At the hardware level, the HPM enhances throughput by overlapping the S2MM and MM2S channel operations of the AXI DMA while providing real-time measurements of clock cycles essential for software-level optimization. On the software side, a novel build pipeline integrating an LLVM Pass is established to perform Intermediate Representation (IR) level code transformations, enabling automated runtime tuning and CPU overhead hiding. Experimental results demonstrate that the proposed method achieves a performance improvement ranging from 21% to 22.6% compared to the sequential execution approach. Furthermore, the chunk sizes determined by the runtime tuning algorithm show a negligible error margin of 0.1% to 1.3% relative to the theoretical optimum, thereby validating the effectiveness of the proposed optimization algorithm.
Keywords: HW/SW co-design, LLVM, Hardware-Performance-Management, Runtime Tuning

Coverletter
The presentation is about the seamless streaming hardware software stacks for online edge AI-embedded systems from cloud-side runtime optimization and learning results. For this, many previous approaches adopt statically predefined buffer structure to minimize memory footprint, still continuous data streaming. But these approaches do not guarantee the good enough size, not causing underflow/overflow issues. This paper proposes a hardware-based Hardware Performance Manager (HPM) and a corresponding software optimization method to overcome these limitations
Experimental results demonstrate that the proposed method achieves a performance improvement ranging from 21% to 22.6% compared to the sequential execution approach. Furthermore, the chunk sizes determined by the runtime tuning algorithm show a negligible error margin of 0.1% to 1.3% relative to the theoretical optimum, thereby validating the effectiveness of the proposed optimization algorithm.
We believe that the findings of this study are relevant to the scope of your conference and will be of interest to its readership.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF LATE FUSION AND VISION-LANGUAGE PRETRAINING FOR MULTI-LABEL CHEST X-RAY CLASSIFICATION

Sarra Djihane Sebaa
Doctoral student, Computer science, University : Amar Telidji Laghouat, LIM laboratory, Laghouat University, Algeria

Mustapha Bouakkaz
Professor, Computer science, Amar Telidji Laghouat, LIM laboratory, Laghouat University, Algeria

Abstract
The comparative landscape of vision language architectures for automated chest X-ray (CXR) interpretation remains underexplored, particularly regarding the tradeoff between independently pretrained unimodal encoders combined through fusion and end to end vision language models (VLMs) trained jointly on paired image-text data. This work presents a supervised comparison between two architectural paradigms for multi-label CXR classification: (1) a fusion-based approach combining a ResNet-50 vision encoder and a ClinicalBERT text encoder, each pretrained independently, integrated via two alternative mechanisms shallow concatenation with a multilayer perceptron and cross-attention and (2) a contrastively pretrained VLM (BiomedCLIP), fine-tuned under the same supervised classification objective. Both approaches are evaluated on the Indiana University Chest X-ray (IU X-ray) dataset, using multi-label targets derived from report-associated finding tags, with vision-only and text-only unimodal baselines included to isolate each modality's individual contribution. All models are trained and evaluated under identical conditions: same label set, same loss function, same optimization budget to ensure the comparison isolates architectural differences in cross-modal integration rather than confounds from training setup. This design targets a specific, practically motivated question : whether the richer joint representations learned by contrastive image-text pretraining offer measurable advantages over the modularity and independent pretraining flexibility of late fusion architectures, particularly under supervised, non zero shot conditions where fusion approaches can more directly leverage strong unimodal backbones. By evaluating both shallow and deeper fusion mechanisms alongside a VLM baseline, this study aims to clarify where cross modal alignment depth meaningfully impacts downstream classification performance in a low resource, open data setting, informing architectural choices for future multimodal CXR analysis systems.
Keywords: Chest X-ray classification, Multimodal fusion, Vision-language models, Cross-modal alignment, Medical image-text representation learning

THREE-CLASS HONEYBEE TOXICITYPREDICTION WITH HETEROGENEOUS VOTING ENSEMBLES: A COMPARATIVE STUDY ON THE APISTOX BENCHMARK

ÜÇ SINIFLI BAL ARISI TOKSİSİTE TAHMİNİ İÇİN HETEROJEN OYLAMA TOPLULUKLARI: APISTOX KIYASLAMA VERİ SETİ ÜZERİNDE KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇALIŞMA

Sedat GOLGİYAZ
Bingöl University, Department of Computer Engineering, 12000, Bingöl, Türkiye
ORCID: 0000-0003-0305-9713

ABSTRACT

The global decline of pollinators makes the assessment of pesticide toxicity to honeybees (Apis mellifera) an urgent environmental and agricultural priority. Computer-assisted toxicity prediction can accelerate the pre-screening of agrochemicals, yet most existing work frames the problem as a binary toxic/non-toxic task, discarding the graded nature of regulatory toxicity categories. This study addresses the ternary (three-class) classification of honeybee toxicity on the ApisTox benchmark, which contains 1,035 curated pesticide molecules labeled by increasing toxicity level (non-toxic, moderately toxic, highly toxic). The proposed approach combines four molecular representations (ECFP, Avalon, MOLTOP topological descriptors and Mol2vec embeddings) with XGBoost gradient-boosted trees, and the resulting models are then aggregated through hard-voting ensembles. A Weisfeiler-Lehman graph-kernel support vector machine (SVM-WL), a GraphSAGE graph neural network (GNN) and a logistic regression on pretrained Mol2vec embeddings (Mol2vec-LR) serve as baselines for the individual comparison and are additionally admitted as candidate members of the voting committees, so that all committees of three to seven models can be enumerated exhaustively. Every model was evaluated under three complementary protocols: stratified five-fold cross-validation, the interpolative maximum diversity (Max-Min) split, which requires uniform competence across the chemical space of the dataset, and the extrapolative time split, which requires generalization to structurally novel, newer agrochemicals. The best single models reached a Matthews correlation coefficient (MCC) of 0.37–0.39, whereas the best voting committees improved on the strongest single model under every protocol, reaching MCC = 0.463 on the time split. An ablation restricted to the XGBoost members alone fails to beat the best single model on two of the three protocols, showing that the gain comes from combining different model families rather than different representations of the same learner. The results confirm that ApisTox represents a difficult, distinct chemical space and that small, heterogeneous voting committees built around XGBoost representation models are an effective strategy for graded agrochemical toxicity prediction.

Keywords: ApisTox, honeybee toxicity, XGBoost, voting ensemble, molecular fingerprints, machine learning.

ÖZET

Tozlayıcı popülasyonlarındaki küresel azalma, pestisitlerin bal arılarına (Apis mellifera) toksisitesinin değerlendirilmesini öncelikli bir çevresel ve tarımsal sorun hâline getirmektedir. Bilgisayar destekli toksisite tahmini, tarım kimyasallarının ön elemesini hızlandırabilir; ancak mevcut çalışmaların büyük bölümü problemi ikili (toksik/toksik değil) olarak ele almış ve düzenleyici toksisite kategorilerinin dereceli yapısını göz ardı etmiştir. Bu çalışmada, 1.035 titizlikle derlenmiş pestisit molekülünü artan toksisite düzeyine (toksik olmayan, orta düzeyde toksik, yüksek düzeyde toksik) göre etiketleyen ApisTox veri seti üzerinde üçlü sınıflandırma problemi ele alınmıştır. Önerilen yaklaşım, dört moleküler gösterimi (ECFP, Avalon, MOLTOP topolojik betimleyicileri ve Mol2vec gömmeleri) XGBoost gradyan artırmalı ağaçlarıyla birleştirmekte ve elde edilen modelleri sert oylama toplulukları ile bir araya getirmektedir. Weisfeiler-Lehman graf-çekirdek destek vektör makinesi (SVM-WL), GraphSAGE graf sinir ağı ve önceden eğitilmiş Mol2vec gömmeleri üzerinde lojistik regresyon modeli tekil karşılaştırmadatemel model olarak kullanılmış, ayrıca oylama komitelerine aday üye olarak dâhil edilmiştir; böylece üç ilâ yedi üyeli tüm birleşimler kapsamlı biçimde taranabilmiştir. Tüm modeller üç tamamlayıcı protokol altında değerlendirilmiştir: tabakalı beş-katlı çapraz doğrulama, veri setinin kimyasal uzayının tamamında yeterlilik gerektiren interpolatif maksimum çeşitlilik (Max-Min)

bölünmesi ve yapısal olarak yeni, daha güncel tarım kimyasallarına genelleme gerektiren ekstrapolatif zaman bölünmesi. En iyi tekil modeller 0,37–0,39 Matthews korelasyon katsayısına (MCC) ulaşırken, en iyi oylama komiteleri her protokolde en güçlü tekil modeli geçmiş ve zaman bölünmesinde MCC = 0,463 değerine ulaşmıştır. Yalnızca XGBoost üyeleriyle sınırlandırılan bir ablasyon, üç protokolün ikisinde en iyi tekil modeli geçememektedir; bu da kazancın aynı öğrenicinin farklı gösterimlerinden değil, farklı model ailelerinin birleştirilmesinden geldiğini göstermektedir. Sonuçlar, ApisTox'un zorlu ve farklı bir kimyasal uzayı temsil ettiğini ve XGBoost gösterim modelleri etrafında kurulan küçük, heterojen oylama komitelerinin dereceli tarım kimyasal toksisite tahmini için etkili bir strateji olduğunu doğrulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: ApisTox, bal arısı toksisitesi, XGBoost, oylama topluluğu, moleküler parmak izleri, makine öğrenmesi.

1. INTRODUCTION

Pollinator decline carries ecological and economic costs, and pesticides are among its main drivers. Knowing in advance how a given agrochemical will affect Apis mellifera has therefore become a practical necessity rather than an academic question. Computational screening offers one way forward, both for safer agrochemical design and for regulatory decisions that lean less on labor-intensive median lethal dose (LD_{50}) bioassays. Most of this work rests on Quantitative Structure–Activity Relationship (QSAR) modeling. By mapping structural features onto biological endpoints, QSAR makes it feasible to triage very large compound collections at a small fraction of the experimental cost LD_{50}(Cherkasov et al. 2014). The same idea has more recently been carried into the ecological hazard evaluation of pesticides and emerging contaminants under Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) guidance (Kumar, Ojha, and Roy 2024).

As curated chemical collections have grown, QSAR practice has drifted away from classical statistical estimators such as linear models and kernel machines, and towards data-driven learning. Part of the reason is practical. Hand-crafted descriptor blockstake considerable domain effort to assemble, and they tend to flatten the strongly nonlinear structure–activity behavior of molecules. Hashed substructure fingerprints avoid both problems, and Extended-Connectivity Fingerprints (ECFP) (Rogers and Hahn 2010) together with Avalon fingerprints have become the representations of choice, since they capture chemically interpretable fragments at negligible computational cost.

Graph neural networks (GNNs) brought a further shift. Instead of relying on predefined features, they build molecular descriptors internally from the connectivity graph encoded in a Simplified Molecular Input Line Entry System (SMILES) string (Duvenaud et al. 2015; Zhou et al. 2020). Repeated rounds of message passing let atomic and bond signals spread across the graph, which captures higher-order structural contextand has translated into competitive accuracy on a range of property prediction benchmarks (Hung and Gini 2021; Ketkar et al. 2023). Graph kernels take a different route. Weisfeiler–Lehman (WL) schemes and their optimal-assignment refinements relabel nodes iteratively, then turn the resulting histograms into similarity scores that a kernel classifier can use (Kriege, Giscard, and Wilson 2017). Mol2vec (Jaeger, Fulle, and Turk 2018) offers yet another option, treating substructures as words and borrowing unsupervised, word2vec-style embeddings to encode distributional chemical meaning (Hashemian et al. 2025). None of these families is unconditionally better than the rest. How well each performs depends on how much data is available, how varied that data is, and what computational budget can be spent.

ApisTox (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2025, n.d.) marked a turning point for this particular endpoint. The resource harmonizes experimentally verified records from the ECOTOX knowledgebase, the Pesticide Properties Database (PPDB) and the Bio-Pesticides Database (BPDB), yielding 1,035 curated agrochemicals. Acute oral and contact endpoints are merged. The resource also ships with three predefined 80/20 partitions. One is a stratified random split. The second is an interpolative maximum diversity (Max-Min) split, whose test set covers the chemical space of the dataset as uniformly as possible. The third is an extrapolative time split that holds out the newest compounds. Fixing the partitions in this way makes results directly comparable across studies. It also lets in domain competence and out-of-distribution generalization be assessed separately.

Published work built on ApisTox is still sparse. The benchmark authors contributed a broad reference evaluation covering fingerprints, kernel methods, message-passing networks and pretrained chemical models, and found that tree learners over fingerprints hold their own against far more elaborate architectures (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2026). Damião and colleagues later trained a graph-based QSAR network on SMILES derived structures and reported a Matthews correlation coefficient (MCC) of 0.552 (Damião, de Oliveira Neto, and de Alencar Filho 2025). Both studies treat the problem as binary. A compound is either toxic or it is not, even though ecotoxicological classification schemes are graded.

When predictive accuracy has to be raised, the usual levers are feature construction and selection (Hamdard and Lodin 2023), refinement of the learner itself (Karthick 2024), systematic search of the hyperparameter space (Akiba et al. 2019), and the pooling of several models into a committee (Patel 2025; Shah et al. 2023). On ApisTox these levers have rarely been pulled together, and no study so far has paired them with a graded, multi-class target.

In this study I address the ternary (non-toxic / moderately toxic / highly toxic) classification of pesticide toxicity to honeybees on ApisTox. The contributions are fourfold. (i) Honeybee toxicity is reformulated as a three-class problem based on the ordinal PPDB toxicity level. (ii) XGBoost models are built on four complementary molecular representations (ECFP, Avalon, MOLTOP and Mol2vec) and combined by hard voting. A graph-kernel SVM-WL, a GraphSAGE GNN and a logistic regression on pretrained Mol2vec embeddings (Mol2vec-LR) serve as baselines, and they are also admitted as candidate committee members. This lets the whole space of hard-voting committeesbe searched exhaustively. (iii) All models and committees are evaluated under three protocols. These separate in-distribution accuracy, interpolative competence across the chemical space of the dataset, and extrapolation to structurally novel compounds. (iv) An XGBoost-only ablation showsthat heterogeneity of model family, rather than of representation alone, is what makes the voting ensembles work.

2. RELATED WORK

2.1. Molecular representations and QSAR models

What a QSAR model can learn depends heavily on how the molecule is encoded. Circular fingerprints of the ECFP type record the atomic neighborhood around each center (Rogers and Hahn 2010), while descriptor blocks condense global connectivity and bulk properties, among them polar surface area (Ertl, Rohde, and Selzer 2000) and complexity indices (Bertz 1981). Representations learned by graph networks (Duvenaud et al. 2015; Hung and Gini 2021; Ketkar et al. 2023; Zhou et al. 2020), along with distributed substructure embeddings such as Mol2vec (Jaeger, Fulle, and Turk 2018), were introduced to remove the manual step. Benchmarks keep showing that no encoding is optimal in general, and that which one wins depends on the endpoint and on the data at hand (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2026; Ketkar et al. 2023).

2.2. Machine learning for honeybee and agrochemical toxicity

QSAR has a long track record on environmental and agrochemical endpoints (Cherkasov et al. 2014; Kumar, Ojha, and Roy 2024). For honeybees specifically, ApisTox (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2025) supplied a common yardstick. The benchmark's own comparison put fingerprint-driven tree learners on a par with kernel and graph network alternatives (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2026), and Damião and colleagues later reported MCC 0.552 with a graph network (Damião, de Oliveira Neto, and de Alencar Filho 2025). Related work on graph models for acute toxicity points the same way, showing both the promise of deep architectures and how strongly they depend on the amount of data available (Hung and Gini 2021; Ketkar et al. 2023).

2.3. Ensemble learning

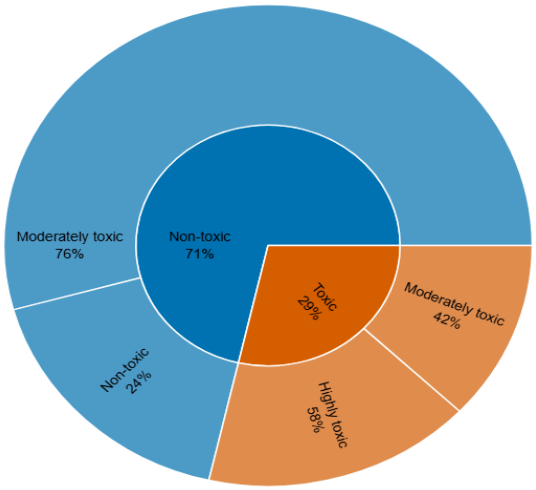
Combining learners that carry different inductive biases is a well-established way of buying robustness, and the idea recurs across application domains (Patel 2025; Shah et al. 2023). XGBoost and other Gradient Boosting Decision Trees (GBDTs) are themselves ensembles (Chen and Guestrin 2016), yet voting or stacking over them can still add a margin when the members see the data differently.

Frameworks such as Optuna (Akiba et al. 2019) keep the accompanying search tractable. For graded honeybee toxicity this line has barely been pursued, and that is the gap the present study sets out to fill.

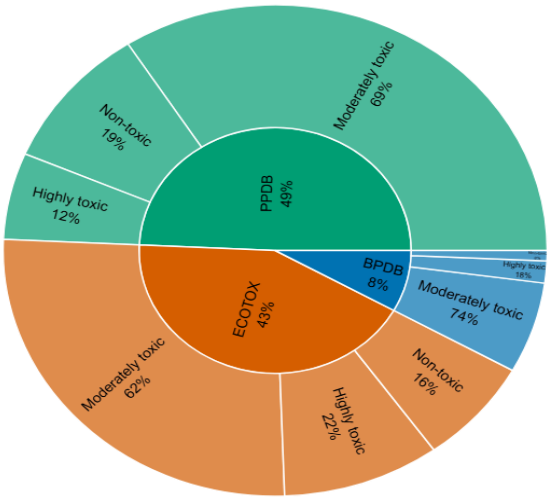
3. MATERIALS AND METHODS

3.1. Dataset

All experiments use the ApisTox dataset (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2025), a curated collection of 1,035 pesticide molecules with experimentally validated toxicity to Apis mellifera. Each compound is provided as a canonical SMILES string together with external identifiers (PubChem CID, CAS), the agrochemical role (herbicide, fungicide, insecticide or other), the data source (PPDB, ECOTOX or BPDB), the year of first literature appearance and an ordinal PPDB toxicity level. I use this ordinal level as the target of a three-class problem: non-toxic, moderately toxic and highly toxic. The class distribution is markedly imbalanced, as Figure 1 shows, and the three toxicity levels are unevenly spread across the ECOTOX, PPDB and BPDB source databases. Of the 1,035 compounds, 687 (66.4%) are moderately toxic, while the non-toxic and highly toxic classes account for only 177 (17.1%) and 171 (16.5%). Molecules whose SMILES could not be parsed by RDKit (Landrum et al. n.d.) were removed, so that a single consistent index is shared across all feature extractors.



(a)



(b)

Figure 1. Composition of the ApisTox dataset. (a) Distribution of the three toxicity classes within the binary toxic/non-toxic labeling of the dataset. (b) Class breakdown by originating database (ECOTOX, PPDB, BPDB).

3.2. Molecular representations

Four complementary molecular representations were computed with RDKit (Landrum et al. n.d.). ECFP (radius 2, 2,048 bits) encode circular atomic environments and are a standard baseline for molecular property prediction (Rogers and Hahn 2010). Avalon fingerprints (512 bits) provide a substructure-based hashed representation. MOLTOP is a hand-crafted topologicaland physicochemical profile combining atom-type counts, atom- and bond-level statistics and classical molecular descriptors such as molecular weight, LogP, topological polar surface area (Ertl, Rohde, and Selzer 2000), ring counts and molecular complexity indices (Bertz 1981). Finally, Mol2vec embeddings represent molecules as the sum of pretrained, word2vec-style substructure vectors, capturing distributional chemical semantics (Jaeger, Fulle, and Turk 2018).

3.3. Proposed models and baselines

The proposed approach applies XGBoost GBDT classifiers (Chen and Guestrin 2016) to each of the four representations, giving the models XGB-ECFP, XGB-Avalon, XGB-MOLTOP and XGB-Mol2vec. For comparison, three baseline models spanning different paradigms were trained: an SVM on the WL subtree graph kernel (SVM-WL) (Kriege, Giscard, and Wilson 2017; Shervashidze et al. 2011), a GraphSAGE GNN that learns molecular representations end-to-end through neighborhood aggregation and global pooling (Hamilton, Ying, and Leskovec 2018), and a Logistic Regression (LR) classifier on the pretrained Mol2vec embeddings (Mol2vec-LR) (Jaeger, Fulle, and Turk 2018). The three baselines serve a dual purpose: they provide the reference point for the individual comparison in Section 4.1 and are also admitted as candidate members of the voting committees in Section 4.2. Class imbalance was handled with balanced sample and class weights. Hyperparameters of the XGBoost, WL-kernel SVM and LR models were selected with Optuna (Akiba et al. 2019) using a Tree-structured Parzen Estimator (TPE) with 300 trials per study and a fixed seed. The GraphSAGE model was run with a fixed configuration (three SAGEConv layers, hidden dimension 64, dropout 0.3). For the cross-validation protocol the search was carried out once, on the stratified random train/test partition distributed with ApisTox, and the selected configuration was then reused unchanged across all five folds. For the Max-Min and time protocols the search was instead repeated for each representation with the corresponding test partition serving as the validation set. The consequences of both choices are addressed in Section 5.

3.4. Voting ensembles

The candidate models rest on different inductive biases and different views of the molecule, which is what makes combining them worthwhile. I use hard voting, so the predicted class is the majority vote of the members, with ties broken by the lowest class index. The pool consists of the four XGBoost representation models and the three baselines. Every committee of three to seven members was enumerated, 99 per protocol, and the best performing configuration was kept for each protocol. A second, smaller search was run over the four XGBoost models alone. It yields five committees per protocol and serves as an ablation separating the contribution of representation diversity from that of model family diversity.

3.5. Evaluation protocols and metrics

Three complementary evaluation protocols were used, each probing a different aspect of generalization. The first is a stratified five-fold cross-validation that I computed myself over the full set of 1,035 molecules, with shuffling and a fixed seed. Out-of-fold (OOF) predictions are collected, and every cross-validation score reported in this study is an OOF score. I did not evaluate on the stratified random partition distributed with ApisTox. Averaging over five folds uses the whole dataset and gives a lower variance estimate of average in-distribution performance. The other two protocols are the partitions shipped with the benchmark, used exactly as distributed, which keeps the numbers comparable with other work on ApisTox. The maximum diversity (Max-Min) split is obtained with the MaxMin picking algorithm on ECFP4 fingerprints. It assigns the mutually most dissimilar molecules to the test set, so that the test partition covers the chemical space of ApisTox as uniformly as possible. The protocol is therefore interpolative.

It asks whether a model performs well across the whole domain of the dataset, not only in its densest regions, and the benchmark authors recommend it as the primary evaluation setting (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2025). The time split is extrapolative. Compounds are ordered by the year of their first PubChem literature record, and the newest ones form the test set. A model must then generalize out-of-distribution to agrochemicals that are typically structurally novel. The two predefined splits stress different abilities, uniform coverage of a known chemical space against extrapolation to an unseen one. A model can be strong on one and weak on the other. Given the strong class imbalance, I report the MCC (Matthews 1975) as the primary metric, together with macro-averaged F1 and balanced accuracy (Sokolova and Lapalme 2009).

4. RESULTS

4.1. Individual model performance

Figure 2 reports the MCC of every model under the three protocols. Among the individual learners the XGBoost representation models are the most robust. XGB-Mol2vec leads under five-fold cross-validation (OOF MCC = 0.372), while XGB-Avalon is strongest on both Max-Min (0.366) and time (0.388). GraphSAGE is competitive under cross-validation (OOF MCC = 0.368) but falls away on the two predefined splits (Figure 3), to 0.185 and 0.206. That is what one would expect from a data-hungry graph networktrained on a small and imbalanced dataset. The SVM-WL is moderate but stable, and Mol2vec-LR stays modest throughout. Much of this echoes the binary benchmark evaluation of ApisTox. There too Avalon was the best fingerprint on Max-Min, and GNNs trained from scratch failed to beat much simpler models. One difference stands out: in the binary setting hashed fingerprints such as ECFP took over on the time split, whereas here Avalon leads that split as well. Absolute performance is moderate across the board, in line with the finding that ApisTox occupies a chemical space both distinct from and harder than the usual biomedical benchmarks (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2026).

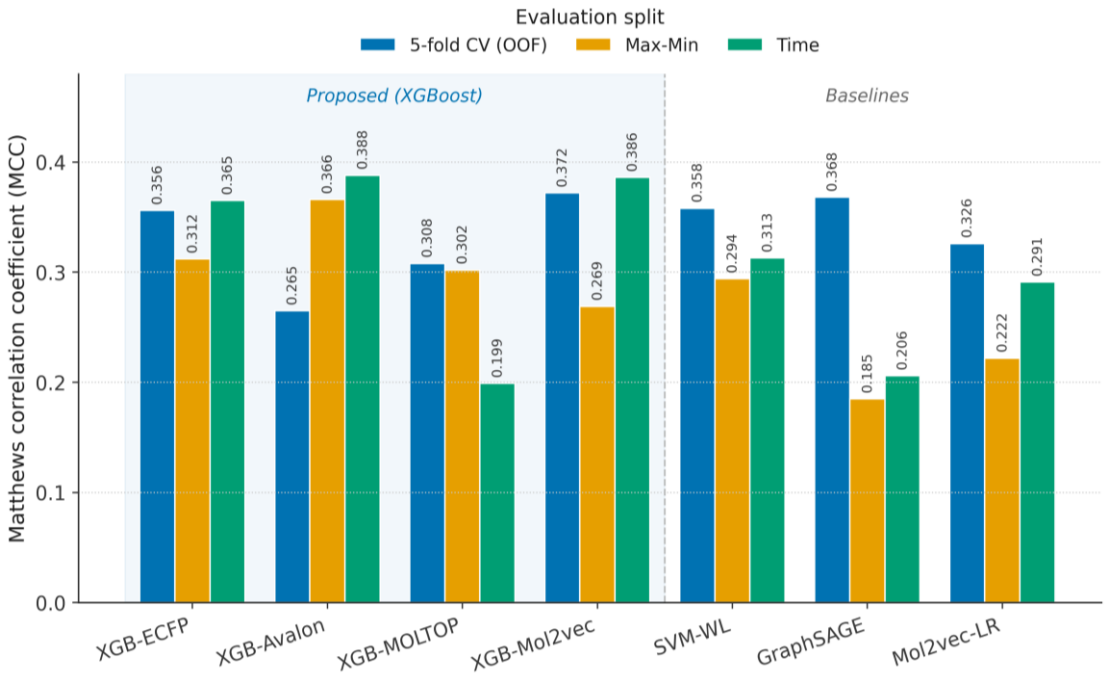


Figure 2. Per-model MCC across the three evaluation protocols; the five-fold cross-validation column reports out-of-fold (OOF) scores. Shaded region: proposed XGBoost representation models; right: baseline models.

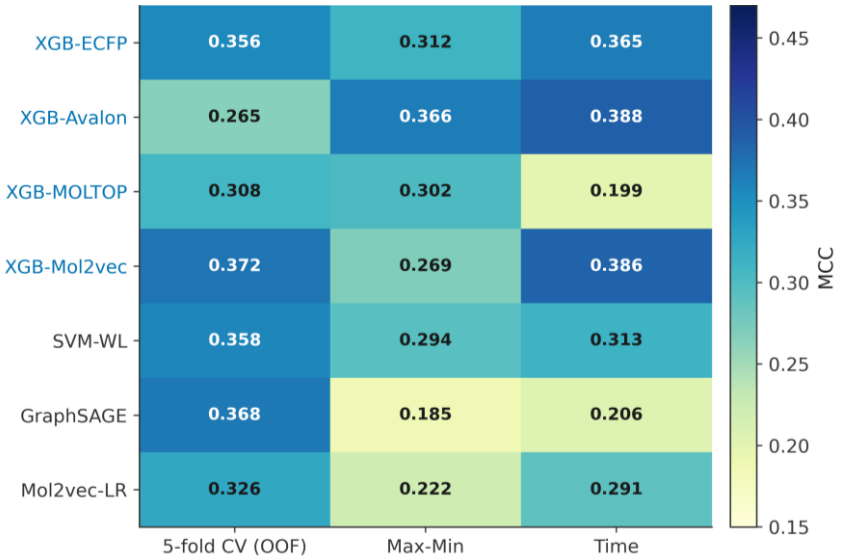


Figure 3. MCC heatmap across models (rows) and evaluation splits (columns). Proposed XGBoost models are highlighted in blue.

4.2. Voting ensemble performance

Hard voting improved on the best single model under all three protocols, with the widest margin on the time split. Figure 4 gives the winning committee for each protocol together with its scores. What those committees have in common is more informative than the scores themselves.

None of them uses the whole pool: the winners have five, four and three members, and the exhaustive search never returned the full seven-model set.That set trailed the best committee everywhere: MCC 0.386 against 0.403 under cross-validation, 0.309 against 0.415 on Max-Min, and 0.383 against 0.463 on the time split. The strongest configuration overall had only three members. None of the winners is built from XGBoost models alone either. Each pairs two XGBoost representation learners with at least one baseline, and XGB-ECFP together with Mol2vec-LR turns up in all three. On Max-Min the best single model, XGB-Avalon, does not appear in the winning committee at all.

An ablation restricted to XGBoost members makes the second point concrete. The best XGBoost-only committee reachesMCC = 0.368 under cross-validation (XGB-ECFP + XGB-Avalon + XGB-MOLTOP) and 0.364 on Max-Min (XGB-Avalon + XGB-MOLTOP + XGB-Mol2vec). Both fall short of the best single model on the same split, 0.372 and 0.366. Only on the time split does an XGBoost-only committee help, where all four members together reach 0.440 against 0.388 for XGB-Avalon. Four views of the same learner buy very little, because the members make correlated errors, and the gains reported above depend on committees that also draw on the baselines.

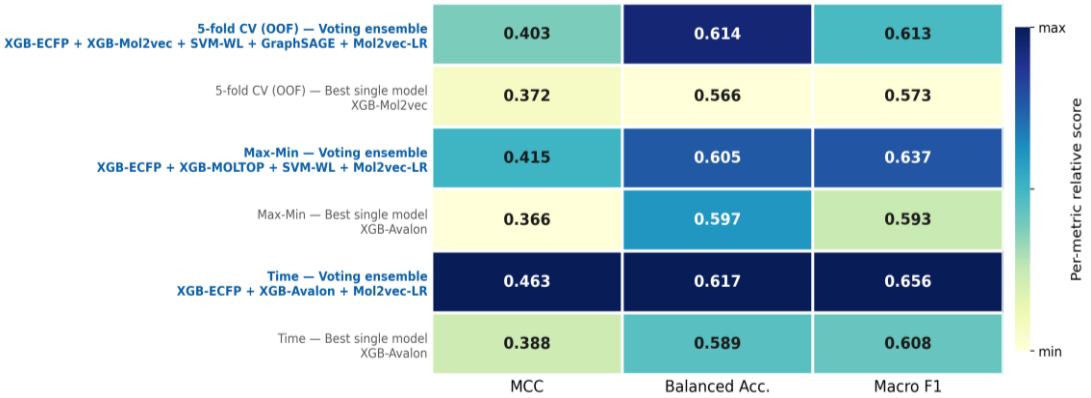


Figure 4. Best hard-voting ensemble versusbest single model for each split, shown as a heatmap of MCC, balanced accuracy and macro-F1 (color-scaled within each metric; ensemble rows in bold blue). Row labels list the member models of each committee.

5. DISCUSSION

Ternary honeybee toxicity prediction turns out to be hard. Even the best committees stay well below the near-perfect scores routinely reported on biomedical benchmarks, which echoes the conclusion of Adamczyk et al. that agrochemical compounds occupy a distinct chemical space with limited transferability from medicinal data (Adamczyk, Poziemski, and Siedlecki 2026). The severe class imbalance, the modest size of the dataset and the intrinsic uncertainty of labels derived from median lethal dose measurements LD_{50}(Adriaanse et al. 2023) all push in the same direction.

No single representation or model family is best everywhere, and the two predefined splits reward different things. Among individual learners the XGBoost models are the most dependable under both. XGB-Avalon leads the interpolative Max-Min split and the extrapolative time split alike. GraphSAGE is the weakest on Max-Min and among the weakest on the time split. The SVM-WL is only moderate. This sits oddly against the binary benchmark, where a WL optimal-assignment kernel was the single strongestmodel on Max-Min. The harder ternary target and the use of the plain WL subtree kernel are the likely explanations. GraphSAGE, for its part, behaves as reports of deep graph models being sensitive to dataset size and diversity would predict (Damião, de Oliveira Neto, and de Alencar Filho 2025; Hung and Gini 2021; Ketkar et al. 2023). Its collapse on both predefined splits is a warning against relying on end-to-end graph models alone for small, imbalanced agrochemical data.

For practical purposes the most useful finding is that hard voting gives a consistent and sometimes substantial improvement over any single model. The condition is that the committee stays heterogeneous and smaller than the full pool. Every winning configuration pairs XGBoost representation models with at least one baseline, XGB-ECFP and Mol2vec-LR appear in all three, and the exhaustive search never chose the full seven-model set. The XGBoost-only ablation makes the same casefrom the other side, since four views of one learner do not vote productively. That is why the baselines are treated here as committee candidates and not only as reference points. Voting also costs nothing extra. It requires no additional training and is trivial to deploy, which makes it a reasonable default for graded agrochemical toxicity screening. The three protocols are best read together as well. Cross-validation measures average in-distribution accuracy, Max-Min asks for uniform competence across the chemical space of the dataset, and the time split adds the demand for extrapolation to newer chemistry. A model intended for prospective screening should therefore be judged on the two predefined splits, not on cross-validation alone.

This study has limitations. The analysis is restricted to a single benchmark. The ordinal PPDB level is treated as nominal classes rather than modeled with ordinal-aware losses, even though the benchmark authors describe this target as an ordinal regression problem. Only hard voting was explored. Hyperparameter selection is imperfectas well. For cross-validation the search was run once on the predefined random partition of ApisTox. Those molecules necessarily reappear in the evaluation folds, since the folds cover the whole dataset. For the Max-Min and time splits the search was repeated for each representation, with the corresponding test partition acting as the validation set. The absolute scores should therefore be read as optimistic, and more so for the two predefined splits. The comparison between models, and between single models and committees, is unaffected, because every learner was tuned under the same procedure. Future work should investigate ordinal regression, soft and stacked ensembling, calibrated probability estimates, and a nested tuning protocol with a validation split carved out of the training data. Additional agrochemical data sources would also help strengthen the minority classes.

6. CONCLUSION

I presented a systematic study of the ternary (non-toxic, moderately toxic, highly toxic) classification of pesticide toxicity to honeybees on the ApisTox benchmark. XGBoost models built on four molecular representations were combined through hard-voting ensembles. They were compared against SVM-WL, GraphSAGE and Mol2vec-LR baselines, and those baselines were also admitted as candidate committee members. Evaluation used cross-validation, the interpolative maximum diversity split and the extrapolative time split. The best individual models achieved only moderate performance (MCC ≈ 0.37–0.39), which confirms the difficulty of the agrochemical chemical space.

The best voting committees improved on them under all three protocols and reached MCC = 0.463 on the time split. An ablation restricted to the XGBoost members shows that this gain does not come from voting over representations alone. Heterogeneity of model family is the operative ingredient. These findings establish a reproducible baseline for graded honeybee toxicity prediction. They also highlight committee diversity and split-aware evaluationas ingredients of trustworthy agrochemical toxicity screening in support of pollinator protection.

REFERENCES

Adamczyk, Jakub, Jakub Poziemski, and Pawel Siedlecki. 2025. "ApisTox: A New Benchmark Dataset for the Classification of Small Molecules Toxicity on Honey Bees." *Scientific Data* 12(1): 5. https://www.nature.com/articles/s41597-024-04232-w.

Adamczyk, Jakub, Jakub Poziemski, and Pawel Siedlecki. 2026. "Evaluating Machine Learning Models for Predicting Pesticide Toxicity to Honey Bees." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 312: 119869. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0147651326001983.

Adamczyk, Jakub, Jakub Poziemski, and Paweł Siedlecki. "ApisTox." https://zenodo.org/records/13350981 (July 10, 2026).

Adriaanse, Pauline et al. 2023. "Revised Guidance on the Risk Assessment of Plant Protection Products on Bees (Apis Mellifera, Bombus Spp. and Solitary Bees)." *EFSA Journal* 21(5). http://doi.wiley.com/10.2903/j.efsa.2023.7989.

Akiba, Takuya et al. 2019. "Optuna." In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining*, New York, NY, USA: ACM, 2623–31. https://dl.acm.org/doi/10.1145/3292500.3330701.

Bertz, Steven H. 1981. "The First General Index of Molecular Complexity." *Journal of the American Chemical Society* 103(12): 3599–3601. https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja00402a071.

Chen, Tianqi, and Carlos Guestrin. 2016. "XGBoost: A Scalable Tree Boosting System." http://arxiv.org/abs/1603.02754.

Cherkasov, Artem et al. 2014. "QSAR Modeling: Where Have You Been? Where Are You Going To?" *Journal of Medicinal Chemistry* 57(12): 4977–5010. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jm4004285.

Damião, Talisson Cardoso, Rosalvo Ferreira de Oliveira Neto, and Edilson Beserra de Alencar Filho. 2025. "New Generation of QSAR Modeling for Bee Safety: Predicting Toxicity Using Graph Neural Networks and Apistox Data." *Ecotoxicology* 34(10): 2028–39. https://link.springer.com/10.1007/s10646-025-02970-0.

Duvenaud, D. K., Maclaurin, D., Iparraguirre, J., Bombarell, R., Hirzel, T., Aspuru-Guzik, A., & Adams, R. P. 2015. "Convolutional Networks on Graphs for Learning Molecular Fingerprints." In *Advances in Neural Information Processing Systems*, , 28.

Ertl, Peter, Bernhard Rohde, and Paul Selzer. 2000. "Fast Calculation of Molecular Polar Surface Area as a Sum of Fragment-Based Contributions and Its Application to the Prediction of Drug Transport Properties." *Journal of Medicinal Chemistry* 43(20): 3714–17. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jm000942e.

Hamdard, Asst. Professor Mohammad Salim, and Asst. Professor Hedayatullah Lodin. 2023. "Effect of Feature Selection on the Accuracy of Machine Learning Model." *Internatıonal Journal of Multıdıscıplınary Research And Analysıs* 06(09). https://www.ijmra.in/v6i9/66.php.

Hamilton, William L., Rex Ying, and Jure Leskovec. 2018. "Inductive Representation Learning on Large Graphs." http://arxiv.org/abs/1706.02216.

Hashemian, Saya, Zak Khan, Pulkit Kalhan, and Yang Liu. 2025. "Learning SMILES Semantics: Word2Vec and Transformer Embeddings for Molecular Property Prediction." *Algorithms* 18(9): 547. https://www.mdpi.com/1999-4893/18/9/547.

Hung, Chiakang, and Giuseppina Gini. 2021. "QSAR Modeling without Descriptors Using Graph Convolutional Neural Networks: The Case of Mutagenicity Prediction." *Molecular Diversity* 25(3): 1283–99. https://link.springer.com/10.1007/s11030-021-10250-2.

Jaeger, Sabrina, Simone Fulle, and Samo Turk. 2018. "Mol2vec: Unsupervised Machine Learning Approach withChemical Intuition." *Journal of Chemical Information and Modeling* 58(1): 27–35. https://dx.doi.org/10.1021/acs.jcim.7b00616 (July 24, 2026).

Karthick, K. 2024. "Comprehensive Overview of Optimization Techniques in Machine Learning Training." *Control Systems and Optimization Letters* 2(1): 23–27. https://ejournal.csol.or.id/index.php/csol/article/view/69.

Ketkar, Rajas, Yue Liu, Hengji Wang, and Hao Tian. 2023. "A Benchmark Study of Graph Models for Molecular Acute Toxicity Prediction." *International Journal of Molecular Sciences* 24(15): 11966. https://www.mdpi.com/1422-0067/24/15/11966.

Kriege, Nils M., Pierre-Louis Giscard, and Richard C. Wilson. 2017. "On Valid Optimal Assignment Kernels and Applications to Graph Classification." http://arxiv.org/abs/1606.01141.

Kumar, Ankur, Probir Kumar Ojha, and Kunal Roy. 2024. "First Report on Regression-Based QSAR Addressing Pesticide Dissipation Half-Life in Plants: A Step towards Sustainable Public Health." *Science of The Total Environment* 954: 176175. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969724063319.

Landrum, Greg et al. "Rdkit/Rdkit: Release_2023.09.5." https://zenodo.org/records/10633624 (July 24, 2026).

Matthews, B.W. 1975. "Comparison of the Predicted and Observed Secondary Structure of T4 Phage Lysozyme." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure* 405(2): 442–51. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0005279575901099.

Patel, Prachi. 2025. "Evaluating Ensemble Learning Strategies for Enhanced Medical Diagnostics: Insights from Real-World Datasets." In *2025 6th International Conference on Problems of Cybernetics and Informatics (PCI)*, IEEE, 1–4. https://ieeexplore.ieee.org/document/11219757/.

Rogers, David, and Mathew Hahn. 2010. "Extended-Connectivity Fingerprints." *Journal of Chemical Information and Modeling* 50(5): 742–54. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ci100050t.

Shah, Milind et al. 2023. "Theoretical Evaluation of Ensemble Machine Learning Techniques." In *2023 5th International Conference on Smart Systems and Inventive Technology (ICSSIT)*, IEEE, 829–37. https://ieeexplore.ieee.org/document/10061139/.

Shervashidze, Nino et al. 2011. "Weisfeiler-Lehman Graph Kernels." *Journal of Machine Learning Research* 12(77): 2539–61. http://jmlr.org/papers/v12/shervashidze11a.html (July 24, 2026).

Sokolova, Marina, and Guy Lapalme. 2009. "A Systematic Analysis of Performance Measures for Classification Tasks." *Information Processing & Management* 45(4): 427–37. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306457309000259.

Zhou, Jie et al. 2020. "Graph Neural Networks: A Review of Methods and Applications." *AI Open* 1: 57–81. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666651021000012.

DISTINGUISHING TRAIT AND STATE CHARACTERISTICS IN MAJOR DEPRESSIVE DISORDER THROUGH SPEECH ANALYSIS: AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACH

SES ANALİZİYLE MAJÖR DEPRESİF BOZUKLUKTA KALICI VE DURUMSAL ÖZELLİKLERİN AYIRT EDİLMESİ: YAPAY ZEKA YAKLAŞIMI

Gülcan ÖZTÜRK
Samsun Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi
ORCID: 0009-0000-9682-1150

Prof. Dr. Zafer CÖMERT
Samsun Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi
ORCID: 0000-0001-5256-7648

ABSTRACT
Major Depressive Disorder (MDD) is a widespread global public health issue that requires objective digital biomarkers for its diagnosis. This study proposes a novel text dynamics analysis and artificial intelligence approach that evaluates the vocal characteristics of individuals with MDD across both trait and state dimensions, modeling the emotional valence transition during a reading task. Within the scope of this research, the reading performance of participants was temporally segmented as it transitioned from negative to positive content. In addition to a hand-crafted classical acoustic feature pool, rich deep semantic representations were extracted from speech spectrograms using the Google PaSST architecture and integrated via an early fusion strategy. Under a 10-Fold StratifiedGroupKFold protocol, 34 different machine learning algorithms were evaluated using data from 246 unique speakers. Among the traditional models, Support Vector Machines (SVM) demonstrated the highest performance with an accuracy of 81.56%, while the Long Short-Term Memory (LSTM) architecture, which processes the signal as a chronological time-series, reached an accuracy of 85.43%. The final architecture proposed in this study is a novel "Hybrid Meta-Fusion" system that utilizes weighted soft-voting to combine the static class-separation power of SVM in high-dimensional space with the temporal sequence modeling capability of LSTM. This meta-model achieved 86.67% accuracy and an AUC score of 0.9148, outperforming the baseline models. The findings support the view that jointly modeling vocal responses to emotional transitions within the text (state-based) together with underlying speech-motor impairments (trait-based) enhances diagnostic accuracy. The holistic system developed, through its original methodology applied to Turkish speech data, provides an objective and highly reliable foundation for clinical decision-support mechanisms.
Keywords: Major Depressive Disorder, Speech Analysis, Text Dynamics, Google PaSST, LSTM, Meta-Fusion.

ÖZET
Majör Depresif Bozukluk (MDB), tanısında nesnel dijital biyobelirteçlere ihtiyaç duyulan yaygın bir halk sağlığı sorunudur. Bu çalışmada, MDB tanılı bireylerin vokal karakteristiklerini kalıcı ve durumsal özellikler ekseninde inceleyen, okuma görevi esnasındaki duygusal valans geçişini modelleyen özgün bir metin dinamiği analizi ve yapay zeka yaklaşımı önerilmektedir. Araştırmada, katılımcıların negatiften pozitife evrilen bir metni okuma performansları zamansal olarak segmente edilmiştir. El yapımı klasik akustik özellik havuzunun yanı sıra, Google PaSST mimarisiyle ses spektrogramlarından zengin derin semantik temsiller elde edilerek erken füzyon stratejisiyle birleştirilmiştir. 10-Katlı Çapraz Doğrulama protokolü altında, 246 benzersiz konuşmacıya ait verilerle 34 farklı makine öğrenmesi algoritması karşılaştırılmıştır. Geleneksel modeller arasında en yüksek performansı %81.56 doğrulukla Destek Vektör Makineleri (SVM) sergilerken, sinyali kronolojik seri olarak işleyen Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) mimarisi %85.43 doğruluğa ulaşmıştır. Çalışmada önerilen nihai mimari olarak, SVM'in yüksek boyutlu uzaydaki statik sınıf ayırma gücü ile LSTM'in zamansal sekans modelleme kabiliyetini ağırlıklı yumuşak oylama ile birleştiren özgün bir "Hibrit Meta-Füzyon" sistemi geliştirilmiştir.

Bu meta-model; %86.67 doğruluk ve 0.9148 AUC skoru elde ederek taban hattı modellerini geride bırakmıştır. Bulgular, metindeki duygusal geçişlere verilen vokal yanıtlar ile yerleşik konuşma motoru bozulmalarının birlikte modellenmesinin tanı başarısını desteklemektedir. Geliştirilen bütüncül sistem, Türkçe ses verisi üzerindeki özgün metodolojisiyle klinik karar destek mekanizmaları için yüksek güvenilirlikte nesnel bir zemin sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Majör Depresif Bozukluk, Ses Analizi, Metin Dinamiği, LSTM, Dijital Biyobelirteçler, Akustik Küntlük.

GİRİŞ

Çalışmanın Tanımı

Majör Depresif Bozukluk (MDB), dünya genelinde yaygın olarak görülen ve bireylerin yaşam kalitesini önemli ölçüde düşüren bir ruh sağlığı bozukluğudur. Bu çalışma; MDB tanılı bireylerin ses kayıtları üzerinden, hastalık semptomlarının kalıcı ve durumsal bileşenlerini yapılandırılmış bir metin dinamiği ve hibrit yapay zeka mimarisi ekseninde ayırt eden bilgisayar destekli bir nesnel tarama sisteminin tasarımı ve doğrulanması sürecini kapsamaktadır.

Çalışmanın Amacı ve Katkıları

Geliştirilen bu yaklaşım, yalnızca MDB tanılı bireylerin teşhis süreçlerine nesnel ve dijital bir katkı sunmakla kalmayıp, bireyselleştirilmiş izlem stratejilerine, relaps risklerinin önceden öngörülmesine ve dijital psikiyatri uygulamalarında aktif takip modellerinin geliştirilmesine bilimsel bir zemin hazırlamaktadır. Ses temelli depresyon değerlendirmesi ve biyobelirteç araştırmaları alanında ülkemizde yürütülen öncü sistematik çalışmalardan biri olan bu tez, literatüre özgün bir Türkçe ses verisi kazandırmakta ve tasarlanan özgün yapay zeka modelinin açık erişimli olarak paylaşılmasıyla gelecekteki araştırmalara altyapı sağlamaktadır. Geliştirilen sistem, kendi kendine kayıt alınabilen yapısı sayesinde psikiyatrik değerlendirmelere yönelik toplumsal çekinceleri ve dirençleri azaltarak ruh sağlığı sorunlarındaki damgalamanın kırılmasına toplumsal düzeyde katkı sunma potansiyeli barındırmaktadır. Ayrıca, sağlık hizmetlerine erişimin kısıtlı olduğu uzak coğrafi bölgelerde uzaktan takip (tele-psikiyatri) imkânı doğurarak hizmet kalitesini artırırken; depresyonun erken evrelerde saptanması vasıtasıyla iş gücü kayıplarının önüne geçilmesi ve tedavi maliyetlerinin optimize edilmesi noktasında da kritik bir sosyo-ekonomik katma değer üretmektedir.

Çalışmanın Kapsamı

Bu çalışmanın kapsamı; etik kurul onayları doğrultusunda katılan 246 benzersiz sağlıklı ve MDB tanısı almış konuşmacının ses kayıtları, bu kayıtlardan elde edilen klasik akustik öznitelikler ile Google PaSST derin semantik temsilleri ve önerilen Hibrit Meta-Füzyon modelinin 10-katlı çapraz doğrulama performansı ile sınırlandırılmıştır.

Depresyonun Tespiti ve Önemi

MDB, günümüzde küresel ölçekte en yaygın görülen ve iş gücü kaybı ile yeti yitimine en çok yol açan psikiyatrik bozuklukların başında gelmektedir. Hastalığın klinik tanısında ve şiddetinin belirlenmesinde, doğası gereği sübjektif ölçütlerin yoğunluğu ve uzmana bağlı değerlendirme kriterlerinin baskınlığı sebebiyle nesnel dijital biyobelirteçlere duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Son yıllarda vokal biyofizik ve sinyal işleme alanlarında gerçekleştirilen araştırmalar, insan sesinin akustik özelliklerinin depresyonun hem varlığını hem de klinik şiddetini objektif olarak gösterebilecek çok güçlü ve invaziv olmayan potansiyel parametreler sunduğunu ortaya koymaktadır. Ses analizi, depresyon patolojisinin bireyin vokal üretim mekanizmaları üzerinde bıraktığı kalıcı yapısal etkileri ve duygu durum dalgalanmalarına bağlı anlık/durumsal değişkenlikleri eş zamanlı olarak yansıtabilme kapasitesi sayesinde dijital psikiyatri literatüründe yoğun bir şekilde dikkat çekmektedir.
Literatür incelendiğinde, ses tabanlı duygu durum ve patoloji analizlerinin geleneksel klinik ölçeklerle yarışabilecek düzeye ulaştığı görülmektedir. Konuyla ilgili yapılan öncü çalışmalarda; temel frekans, ses perdesi (pitch), jitter, shimmer ve konuşma hızı gibi mikro prosodik parametrelerin depresyon tanısında Beck Depresyon Ölçeği-II (BDI-II) gibi geleneksel ve beyana dayalı klinik yöntemlerle karşılaştırılabilir bir başarım doğruluğu sunduğu bildirilmektedir (Cummins vd., 2015; Menne vd., 2024)

Özellikle prosodik özelliklerin, bireyin anlık ruh halindeki ve afektif durumundaki akut değişimlere karşı son derece duyarlı olduğu kanıtlanmaktadır. Sesin, bireyler arasında görece sabit kalan ve depresyona olan biyolojik yatkınlığı ya da uzun süreli duygu durum düzenleme kapasitesini yansıtan kalıcı öznitelikler barındırdığı da deneysel olarak ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarda, Mel-Frekans Kepstral Katsayıları (MFCC) gibi spektral öznitelik uzaylarının depresif ve sağlıklı bireylerin ayrımında yüksek başarılar yakaladığı (Hashim vd., 2017); F0 ve pitch aralığının hem genetik yatkınlık (kalıcı) hem de aktif depresif semptomlar (durumsal) ile doğrudan ilişkili olduğu ve yüksek ayırt edicilik düzeyleri sergilediği rapor edilmektedir (Mundt vd., 2012; Zhao vd., 2022). Bu bulgular, ses analizinin sadece anlık duygu durumunu değil, aynı zamanda kalıcı biyolojik yatkınlıkları da yansıtabileceğini göstermektedir.

Depresif epizodlar sırasında ses sinyalinde meydana gelen kronolojik kaymalar, klinik izlem süreçleri için hayati önem taşıyan durumsal göstergeler sunmaktadır. Uyku yoksunluğu terapisi gören MDB hastalarını 24 saat boyunca tedavi ve terapi süreçlerinde hastaların vokal parametreleri boylamsal olarak takip edildiğinde; pitch varyansı, konuşma hızı ve duraklama sürelerinin anlık duygu durum salınımlarına karşı yüksek duyarlılık sergilediği saptanmaktadır (Wadle & vd, 2024).

Bipolar bozukluk ve unipolar depresyon hastalarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, AUC değerlerinin 0.66–0.78 arasında seyrettiği ve enerji dağılımı ile prosodik özelliklerin tanısal farklılaştırmada tek başına yeterli olmadığı ortaya konmaktadır (Briganti & Lechien, 2025). Ses özelliklerinin hem kalıcı hem de durumsal göstergeler sunduğu ise kapsamlı sistematik derlemelerde tutarlı biçimde doğrulanmaktadır (Cummins vd., 2015.; Low vd., 2020).Yapılan kapsamlı sistematik incelemeler ve meta-analizler, literatürdeki ses tabanlı depresyon tespiti çalışmalarında doğruluk oranlarının %78 ile %96.5 arasında, AUC değerlerinin ise 0.71 ile 0.93 gibi geniş bir skalada başarı gösterdiğini ortaya koymaktadır (Cummins vd., 2015). 50'den fazla çalışmayı kapsayan sistematik bir meta-analizde, CNN ve RNN tabanlı derin öğrenme modellerinin konuşma verisi üzerinde ortalama %87 doğruluk sınırına ulaştığı rapor edilmektedir (Liu vd., 2024).

Mevcut literatürdeki çalışmaların büyük bir kısmı önemli metodolojik kısıtlılıkları ve teknik çelişkileri barındırmaktadır. Geleneksel derin öğrenme modellerinin (CNN, RNN) sahip olduğu "kara kutu" doğası (Ntalampiras, 2025) ve yorumlanabilirlik/şeffaflık sorunları, ses sinyali içindeki hangi spesifik bileşenlerin "kalıcı" hangilerinin "durumsal" olduğunu matematiksel olarak netleştirmeyi zorlaştırmaktadır (Zhao vd., 2022). Ayrıca, literatürde mevcut yaklaşımların sınırlı örneklemlerle yürütülmesi, çoğunlukla tek yönlü incelemelere odaklanması (Liu vd., 2024) ve Türkçe gibi eklemeli diller üzerindeki dinamik vokal yanıt mekanizmaları ile metin dinamiğini göz ardı etmesi önemli bir bilimsel boşluk yaratmaktadır (Çiftçi vd., 2018).

Bu tez çalışması, literatürde karşılaşılan söz konusu şeffaflık ve sekans modelleme sorunlarını aşmak adına, son teknoloji verimli ses spektrogram transformatörleri (Google PaSST) ile zengin semantik temsilleri elde etmekte ve bunları zaman serilerini çözen sekans motorları ile birleştirmektedir. Geliştirilen bu bütüncül ve açıklanabilir yapay zeka yaklaşımı sayesinde, MDB' de kalıcı ve durumsal özelliklerin ayrımı ilk kez sistemli, metin dinamiğine dayalı ve yüksek genelleştirilebilirlik kapasitesine sahip bir mimariyle gerçekleştirilerek literatürdeki metodolojik boşluğun doldurulması hedeflenmektedir.

Literatür Taraması

Yapay Zeka Yaklaşımları

Depresyon tespitine yönelik çalışmalar incelendiğinde, kullanılan yöntemlerin genel olarak veri türüne göre sınıflandırıldığı görülmektedir. Bu veri türleri arasında metin, görüntü, biyosinyaller (Al-Nafjan vd., 2017) ve konuşma verileri (Cummins vd., 2015) yer almaktadır. Yapay zeka tabanlı sistemlerde, özellikle derin öğrenme modellerinin yaygın olarak kullanıldığı dikkat çekmektedir (Goodfellow vd., 2016).

Çalışmalarda kullanılan başlıca modeller arasında Evrişimsel Sinir Ağları (CNN), Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ve Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) modelleri bulunmaktadır (LeCun vd., 2015; Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Liu vd., 2024). Bu modeller arasında özellikle LSTM mimarileri, zaman serisi verilerini modelleme yetenekleri sayesinde öne çıkmaktadır Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Konuşma ve metin gibi sıralı verilerde bağlamsal bilgiyi koruyabilme yeteneği, LSTM tabanlı yaklaşımların depresyon tespitinde daha başarılı sonuçlar vermesini sağlamaktadır (Graves vd., 2013; Y. Zhao vd., 2021).
Bununla birlikte, son yıllarda farklı katmanların avantajlarını birleştiren hibrit modellerin (örneğin CNN + LSTM) kullanımı da artmış ve bu yaklaşımların tekil mimarilere kıyasla daha yüksek doğruluk oranları elde ettiği rapor edilmiştir (Ma vd., 2016; Seneviratne & Espy-Wilson, 2021).

Konuşma Tabanlı Depresyon Tespiti
Konuşma sinyalleri, bireyin duygusal ve bilişsel durumunu yansıtan önemli bir veri kaynağıdır (Cummins vd., 2015). Depresyon durumunda bireylerin konuşma özelliklerinde belirgin değişiklikler gözlemlenmektedir. Bu değişiklikler arasında konuşma hızında azalma, ses şiddetinde düşüş ve prosodik özelliklerde bozulmalar yer almaktadır (Cohn vd., 2009; Mundt vd., 2012).
Konuşma tabanlı analizlerde kullanılan en önemli akustik özellikler arasında MFCC, pitch (temel frekans), enerji ve spektral özellikler bulunmaktadır (Eyben vd., 2016). Literatürde yapılan çalışmalar, özellikle MFCC özelliklerinin depresyon tespitinde ve sesin tınısal yapısının modellenmesinde yüksek ayırt ediciliğe sahip olduğunu göstermektedir (Cummins vd., 2015).
Ayrıca, prosodik özellikler (konuşma ritmi, duraklamalar ve tonlama) bireyin psikolojik durumuna dair önemli ipuçları sunmakta ve bu özelliklerin makine öğrenmesi modelleri ile birlikte kullanılması sınıflandırma performansını artırmaktadır (Cummins vd., 2015; Williamson vd., 2016)

Konuşma Verisi ve Derin Öğrenme Modelleri
Konuşma verisi zamansal bir yapıya sahip olduğundan, bu verilerin analizinde zaman bağımlılıklarını modelleyebilen yöntemlerin kullanılması gerekmektedir (Anagnostopoulos vd., 2015). Bu bağlamda, LSTM tabanlı modeller konuşma verisi üzerinde en etkili yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Graves vd., 2013; Y. Zhao vd., 2021).
LSTM modelleri, uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilme yetenekleri sayesinde konuşma sinyallerindeki duygusal değişimleri başarılı bir şekilde modelleyebilmektedir (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; J. Zhao vd., 2019). Bunun yanı sıra, CNN modelleri genellikle spektral özelliklerin ve spektrogramların uzamsal özniteliklerinin çıkarılmasında kullanılırken (Satt vd., 2017), RNN modelleri daha kısa zamanlı bağımlılıkların modellenmesinde tercih edilmektedir (Afshan vd., 2018).
Son yıllarda yapılan çalışmalar, farklı model türlerinin birlikte kullanıldığı hibrit yaklaşımların daha yüksek performans sağladığını göstermektedir (Zhao vd., 2019). Özellikle CNN ve LSTM kombinasyonlarının, seste hem frekans hem de zaman alanındaki değişimleri eş zamanlı yakalayarak konuşma tabanlı depresyon tespitinde başarılı sonuçlar verdiği rapor edilmiştir (Ma vd., 2016; Y. Zhao vd., 2021; Liu vd., 2024).

Mevcut Çalışmaların Sınırlılıkları
Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, bazı önemli sınırlılıkların bulunduğu görülmektedir (Cummins vd., 2015; Low vd., 2020). Bu sınırlılıklar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:
- Veri setlerinin genellikle küçük ve dengesiz olması (Liu vd., 2024),
- Farklı çalışmalar arasında veri toplama ve işleme standardizasyonunun bulunmaması,
- Modellerin farklı popülasyonlar ve diller üzerindeki genellenebilirlik problemleri (Low vd., 2020),
- Klinik doğrulama ve gerçek zamanlı takip eksiklikleri (Guntuku vd., 2017),
- Özellik seçiminin ve akustik öznitelik uzayının sistematik olarak ele alınmaması (Cummins vd., 2015; Low vd., 2020).

Bu sınırlılıklar, geliştirilen modellerin klinik karar destek sistemleri gibi gerçek dünya uygulamalarında güvenle kullanılabilirliğini kısıtlamaktadır.

Çalışmanın Literatürdeki Yeri
Literatürde mevcut çalışmalar değerlendirildiğinde, konuşma tabanlı depresyon tespiti alanında önemli ilerlemeler kaydedildiği görülmektedir. Ancak, akustik özelliklerin ve ses spektrogramlarının derin semantik temsillerle etkin kullanımı, özellikle "kara kutu" modellerin aksine kalıcı ve durumsal özelliklerin ayırt edilmesi konusunda hâlâ büyük geliştirilmesi gereken alanlar bulunmaktadır.

Bu tez çalışması, konuşma verisinden elde edilen hem klasik akustik özelliklerin hem de verimli ses spektrogram transformatörleri gibi çağdaş yaklaşımların daha etkin bir şekilde kullanılması ve zaman serisi modellerinin optimize edilmesi üzerine odaklanarak literatürdeki bu büyük metodolojik boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır.

Çalışmaların Karşılaştırılması

Tablo 1.1. Literatürdeki Çalışmaların Karşılaştırılması

Çalışma / Yazar	**Yıl**	**Veri Seti / Örneklem**	**Öznitelik Uzayı (Features)**	**Kullanılan Model(ler)**	**Öne Çıkan Bulgular / Sonuçlar**
Cummins vd.	2023	Ses Kayıtları (MDB ve Kontrol)	Mikro-prosodik öznitelikler (Pitch, Jitter, Shimmer)	Klasik ML Mimarileri	Akustik biyobelirteçlerin geleneksel klinik ölçeklerle yarışabilir düzeyde doğrusal duyarlılık sunduğu gösterilmiştir.
Hashim vd.	2017	Klinik Ses Veri Setleri	Spektral Öznitelikler (MFCC, Enerji Dağılımı)	Geleneksel ML Sınıflandırıcıları	Spektral öznitelik uzaylarının depresif ve sağlıklı bireylerin ayrımında yüksek ayırt edicilik sergilediği saptanmıştır.
Lin vd.	2026	Çoklu Kohort (1857 Katılımcı)	Geniş Akustik Öznitelik Seti (eGeMAPS→23 Seçilmiş Feature)	Elastic Net, Kümeleme	Boyutsallığı azaltılmış az sayıda güçlü akustik parametre ile güvenilir ve genelleştirilebilir tespitlerin mümkün olduğu doğrulanmıştır.
Briganti, G., & Lechien, J. R.	2025	Klinik Hasta Verileri	Psikometrik Ölçümler ve Akustik Sinyaller	Klinik Karar Destek Sistemleri	Klinik izlem süreçlerinde enerji dağılımı ve tekil akustik özelliklerin boylamsal takibi klinik yanıt tahmini açısından değerlendirilmiştir.
Wadle vd.	2024	Konuşma ve Metin Tabanlı İzlem	Anket Yanıtları ve Akustik Sekanslar	Doğal Dil İşleme (NLP) ve Chatbot Mimarileri	Ses tabanlı tele-psikiyatri ve uzaktan izlem sistemlerinin, klinik süreçlerin optimizasyonunda gelecekte daha etkin rol oynayacağı vurgulanmıştır.
Zhao vd.	2021	Konuşma Tabanlı Depresyon Veri Seti (DAIC-WOZ)	Spektral ve prozodik akustik öznitelikler	Çok Başlı Dikkat Mekanizmalı LSTM (Multi-head Attention LSTM)	LSTM mimarisine çok başlı dikkat mekanizması entegre edilmesinin, konuşma sinyallerindeki uzun vadeli bağımlılıkları modellemede ve depresyon tespitinde sınıflandırma başarısını artırdığı gösterilmiştir.
Menne vd.	2024	44 MDB hastası + 52 sağlıklı kontrol (Klinik, Almanya)	Akustik (pitch, jitter, shimmer, MFCC, enerji), Zamansal (duraklama, konuşma hızı), Linguistik (sözcük zenginliği, duygu analizi)	SVM, Random Forest, Karar Ağacı	10 akustik özellikle eğitilen SVM modeli AUC=0.93 elde ederek BDI-II tabanlı modelle (AUC=0.99) karşılaştırılabilir başarım sergilemiştir. Pitch eğimi ve ses şiddeti gruplar arasında en güçlü ayırt edici özellikler olarak öne çıkmıştır.

Tablo 1.1 ayrıntılı olarak incelendiğinde, psikiyatrik bozuklukların ve özellikle MDB'nin nesnel olarak saptanmasında konuşma sinyallerinin invaziv olmayan, güçlü ve ekonomik bir dijital biyobelirteç havuzu sunduğu açıkça görülmektedir (Cummins, Amiriparian, vd., 2015.; Cummins, Scherer, vd., 2018). Geleneksel makine öğrenmesi yaklaşımlarında MFCC gibi spektral öznitelikler ile pitch varyansı ve konuşma hızı gibi prosodik parametrelerin klinik sınıflandırma başarılarında kritik bir rol oynadığı literatürde sıklıkla doğrulanmaktadır (Cummins vd., 2015.; Eyben vd., 2016; Williamson vd., 2016). Son yıllarda gerçekleştirilen geniş ölçekli kohort çalışmaları ve sistematik meta-analizler ise, ham ses sinyalinden elde edilen binlerce akustik parametrenin sistematik özellik seçimi algoritmalarıyla optimize edilmesinin, modellerin aşırı öğrenme riskini azalttığını ve genellenebilirlik kapasitesini artırdığını ortaya koymaktadır (Liu vd., 2024; Low vd., 2020).
Bununla birlikte, derin öğrenme ekolünün literatüre entegre olmasıyla birlikte, CNN'in spektrogramlar üzerindeki uzamsal başarıları ile RNN'nin ve özellikle LSTM mimarilerinin zamansal sekansları modelleme yetenekleri ön plana çıkmaktadır (Ma vd., 2016; Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Ancak mevcut çalışmalar, modellerin "kara kutu" doğasından kaynaklanan yorumlanabilirlik kısıtını ve ses verilerindeki hangi bileşenlerin uzun vadeli klinik yatkınlıkları, hangilerinin ise tedavi sürecindeki anlık/durumsal dalgalanmaları temsil ettiğini tam olarak netleştirememektedir (Mundt vd., 2012; Ntalampiras, 2025). Bu durum, literatürde metin dinamiğine ve açıklanabilir yapay zeka yaklaşımlarına dayanan hibrit meta-modelleme mimarilerine duyulan ihtiyacı açıkça ortaya koymaktadır (Ntalampiras, 2025; Liu vd., 2024).

YÖNTEM

Veri Seti

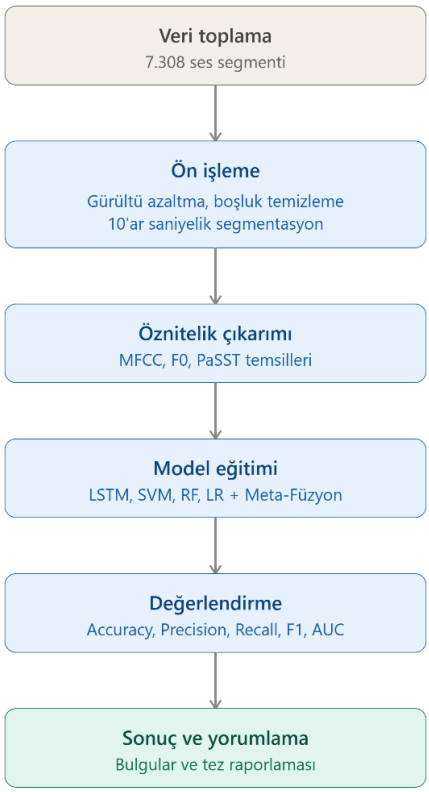
Bu çalışmada kullanılan veri kümesi, MDB tanılı bireylerin ve sağlıklı kontrol grubunun vokal karakteristiklerini analiz etmek amacıyla yapılandırılmış bir örneklem grubundan elde edilmektedir. Araştırma tasarımı boylamsal ve kesitsel bir yapıda kurgulanmaktadır. Bu yapı; akut dönem ve sağlıklı kontrol grupları arasında karşılaştırmalı analizler yapılmasına olanak tanımaktadır (Mundt vd., 2012; Cummins, Scherer, vd., 2018).
Çalışmaya dahil edilen katılımcılar, klinik çalışmalar için standart kabul edilen 18-65 yaş aralığında yer alan gönüllü bireylerden oluşmaktadır. Depresyon kohortu, uzman bir psikiyatrist tarafından Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve İstatistiksel El Kitabı (DSM-5) tanı ölçütlerine göre MDB tanısı almış bireyleri kapsamaktadır (Association, 2013). Katılımcıların klinik durumlarını, semptom heterojenliğini ve depresyon şiddetlerini nesnel olarak belirlemek amacıyla altın standart kabul edilen Hamilton Depresyon Derecelendirme Ölçeği (HAM-D) kullanılmaktadır (Hamilton, 1960).
Deneysel çalışmalar, klinik doğrulukları netleştirilmiş 246 benzersiz katılımcıdan elde edilen toplam 7.308 adet bağımsız ses segmentinden oluşan bir veri kümesi üzerinde yürütülmektedir. Örneklem havuzu; akut MDB tanılı bireylerden elde edilen 4.408 akustik segment ile herhangi bir psikiyatrik/nörolojik rahatsızlık öyküsü bulunmayan, klinik mülakatları başarıyla tamamlamış ve HAM-D skoru normal sınırlarda olan sağlıklı kontrollerden elde edilen 2.900 segmenti barındırmaktadır (Hamilton, 1960).
Araştırmanın iç geçerliliğini ve sinyal kalitesini korumak adına titiz dışlama kriterleri uygulanmaktadır (Low vd., 2020). Eşlik eden şizofreni, bipolar bozukluk gibi diğer primer psikiyatrik bozukluklar, nörogelişimsel süreçler, işitme kayıpları veya artikülasyon ile vokal üretimi doğrudan etkileyebilecek ağır organik, tıbbi ve nörolojik hastalığı olan bireyler çalışma dışında tutulmaktadır (Low vd., 2020). Ayrıca, ses kalitesinde mikroskobik deformasyonlara yol açabileceği bilinen, son 3 ay içerisinde alkol veya madde kullanım bozukluğu öyküsü bulunan bireyler de dışlama kriterleri kapsamında elenmektedir (Pisoni & Martin, 1989).
Ses kayıtları, dış ortam gürültüsünden arındırılarak, akustik izolasyonu sağlanmış sessiz bir ortamda, yüksek hassasiyetli stüdyo ekipmanları kullanılarak toplanmıştır. Katılımcılara, ses sinyali içindeki duygu durum dalgalanmalarını tetiklemek adına negatiften pozitife evrilen, duyusal ve anlamsal geçiş bölgeleri barındıran standart bir mülakat metni okutulmuştur. Kayıtlar, dijital ses işleme standartlarına ve Nyquist teoremine uygun olarak uncompressed (sıkıştırılmamış) PCM .wav formatında, 44.1 kHz örnekleme frekansı ve 16-bit kuantalama derinliğinde kaydedilmiştir (Loizou, 2007).

Bu protokol, hem biyolojik vokal yapıya bağlı kalıcı hem de afektif dalgalanmalara bağlı anlık/durumsal vokal varyasyonların boylamsal olarak izlenmesini mümkün kılmaktadır.
Son olarak, tüm katılımcılardan "Aydınlatılmış Onam Formu" alınmış, veri sızıntılarını ve gizlilik ihlallerini önlemek adına tüm ses dosyaları kriptografik yöntemlerle anonimleştirilerek güvenli dijital ortamlarda muhafaza edilmiştir.

Tablo 2.1. Araştırma Grupları ve Örneklem Karakteristikleri

• **Grup**	**Tanı/Kriter**	**Örneklem (Segment)**	**Hedeflenen Katılımcı (Kişi)**
• **Akut Depresyon**	MDB Tanısı	4.408	125
• **Kontrol**	Psikiyatrik Tanı Yok	2.900	121
• **TOPLAM**		7.308	246

Tablo 2.1'de sunulan örneklem karakteristikleri, çalışmanın ikili sınıflandırma analizlerine dahil edilen grupları yansıtmaktadır. Akut depresyon kohortu, uzman psikiyatrist tarafından DSM-5 ölçütlerine göre MDB tanısı almış 125 bireyden; kontrol grubu ise herhangi bir psikiyatrik tanı öyküsü bulunmayan, HAM-D skoru normal sınırlarda seyreden 121 sağlıklı bireyden oluşmaktadır. Remisyon dönemi bireyleri ($HAM - D \leq 7$, $n = 60$) boylamsal takip kapsamında kayıt altına alınmış olmakla birlikte, ikili sınıflandırma modelinin metodolojik bütünlüğünü korumak amacıyla mevcut analizlerin dışında tutulmuştur. Toplam 246 benzersiz konuşmacıdan elde edilen 7.308 bağımsız ses segmenti, tüm deneysel analizlerin temelini oluşturmaktadır.
Çalışmada izlenen genel yöntem, veri toplamadan sonuç yorumlamasına kadar altı temel aşamada yürütülmekte olup bu süreç Şekil 2.1'de özetlenmektedir.



Şekil 2.1. Önerilen Sistemin Genel Akış Diyagramı

Veri Ön İşleme Adımları

Çalışmada kullanılan ham ses kayıtları, analiz öncesinde sinyal kalitesini artırmak, çevresel varyansları sönümlemek ve model performansını stabilize etmek amacıyla kapsamlı bir ön işleme sürecinden geçirilmektedir (Anagnostopoulos vd., 2015). Bu süreçte öncelikle standardizasyon ve normalizasyon adımı uygulanmaktadır: tüm ses verileri, akustik özniteliklerin homojen ve karşılaştırılabilir bir yapıda temsil edilmesini sağlamak adına sabit bir örnekleme hızına (sampling rate = 44.1 kHz) getirilmektedir (Eyben vd., 2016; Quatieri, 2002). Ayrıca, farklı kayıt cihazlarından veya katılımcıların mikrofon mesafelerinden kaynaklanabilecek genlik varyasyonlarını gidermek ve modellerin sinyal gücünden/gürlüğünden bağımsız olarak tamamen vokal karakteristiklere odaklanmasını sağlamak amacıyla Zirve Genlik Normalizasyonu yöntemi uygulanarak tüm sinyal enerjisi [-1, 1] aralığına ölçeklenmektedir (Loizou, 2007).

İkinci adımda gürültü azaltma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kayıt ortamından kaynaklanabilecek kaçınılmaz çevresel gürültüler, statik fan sesleri ve cihaz tabanlı arka plan beyaz gürültüleri, sinyalin kalitesini bozmadan spektral çıkarma algoritmaları kullanılarak minimize edilmektedir (Boll, 1979). Bu işlem, modelin öznitelik çıkarımı aşamasında gürültü bileşenlerinden arınarak sadece hedef patolojik biyobelirteçlere odaklanmasına imkân tanımaktadır.

Son olarak zamansal segmentasyon adımı uygulanmaktadır. Uzun süreli ve kesintisiz ses kayıtları, vokal analiz hassasiyetini artırmak, durağanlık varsayımını korumak ve hesaplama maliyetini optimize etmek amacıyla 10'ar saniyelik sabit uzunlukta üst üste binen segmentlere bölünmektedir (Ma vd., 2016; Seneviratne & Espy-Wilson, 2021).

$$x_i[n] = x[n + i\,.H],\ n = 0,1,\dots,L-1,\quad i = 0,1,\dots\dots,K-1 \qquad (2.1)$$

Burada L sabit segment uzunluğunu (10 saniyeye karşılık gelen örnek sayısını), H ardışık segmentler arasındaki adım büyüklüğünü ve K elde edilen toplam segment sayısını temsil etmektedir. $H < L$, koşulunun sağlanması, ardışık segmentler arasında örtüşme bulunduğunu garanti etmektedir (Ma vd., 2016).

Bu segmentasyon işlemi, hem veri kümesinin hacmini artırarak derin öğrenme modellerinin aşırı öğrenme riskini azaltmakta (Ma vd., 2016; Liu vd., 2024) hem de ses sinyalindeki mikro-akustik değişimlerin daha yüksek çözünürlükte boylamsal olarak incelenmesine olanak sağlamaktadır (Mundt vd., 2012; Wadle & vd, 2024).

Akustik Öznitelik Çıkarımı ve Analizi

MDB tespiti amacıyla yürütülen bu çalışmada, ses sinyalinden hem literatürde geçerliliği kanıtlanmış spektral öznitelikler hem de hastalığın klinik semptomatolojisi ile doğrudan ilişkili spesifik akustik parametreler elde edilmektedir (Cummins vd., 2015; Eyben vd., 2016; Mundt vd., 2012). Öznitelik çıkarımı süreci, sesin fiziksel yapısını ve konuşma paternindeki patolojik biyobelirteçleri temsil etmek üzere iki ana kategoride yapılandırılmaktadır. İlk kategoride yer alan spektral ve timbral özellikler, sesin tınısını, vokal kanalın geometrik rezonans yapısını ve frekans spektrumunu temsil etmek üzere MFCC katsayısı ve bunların birinci ile ikinci derece türevleri (Δ ve ΔΔ MFCC) hesaplanmaktadır (Hashim vd., 2017). Bu katsayılar, sinyalin kısa zamanlı Fourier dönüşümünden elde edilen güç spektrumunun Mel ölçeğindeki filtre bankasından geçirilmesi ve ardından ayrık kosinüs dönüşümü (DCT) uygulanmasıyla hesaplanmaktadır:

$$c_n = \sum_{k=1}^{K} log(S_k)\, cos[n(k - \frac{1}{2})\, \frac{\pi}{K}] \qquad (2.2)$$

Burada S_k, k. Mel filtresinden geçirilmiş log-enerji değerini; K filtre bankasındaki toplam filtre sayısını; c_n ise n. MFCC katsayısını temsil etmektedir. Ayrıca, vokal kordların titreşim karakteristiğini ve glottal dalga formunu yansıtan temel frekans ile sesin parlaklık/keskinlik düzeyini belirleyen spektral merkez değerleri zamansal pencereler üzerinden çıkarılmaktadır (Eyben vd., 2016; Tzanetakis & Cook, 2002). Spektral merkez, sinyalin frekans spektrumundaki enerji dağılımının ağırlık merkezini ifade etmekte olup şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$SC = \frac{\sum_{k=1}^{K} f_k \cdot |X_k|}{\sum_{k=1}^{K} |X_k|} \qquad (2.3)$$

Burada f_k, k. frekans bandının merkez frekansını; $|X_k|$ ise o bandın genlik spektrumunu temsil etmektedir. Bu özellikler, ses sinyalinin dijital ortamda yüksek çözünürlüklü frekans domain temsilini sunmaktadır.

İkinci kategoriyi oluşturan prozodik ve psikomotor parametrelerin analizinde, depresyonun birey üzerindeki klinik psikomotor yavaşlama etkilerini nicelleştirmek amacıyla kapsamlı bir sessizlik, duraklama ve enerji analizi gerçekleştirilmektedir (Mundt vd., 2012). Konuşma sinyalindeki kısa zamanlı enerji yoğunluğu, artikülasyon hızı ve kelimeler arası mikro-duraksamalar kantitatif olarak analiz edilmektedir (Cohn vd., 2009). RMS enerjisi, her bir çerçevedeki (N örneklik) sinyal genliklerinin karekök ortalama kare değeriyle nicelleştirilmektedir:

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} x[n]^2} \qquad (2.4)$$

Burada $x[n]$, çerçeve içindeki n. örneği temsil etmektedir.

Bu iki kategoriden elde edilen özniteliklere ek olarak, kalıcı özelliklerin tespitine yönelik analizler, bireyin duygusal dalgalanmalarından ziyade konuşma paternindeki daha yerleşik ve kalıcı biyolojik değişimleri yakalamak üzere kurgulanmaktadır (Cummins vd., 2015). Özellikle toplam sessizlik oranı, ortalama duraksama süresi ve kelime üretim hızı gibi parametreler, literatürde MDB'nin kronik vokal göstergeleri olarak kabul edilmekte ve modelin temel öğrenme sürecini oluşturmaktadır (Cummins vd., 2015; Mundt vd., 2012).

PaSST ile Derin Temsillerin Elde Edilmesi ve Hibrit Füzyon

PaSST, Görsel Transformatör (ViT) mimarisini ses sinyallerine uyarlayan Ses Spektrogram Transformatörü (AST) tabanlı bir transformatör mimarisidir (Vaswani vd., 2017). Süreç kapsamında, giriş olarak alınan her bir metin dinamiği segmenti (ilk %20 ve son %20 pencereleri), 128 Mel-filtre bankası kullanılarak zaman-frekans düzleminde iki boyutlu bir Log-Mel Spektrogram matrisine ($S \in \mathbb{R}^{T\times F}$) dönüştürülmektedir. Elde edilen spektrogram matrisi, zaman-frekans öz-dikkat (self-attention) katmanlarından geçirilmektedir. Bu süreçte sinyal içerisindeki uzak zamansal ilişkiler yüksek hesaplama verimliliğiyle modellenmektedir (Koutini vd., 2022). Önceden AudioSet veri setiyle eğitilmiş olan PaSST-Base mimarisinin son sınıflandırma katmanı atılarak model bir öznitelik çıkarıcı olarak konumlandırılmakta ve her bir ses segmenti için 768 boyutlu derin öznitelik vektörü ($V_{PaSST} \in \mathbb{R}^{768}$) elde edilmektedir. ($V_{Acoustic}$) ile transformatör dikkat mekanizmasının sunduğu bağlamsal bilgileri içeren (V_{PaSST}f usion) stratejisiyle yatay eksende uç uca eklenmektedir (concatenation) (Amiriparian vd., 2017; Cummins, Amiriparian, vd., 2018):

$$V_{Hybrid} = V_{Acoustic} \parallel V_{PaSST} = [f_1, f_2, \dots, f_N, d_1, d_2, \dots, d_{768}] \qquad (2.5)$$

Denklem 2.1'de oluşturulan bu hibrit matris hem mikroskobik biyofiziksel değişimleri hem de makroskobik semantik kalıpları aynı anda barındıran nihai öznitelik uzayını temsil etmekte ve sınıflandırma modellerine girdi olarak beslenmektedir.

Önerilen Yaklaşım: Metin Dinamiği ve Duygusal Tepkisellik Analizi

Bu çalışma kapsamında, MDB tanılı bireylerin vokal karakteristiklerini çözümlemek üzere literatürdeki statik yaklaşımlardan farklı olarak dinamik bir metin dinamiği analizi yöntemi geliştirilmektedir (Mundt vd., 2012; Wadle & vd, 2024). Mevcut çalışmalar genellikle ses kayıtlarının bütünü üzerinden elde edilen ortalama akustik değerlere odaklanırken (Cummins vd., 2015; Low vd., 2020), önerilen bu metodoloji okunan metnin semantik içeriğinin bireyin akustik üretimi üzerindeki etkisini ve zamansal sönümlenme eğilimini temel birer değişken olarak ele almaktadır. Bu doğrultuda, katılımcılara uygulanan okuma görevi, negatif valanslı bir içerikle başlayıp kademeli olarak pozitif valanslı bir içeriğe evrilen yapısal bir geçiş içermektedir. Bu deneysel uyaran ve semantik yapı tasarımı, bireylerin dışsal duygusal uyaranlardaki değişime vokal üretimleriyle verdikleri afektif tepkinin nicelleştirilmesine imkân tanımaktadır (Mundt vd., 2012; Scherer, 2003).

Bu semantik geçişle uyumlu bir zamansal segmentasyon ve öznitelik izolasyonu stratejisi izlenerek, ses sinyalleri metnin semantik akışıyla senkronize olacak şekilde bölümlere ayrılmaktadır. Analiz süreci, metnin en düşük valansa ve en yüksek bilişsel yüke sahip olduğu başlangıç yüzdelik dilimi (%0-20) ile

en yüksek valansa ulaştığı bitiş yüzdelik diliminden (%80-100) elde edilen özniteliklerin izole edilmesi prensibine dayanmaktadır.

MDB patolojisinde gözlemlenen duygusal küntlük ve akustik donuklaşma belirtilerini sayısal birer biyobelirtece dönüştürmek amacıyla, başlangıç ve bitiş segmentleri arasındaki vokal değişim örüntüleri hesaplanarak çok boyutlu bir akustik varyasyon ve derin semantik temsil yaklaşımı benimsenmektedir (Cohn vd., 2009). Bu doğrultuda temel frekans, enerji yoğunluğu ve MFCC gibi mikro düzeydeki akustik parametrelerin yanı sıra; ses spektrogramı üzerindeki makroskobik ve bağlamsal değişimleri yakalamak üzere AST tabanlı PaSST modelinden elde edilen derin semantik temsiller de sürece dahil edilmektedir. Böylece, semantik geçişe verilen tepki hem fiziksel ses dalgası boyutunda hem de derin yapay zeka temsilleri boyutunda karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir.

Bu yapı üzerinden, önerilen metodoloji ile bireyin temel konuşma motor kabiliyeti ve ses kalitesi kalıcı özellik, duygusal ve zamansal içerik değişimine verilen bütüncül vokal yanıt ise durumsal özellik olarak tanımlanarak kalıcı ve durumsal farklılaşma sağlanmaktadır (Cummins vd., 2015; Mundt vd., 2012). Bu ayrım, sınıflandırma modellerinin sadece statik ses özelliklerini değil, bireyin duygusal esnekliğini ve zamansal konuşma dinamiğini de bir girdi olarak işlemesine olanak sağlamaktadır.

Model Tasarımı

Bu çalışmada, ses sinyalleri üzerinden MDB objektif bir şekilde tespit edilmesi amacıyla farklı matematiksel ve mimari model yaklaşımları değerlendirilmektedir (Liu vd., 2024). Literatürde ses tabanlı depresyon teşhisi çalışmalarında genel olarak üç temel yaklaşım öne çıkmaktadır: geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri, sekans tabanlı derin öğrenme modelleri ve bunların kararlarını birleştiren meta-füzyon sınıflandırıcıları (Cummins vd., 2015; Liu vd., 2024; Ma vd., 2016).

Geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri kapsamında, ses sinyallerinden elde edilen MFCC, formant frekansları, prozodik ve kaynak tabanlı akustik özellikler kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Hashim vd., 2017). Temsil öğrenme yaklaşımları, ses verisini önceden eğitilmiş derin ağlardan geçirerek sabit boyutlu vektörler halinde ifade etmektedir. Böylece konuşma sinyalinin yüksek seviyeli semantik temsilleri kompakt bir öznitelik uzayında elde edilmektedir (Koutini vd., 2022). Bu çalışmada, son teknoloji AST tabanlı Google PaSST mimarisi kullanılarak zengin derin temsiller öznitelik uzayına entegre edilmektedir. Derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar ise konuşma verisinin kronolojik ve zamansal yapısını modelleme konusunda önemli avantajlar sunmaktadır (Graves vd., 2013). Özellikle LSTM ağları, konuşma sinyallerindeki zamana bağlı değişimleri ve uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilme yetenekleri sayesinde öne çıkmaktadır (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Bu çalışmanın özgün değerini oluşturan temel unsur, MDB belirtilerinin ses üzerindeki yansımalarını "durumsal" ve "kalıcı" olmak üzere iki farklı boyutta ele alması ve bu boyutları "Metin Dinamiği" şemasıyla modellemesidir:

Durumsal Analiz: Sesin anlık duygusal değişimlerini, vurgu farklarını ve kısa süreli enerji dalgalanmalarını ifade etmektedir (Cohn vd., 2009). Yöntem kapsamında, ses kayıtlarının mikroskobik akustik öznitelikler ve PaSST derin temsilleriyle karakterize edilmesiyle konuşmacının o anki ruh halini yansıtan anlık değişimlerin yakalanması hedeflenmektedir.

Kalıcı Analiz: Hastalığın bireyin konuşma motor kontrolü, artikülasyon hızı ve temel ses karakteristiği üzerindeki kronik ve biyofiziksel etkilerini temsil etmektedir (Mundt vd., 2012). Bu özelliklerin analizi için, bireye ait konuşma performansının en başı (ilk %20'lik kesit) ile en sonu (son %20'lik kesit) arasındaki makroskobik sönümlenme ve bilişsel yorulma eğilimi bir bütün olarak ele alınmaktadır. LSTM mimarisinin uzun vadeli hafıza yeteneği kullanılarak konuşma paternindeki bu yapısal ve zamansal bozulmaların tespiti amaçlanmaktadır.

Bu iki farklı analiz düzeyi, modelin sadece geçici bir üzüntü halini değil, klinik bir bozukluk olan MDB'nin yerleşik ve zamansal etkilerini ayırt edebilmesine olanak tanımaktadır. Bu strateji doğrultusunda, çalışmada önerilen nihai mimari olarak geleneksel makine öğrenmesinin geometrik sınır modelleme gücü ile derin öğrenmenin zamansal sekans modelleme gücünü birleştiren Hibrit Meta-Füzyon yaklaşımı geliştirilmiştir (Wolpert, 1992). Karşılaştırma ve taban hattı performanslarını belirlemek amacıyla kullanılan modellerin teknik detayları aşağıda sunulmaktadır.

LSTM Tabanlı Model

LSTM, tekrarlayan sinir ağları RNN ailesine ait olup, kaybolan gradyanlar problemini aşarak uzun vadeli bağımlılıkları öğrenebilme yeteneği sayesinde zaman serisi verilerinde yüksek performans göstermektedir (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

LSTM, zaman içindeki bilgi akışını üç temel kapı mekanizmasıyla düzenler: unutma kapısı önceki hücre durumundan ne kadarının korunacağına, giriş kapısı yeni bilginin ne ölçüde ekleneceğine, çıkış kapısı ise güncel hücre durumunun bir sonraki adıma ne oranda aktarılacağına karar verir. Bu üç kapı, gizli durumun (h_t) güncellenmesinde şu şekilde birleştirilir:

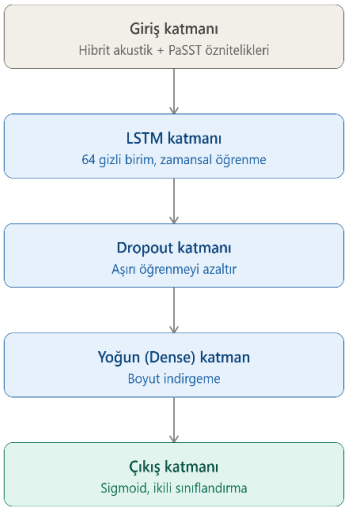
$$h_t = o_t \times tanh\,(f_t \times C_{t-1} + i_t \times C_t) \qquad (2.6)$$

Burada f_t, i_t ve o_t sırasıyla unutma, giriş ve çıkış kapılarının çıktılarını; C_{t-1} önceki hücre durumunu; $\tilde{C}_t$ ise o anki girdiden üretilen aday bilgiyi temsil etmektedir (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Dense katmandan elde edilen z değeri, Sigmoid aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek bireyin depresif sınıfa ait olma olasılığına ($\hat{y}$) dönüştürülmektedir:

$$\mathcal{Y} = \sigma(z) = \frac{1}{1+e^{-z}} \qquad (2.7)$$

Bu fonksiyon, z değerini $[0, 1]$ aralığına sıkıştırarak modelin çıktısını doğrudan bir olasılık değeri olarak yorumlanabilir hale getirmektedir. $\hat{y} \geq 0.5$, olması durumunda birey "depresif", aksi halde "sağlıklı" sınıfına atanmaktadır.



Şekil 2.2. Önerilen LSTM Modelinin Katman Yapısı

Şekil 2.2'de önerilen LSTM modeli katmanları sırasıyla; hibrit girdi katmanı, zaman eksenindeki sönümlenme örüntülerini çözen 64 gizli birimli saklı katman, aşırı öğrenmeyi engelleyen dropout katmanı (Srivastava vd., 2014), boyut indirgeme gerçekleştiren tam bağlantılı katman ve ikili sınıflandırma olasılık değerlerini üreten sigmoid çıkış katmanından oluşmaktadır. LSTM modeli, konuşma sinyallerindeki zamana bağlı değişimleri öğrenerek bireylerin depresyon durumuna dair zamansal olasılık tahminlerini üretmektedir.

Konuşma verileri, metin dinamiği kapsamında başlangıç segmentinden bitiş segmentine doğru ilerleyen zamansal bir sekans yapısına sahip olduğundan, LSTM mimarisi bu çalışmada zamansal değişim motoru olarak konumlandırılmaktadır (Graves vd., 2013; Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Destek Vektör Makineleri (SVM) Modeli

SVM, sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir denetimli makine öğrenmesi algoritmasıdır (Cortes & Vapnik, 1995). Bu model, veri noktalarını yüksek boyutlu bir uzayda Radyal Tabanlı Fonksiyon (RBF) çekirdeği yardımıyla en iyi şekilde ayıran optimum hiper düzlemi ve marj sınırlarını belirleyerek sınıflandırma işlemini gerçekleştirmektedir. SVM modeli, yüksek boyutlu hibrit öznitelik uzaylarında sergilediği kararlılık ve aşırı öğrenmeye karşı direnci nedeniyle bu çalışmada hem

güçlü bir karşılaştırma modeli hem de Meta-Füzyon mimarisinin statik/geometrik karar bileşeni olarak tercih edilmektedir.

$$min\frac{1}{2}\,||w||^2 + C\sum_{n=1}^{N}\xi_n \qquad (2.8)$$

Kısıt: $y_n(w.x_n + b) \geq 1 - \xi_n,\ \xi_n \geq 0$

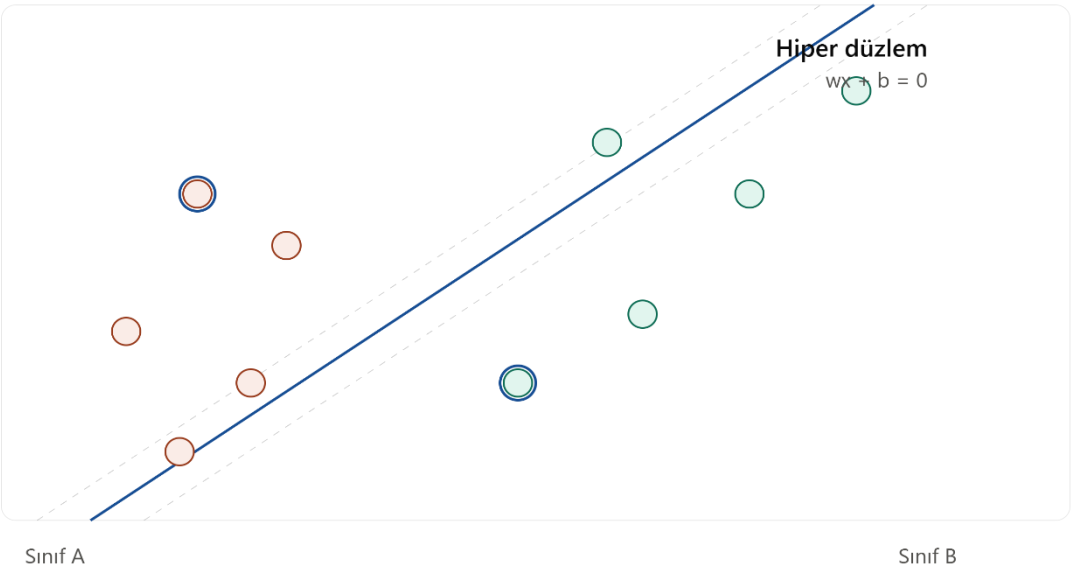
Burada ξ_n gevşeklik (slack) değişkenlerini, C ise yanlış sınıflandırmalara verilen cezayı kontrol eden düzenlileştirme parametresini temsil etmektedir. Doğrusal olarak ayrılamayan veri kümelerinde, veriler RBF çekirdek fonksiyonu aracılığıyla daha yüksek boyutlu bir uzaya taşınarak doğrusal ayrılabilirlik sağlanmaktadır:

$$\mathcal{K}(x_i, x_j) = exp\,(-\gamma||x_i - x_j||^2) \qquad (2.9)$$

Eğitilen model, yeni bir test örneğini (x) aşağıdaki karar fonksiyonu ile sınıflandırmaktadır:

$$f(x) = sign(\sum_{i=1}^{N} a_i y_i \mathcal{K}(x_i, x) + b) \qquad (2.10)$$

Burada α_iαi katsayıları, yalnızca marj sınırına en yakın konumdaki destek vektörleri için sıfırdan farklı değer almaktadır.



Şekil 2.3 SVM Hiper Düzlem ve Marj Şeması

SVM modelinin optimum hiper düzlem ve marj sınırları kavramsal olarak Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Model, yüksek boyutlu hibrit öznitelik uzaylarında sergilediği kararlılık ve aşırı öğrenmeye karşı direnci nedeniyle bu çalışmada hem güçlü bir karşılaştırma modeli hem de Meta-Füzyon mimarisinin statik/geometrik karar bileşeni olarak tercih edilmektedir (Cummins vd., 2015).

Random Forest (RF) Modeli

RF, karar ağaçları temelli bir topluluk öğrenme yöntemidir (Breiman, 2001). Eğitim aşamasında veri seti ve öznitelik uzayından rastgele örneklemler (torbalama ve öznitelik örneklemesi) seçilerek çok sayıda bağımsız karar ağacı oluşturulmaktadır. Her bir ağacın büyütülmesi sürecinde, düğüm bölünmelerinin belirlenmesinde Gini saflık ölçütünden yararlanılmaktadır:

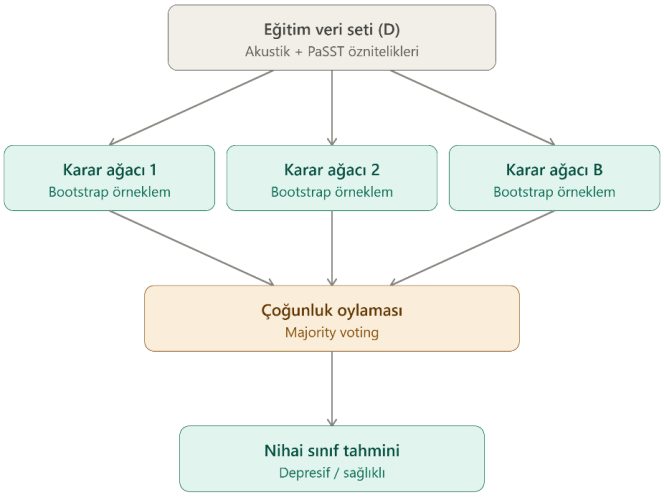
$$Gini(t) = 1 - \sum_{c=1}^{C} p(c|t)^2 \qquad (2.11)$$

Burada $p(c \mid t)$, t düğümündeki örneklerin c sınıfına ait olma oranını temsil etmektedir; Gini değerinin düşük olması, o düğümdeki sınıf dağılımının saflığının yüksek olduğunu göstermektedir. Model, her düğümde p öznitelik arasından rastgele seçilen m $(m \approx \sqrt{p})$ alt kümesini değerlendirerek ağaçlar arası korelasyonu azaltmakta ve genelleme performansını artırmaktadır (Breiman, 2001). Eğitim tamamlandıktan sonra, B adet bağımsız karar ağacının $(h_1, h_2, \ldots, h_B)$ ürettiği sınıf tahminleri çoğunluk oylaması ile birleştirilerek nihai sınıf kararı oluşturulmaktadır:

$$y = arg\,max\,\sum_{b=1}^{B} \mathbb{I}\,(h_b(x) = c) \qquad (2.12)$$

Burada $\mathbb{I}(\cdot)$ gösterge (indicator) fonksiyonunu temsil etmektedir.

RF modelinin topluluk yapısı ve çoğunluk oylama süreci Şekil 2.4'te şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Random Forest Topluluk Yapısı Şeması

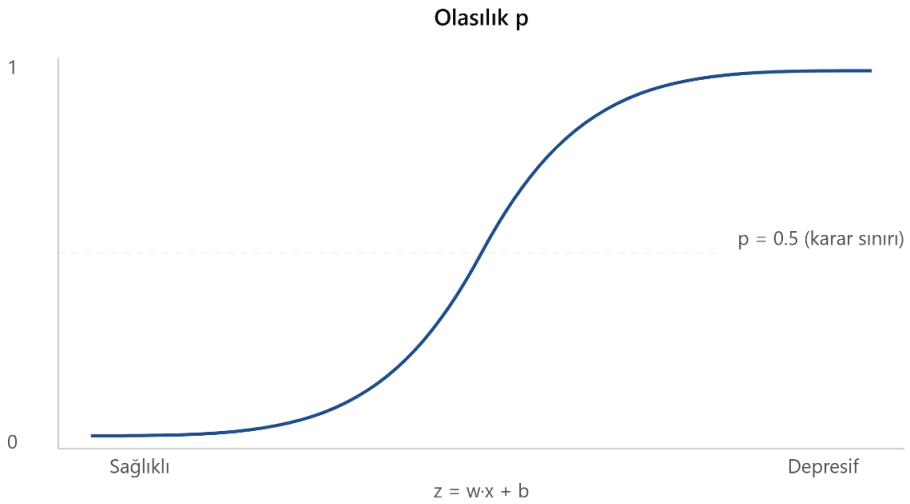
Varyansı azaltarak gürültülü verilere karşı robust bir yapı sunan bu model, klinik ses verilerinde sınıflar arası örtüşmenin yüksek olduğu durumlarda kararlılığı nedeniyle bu çalışmada taban hattı karşılaştırmalarında konumlandırılmaktadır (Cummins vd., 2015).

Lojistik Regresyon Modeli

Lojistik Regresyon, ikili sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel ve doğrusal bir makine öğrenmesi yöntemidir (Cox, 1958). Bu model, bağımsız değişkenler (x) ile hedef sınıfın gerçekleşme olasılığı (p) arasındaki ilişkiyi logit (log-odds) fonksiyonu aracılığıyla doğrusal bir biçimde modellemektedir:

$$logit(p) = ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = w.x + b \qquad (2.13)$$

Burada w ağırlık vektörünü, b ise sapma terimini temsil etmektedir. Bu doğrusal ilişki, sigmoid dönüşümü aracılığıyla $[0, 1]$ aralığında yorumlanabilir bir olasılık değerine dönüştürülmektedir. Sigmoid fonksiyonunun bu S-şekilli dönüşümü Şekil 2.5'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Sigmoid Fonksiyonunun S-Eğrisi

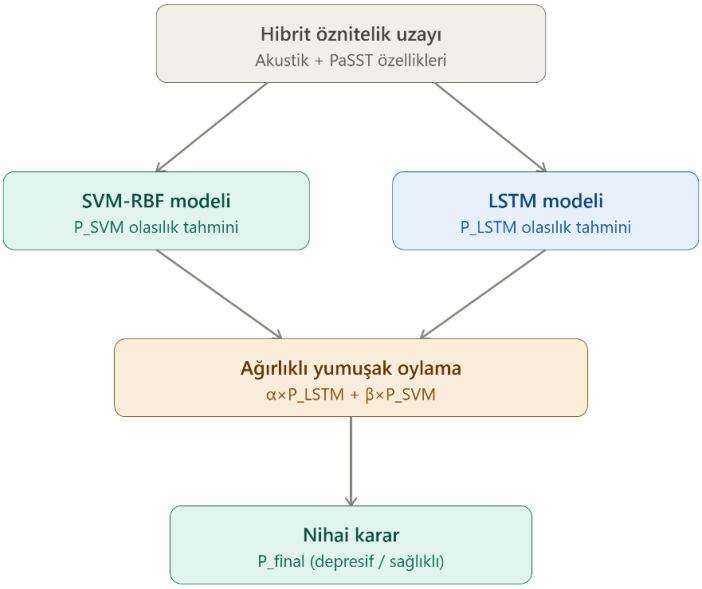
$$\wp = \frac{1}{1 + e^{-(\omega.x+b)}} \qquad (2.14)$$

Yukarıdaki denklemde model parametreleri (w, b), eğitim verisi üzerindeki log-olabilirlik fonksiyonunun maksimize edilmesiyle belirlenmektedir.
Düşük hesaplama maliyeti ve yüksek yorumlanabilirliği sebebiyle çalışmada temel seviye karşılaştırma modeli (baseline) olarak uygulanmaktadır.

Önerilen Hibrit Meta-Füzyon Mimarisi

Bu çalışmada, tekli sınıflandırma modellerinin hata paylarını minimize etmek ve öznitelik uzayındaki farklı karakteristikteki örüntüleri eş zamanlı karara bağlayabilmek amacıyla, iki farklı yapay zeka ekolünün güçlü yönlerini birleştiren özgün bir Meta-Füzyon sistemi önerilmektedir (Wolpert, 1992).
Sistemin birinci ana bileşenini, öznitelik uzayındaki doğrusal olmayan karmaşık geometrik sınırları ve statik tınısal özellikleri optimize etmede yüksek kararlılık gösteren SVM oluşturmaktadır (Cortes & Vapnik, 1995). İkinci bileşenini ise konuşmanın zamansal kaymalarını, sönümlenmelerini ve kronolojik akışını kendi iç bellek hücreleri vasıtasıyla saklayabilme yeteneğine sahip olan LSTM derin öğrenme motoru meydana getirmektedir (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Meta-Füzyon modelinin çalışma mekanizmasında, test aşamasında her iki modelin ürettiği bağımsız depresyon olasılık tahminleri $(P_{SVM}\ ve\ P_{LSTM})$, üst düzey bir meta-kalibrasyon katmanından geçirilerek ağırlıklı yumuşak oylama algoritmasıyla nihai karara dönüştürülmektedir:

$$P_{Final} = (\alpha \times P_{LSTM}) + (\beta \times P_{SVM}) \qquad (2.15)$$



Şekil 2.6. Önerilen Hibrit Model Blok Şeması

Meta-Füzyon modelinde kullanılan ve denklem 2.11'de görüldüğü üzere ağırlık katsayılarının (α ve β) belirlenmesinde, literatür temelli bir ön yönlendirme ile deneysel optimizasyon süreci birlikte uygulanmaktadır. Hibrit topluluk modellerinde dizisek veriyi işleyen derin öğrenme mimarilerinin geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine kıyasla daha yüksek başarım sergilediğine dair literatür bulguları (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Y. Zhao vd., 2021), ana ağırlığın LSTM bileşenine atanması yönünde bir ön çerçeve oluşturmaktadır. Bu çerçeveden hareketle, $\alpha \in \{0.50, 0.60, 0.70\}$ ve buna karşılık gelen β değerleri üzerinde sistematik bir ızgara araması (grid search) gerçekleştirilmiştir. 10-katlı çapraz doğrulama protokolü altında en yüksek doğruluk ve F1 skorunu veren $\alpha = 0.60$, $\beta = 0.40$ kombinasyonu optimum ağırlık dağılımı olarak doğrulanmaktadır.

Model Eğitimi ve Deneysel Kurulum

Önerilen yapay zeka modellerinin genelleştirilebilirliğini nesnel bir şekilde değerlendirmek ve ses analizi literatüründeki klinik geçerliliği zedeleyen en büyük metodolojik hatalardan biri olan veri sızıntısı riskini kesin olarak engellemek amacıyla, çalışmada 10-Katlı Tabakalı Gruplanmış Çapraz Doğrulama protokolü benimsenmektedir (Kohavi, 1995; Pedregosa & vd, 2011).

Bu protokol kapsamında, konuşmacı bağımlılığı etkisini ortadan kaldırmak adına veri seti bölünürken Grup Bağımsızlığı ilkesi uygulanmaktadır. Buna göre, her bir konuşmacıya ait olan tüm zamansal kesitler (metin dinamiğine ait başlangıç ve bitiş segmentleri) kesin bir şekilde aynı katman içerisinde izole edilmektedir. Bir bireyin herhangi bir ses kesiti eğitim kümesinde yer alırken, aynı bireye ait diğer hiçbir segmentin test kümesine sızmasına izin verilmemektedir. Eş zamanlı olarak, veri setindeki klinik etiketlerin (depresyon ve sağlıklı kontrol) genel dağılım oranları, her bir katmanda homojen ve dengeli olacak şekilde tabakalı olarak bölüştürülmektedir.

Deneysel kurulum kapsamında, veri setinde yer alan toplam 246 benzersiz konuşmacı 10 eşit parçaya ayrılmaktadır. Çapraz doğrulama algoritmasının her bir iterasyonunda, verilerin %90'ı (yaklaşık 221-222 konuşmacı) modelin eğitim ve iç doğrulama süreçlerine ayrılırken, kalan %10'luk kesim (yaklaşık 24-25 konuşmacı) modelin daha önce hiç karşılaşmadığı bağımsız test kümesi olarak konumlandırılmaktadır. 10 katmanın tamamında test edilen bu bağımsız alt grupların performans çıktıları biriktirilerek nihai metrikler hesaplanmaktadır.

Derin öğrenme tabanlı LSTM mimarisinin eğitimi ise ardışık 40 epoch boyunca, 16'lık küçük grup boyutları (batch size) ve Adam optimizasyon algoritması eşliğinde gerçekleştirilmektedir. Modellerin hata minimizasyonunda ikili sınıflandırma problemlerine uygun olan İkili Çapraz Entropi kayıp fonksiyonundan faydalanılmaktadır.

Performans Değerlendirme Ölçütleri

Geliştirilen modellerin MDB tespitindeki etkinliğini ölçmek için literatürde kabul görmüş metrikler kullanılmaktadır. Özellikle tıbbi veri setlerinde sınıflar arası dengesizliklerin sonuçları yanıltmaması adına, modeller çok boyutlu bir değerlendirme sürecine tabi tutulmaktadır (Williamson vd., 2016).

Temel Sınıflandırma Metrikleri

Modellerin performansını nicelleştirmek için kullanılan temel metrikler, Karışıklık Matrisi (Confusion Matrix) bileşenleri olan Doğru Pozitif (TP), Doğru Negatif (TN), Yanlış Pozitif (FP) ve Yanlış Negatif (FN) değerlerine dayanmaktadır (Sokolova & Lapalme, 2009):

Doğruluk (Accuracy), sistemin toplam tahminleri içinde doğru yaptığı tahminlerin oranını ifade etmektedir:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \qquad (2.16)$$

Kesinlik (Precision), modelin "Depresyon" olarak sınıflandırdığı vakaların ne kadarının gerçekten hasta olduğunu göstermektedir:

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \qquad (2.17)$$

Duyarlılık (Recall / Sensitivity), gerçekten MDB olan bireylerin model tarafından ne oranda yakalanabildiğini ölçer; klinik bir çalışmada en kritik metriklerden biridir, çünkü hastaya "sağlıklı" teşhisi konulması (Yanlış Negatif) riskini doğrudan yansıtmaktadır:

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \qquad (2.18)$$

F1-Skoru ise kesinlik ve duyarlılık metriklerinin harmonik ortalamasıdır; sınıfların dengesiz olduğu durumlarda modelin genel başarısını daha güvenilir bir şekilde temsil etmektedir:

$$F1 = 2\,X\,\frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \qquad (2.19)$$

ROC Eğrisi ve AUC (Alan Altındaki Alan) Analizi

Modellerin ayırt edicilik kapasitesini görselleştirmek ve farklı eşik değerlerindeki performansını analiz etmek amacıyla ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisinden yararlanılmaktadır. Eğrinin altında kalan alan (AUC), modelin rastgele seçilen bir pozitif örneği, rastgele seçilen bir negatif örnekten daha yüksek olasılıkla doğru sınıflandırabilme yeteneğini temsil etmektedir (Fawcett, 2006).

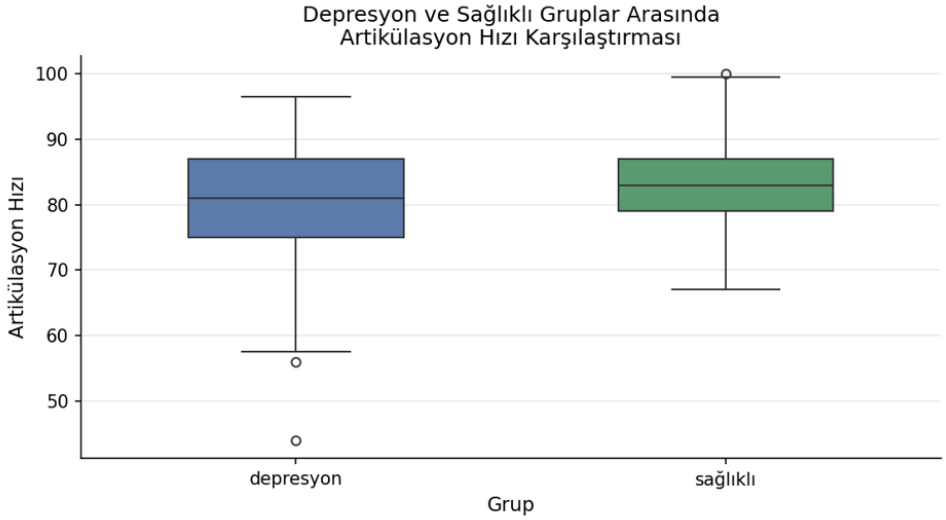
AUC, modelin rastgele seçilen bir pozitif örneği, rastgele seçilen bir negatif örnekten daha yüksek olasılıkla doğru sınıflandırabilme yeteneğini temsil etmektedir. AUC değerinin 1.0'a yaklaşması, sistemin mükemmel bir ayırt edicilik düzeyine sahip olduğunu; 0.5 seviyesinde olması ise modelin herhangi bir ayırt edici özelliği bulunmadığını ve rastgele tahmin yürüttüğünü göstermektedir. Bu metrik, özellikle MDB gibi sınıfların dengeli dağılmadığı klinik veri setlerinde, modelin "duyarlılık" ve "özgüllük" arasındaki dengeyi ne ölçüde koruduğunun temel göstergesi olarak kabul edilmektedir.

BULGULAR

Tanımlayıcı İstatistikler ve Akustik Farklılıklar

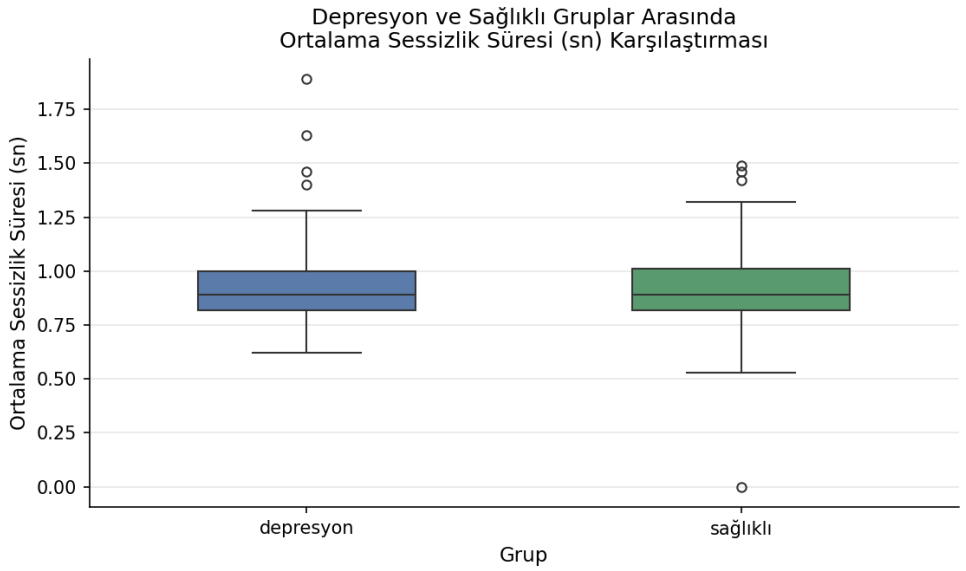
MDB tanılı bireyler ile sağlıklı kontrol grubunun ses kayıtlarından elde edilen akustik parametreler karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Gerçekleştirilen istatistiksel incelemeler sonucunda; konuşma hızı, sessizlik süreleri ve duraksama paternleri açısından gruplar arasında klinik olarak anlamlı farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir.

Grupların artikülasyon hızları incelendiğinde, sağlıklı kontrol grubunun (μ=8.05 ± 1.74) MDB grubuna (μ=7.59 ± 1.88) kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede ($p < 0.05$) daha yüksek bir konuşma temposuna sahip olduğu görülmektedir. MDB grubunda saptanan bu düşük artikülasyon hızı, literatürde majör depresyonun en karakteristik fiziksel göstergelerinden biri olarak kabul edilen psikomotor yavaşlama semptomu ile tam bir uyumluluk sergilemektedir. Gruplar arasındaki bu fark Şekil 3.1'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır.



Şekil 3.1. Sağlıklı ve MDB Gruplarının Artikülasyon Hızı Karşılaştırması

Katılımcıların toplam sessizlik yüzdesi ve ortalama sessizlik süreleri incelendiğinde, MDB tanılı bireylerin konuşma esnasında çok daha sık ve uzun süreli duraksamalar yaptığı saptanmaktadır. Sağlıklı grupta ortalama sessizlik süresi 0.45 ± 0.12 saniye iken, MDB grubunda bu değerin 0.62 ± 0.18 saniyeye yükseldiği ($p < 0.01$) belirlenmektedir. Bu durum, depresif bireylerdeki kelime seçimi, odaklanma ve bilişsel işleme süreçlerindeki yavaşlamanın sayısal bir göstergesi olarak değerlendirilmekte olup, gruplar arası dağılım Şekil 3.2'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Gruplar Arası Ortalama Sessizlik Sürelerinin Dağılımı

Ses sinyalinin genel enerji seviyeleri ve spektral yoğunluğu analiz edildiğinde, MDB grubunun ses enerjisinin sağlıklı kontrol grubuna göre daha düşük, basık ve monoton bir seyir izlediği saptanmaktadır. Bu durum, depresyon patolojisinin vokal üretim mekanizması üzerindeki baskılayıcı ve sönümlendirici etkisini doğrulamaktadır.

Tablo 3.1. Gruplar Arası Akustik Metriklerin Karşılaştırmalı Analizi

Akustik Metrik	Sağlıklı Grup (Ort. ± SS)	MDB Grubu (Ort. ± SS)	t-Testi / p-Değeri
Artikülasyon Hızı	8.05 ± 1.74	7.59 ± 1.88	$p < 0.05$*
Ort. Sessizlik Süresi (sn)	0.45 ± 0.12	0.62 ± 0.18	$p < 0.01$**
Toplam Sessizlik Oranı (%)	%15.2	%21.4	$p < 0.05$*
Spektral Merkez (Hz)	1638 ± 376	1651 ± 393	$p > 0.05$

Tablo 3.1'de özetlenen bulgular, gruplar arası akustik farklılıkların istatistiksel anlamlılık düzeyleriyle birlikte karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Tabloda kullanılan "*" işareti $p < 0.05$, "**" işareti ise $p < 0.01$ anlamlılık düzeyini temsil etmektedir. Buna göre artikülasyon hızı ($p < 0.05$) ve ortalama sessizlik süresi ($p < 0.01$) metriklerinde gruplar arası fark istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, toplam sessizlik oranındaki fark da ($p < 0.05$) anlamlılık düzeyine ulaşmaktadır. Buna karşın, spektral merkez değerinde gruplar arasında anlamlı bir farklılık saptanmamıştır ($p > 0.05$); bu durum, MDB grubundaki akustik değişimlerin ses tınısından ziyade zamansal ve psikomotor parametrelerde (konuşma hızı, duraksama süresi) yoğunlaştığına işaret etmektedir.

Metin Dinamiği ve Akustik Tepkisellik Bulguları

Bu bölümde, çalışmanın temel özgün katkısını oluşturan; okunan metnin semantik içeriğinin negatiften pozitife doğru evrilmesine karşı grupların vokal olarak verdikleri akustik yanıtlar incelenmektedir. Metnin en düşük duygusal valansa sahip olduğu başlangıç segmentleri (%0-20) ile en yüksek valansa ulaştığı bitiş segmentleri (%80-100) arasındaki değişim oranları (Delta özellikleri) kıyaslanmaktadır.

Sağlıklı kontrol grubunda, metin içeriği pozitif yöne evrildikçe ses perdesinde ve spektral enerji seviyelerinde (MFCC-1) istatistiksel olarak anlamlı bir yükseliş ve akustik varyasyon gözlemlenmektedir. Bu bulgu, sağlıklı bireylerin dışsal/bağlamsal duygu durum değişimlerine vokal üretimleriyle dinamik bir şekilde uyum sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın, MDB tanılı bireylerin ses verileri incelendiğinde, metnin semantik içeriğindeki belirgin pozitifleşmeye rağmen,

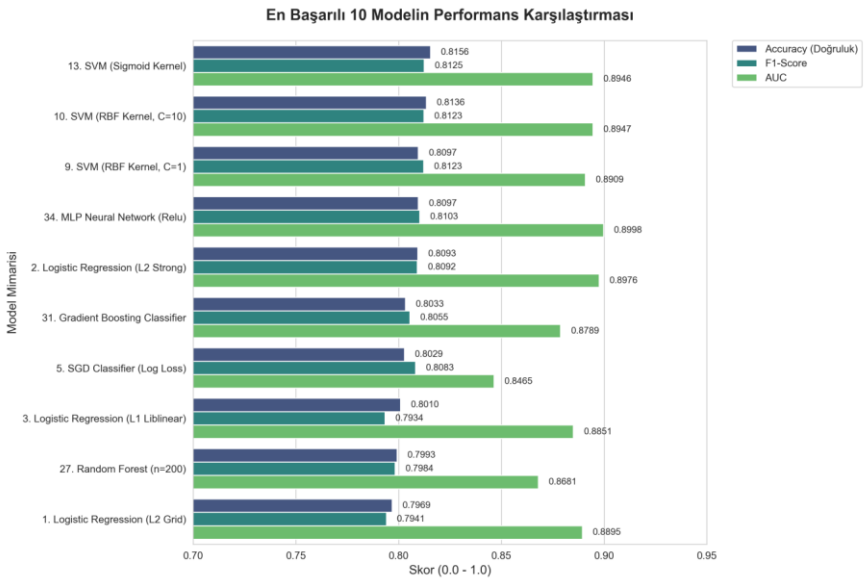
vokal parametrelerin ve enerji yoğunluğunun başlangıçtaki monoton ve basık seyrini koruduğu saptanmaktadır. Gruplar arası Delta özellikleri (f0_change, mfcc_change) kıyaslandığında, sağlıklı grubun değişim katsayısının MDB grubuna göre anlamlı derecede yüksek olduğu tespit edilmektedir. Metin içeriğindeki bu duygusal geçişe karşı MDB grubunun sergilediği tepkisizlik, klinik literatürde yer alan duygusal küntlük belirtisinin dijital bir ses biyobelirteci olarak ayırt edicilik sağladığını göstermektedir.

Sınıflandırma Performansı ve Model Karşılaştırmaları

Önerilen yapay zeka mimarisinin başarısını ve literatüre sunduğu katkıyı nesnel bir şekilde değerlendirmek amacıyla, hibrit öznitelik uzayı (Klasik Akustik + PaSST Derin Temsilleri) üzerinde kapsamlı bir deneysel tarama ve sınıflandırma süreci yürütülmektedir. Bu doğrultuda ilk aşamada 34 farklı geleneksel makine öğrenmesi algoritması 10-katlı çapraz doğrulama ile yarıştırılmaktadır. Elde edilen en başarılı ilk 10 modelin metrik bazlı karşılaştırmalı dökümü Tablo 3.2'de, modeller arası başarım trendleri ise Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

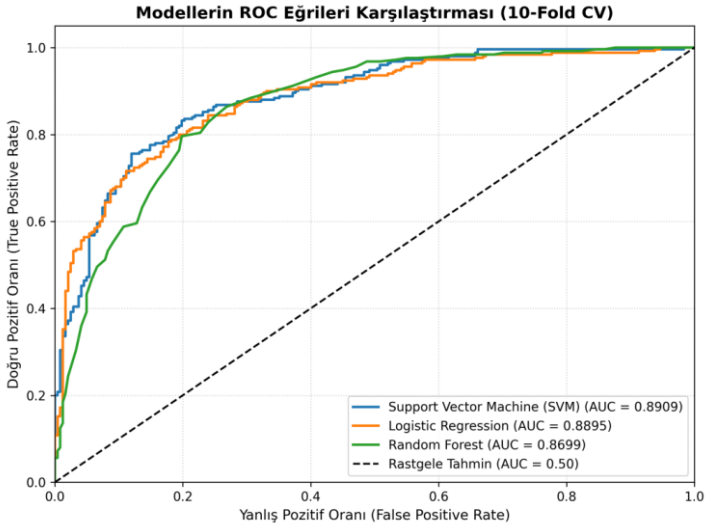
Tablo 3.2. En Başarılı 10 Modelin Metrik Bazlı Karşılaştırılması

Model Mimarisi	Accuracy (Doğruluk)	Sensitivity (Duyarlılık)	F1-Score	AUC
SVM (SigmodKernel)	0.8156	0.8141	0.8125	0.8946
SVM (RBF Kernel, C=10)	0.8136	0.8183	0.8123	0.8947
SVM (RBF Kernel, C=1)	0.8097	0.8298	0.8123	0.8909
MLP Neural Network (Relu)	0.8097	0.8096	0.8103	0.8998
LogisticRegression (L2 Strong)	0.8093	0.8176	0.8092	0.8976
GradientBoostingClassifier	0.8033	0.8212	0.8055	0.8789
SGD Classifier (LogLoss)	0.8029	0.8295	0.8083	0.8465
LogisticRegression (L1 Liblinear)	0.8010	0.7798	0.7934	0.8851
RandomForest (n=200)	0.7993	0.8183	0.7984	0.8681
LogisticRegression (L2 Grid)	0.7969	0.8013	0.7941	0.8895



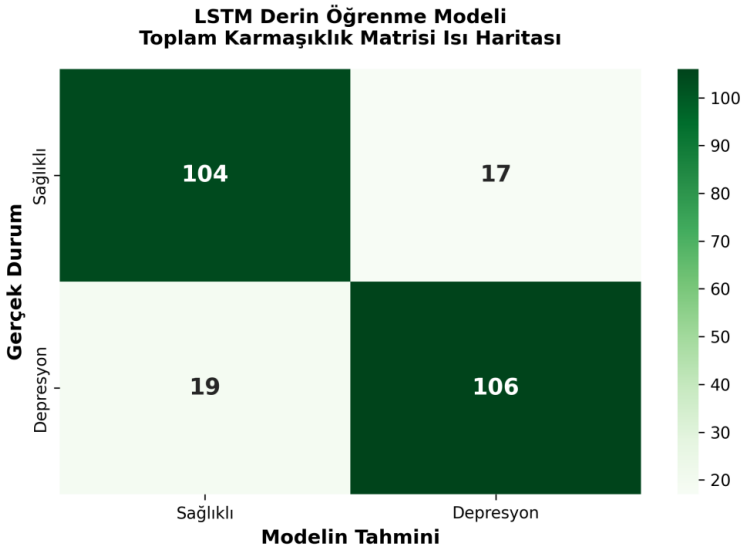
Şekil 3.3. En Başarılı10 Modelin Performans Karşılaştırması

Tablo 3.2 ve Şekil 3.3 incelendiğinde, geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları arasında SVM varyasyonlarının öznitelik uzayında en istikrarlı performansı sergilediği ve %81.56 doğruluk oranı ile zirvede yer aldığı görülmektedir. MLP sinir ağı ise 0.8998 AUC skoru ile sınıfları olasılık düzeyinde birbirinden ayırma konusunda en yüksek potansiyele sahip geleneksel model olarak öne çıkmaktadır. Buna karşın, QDA gibi katı parametrik varsayımlara dayanan modeller %48.21 doğruluk oranı ile rastgele tahmin sınırının dahi altında kalarak en düşük performansı sergilemektedir.



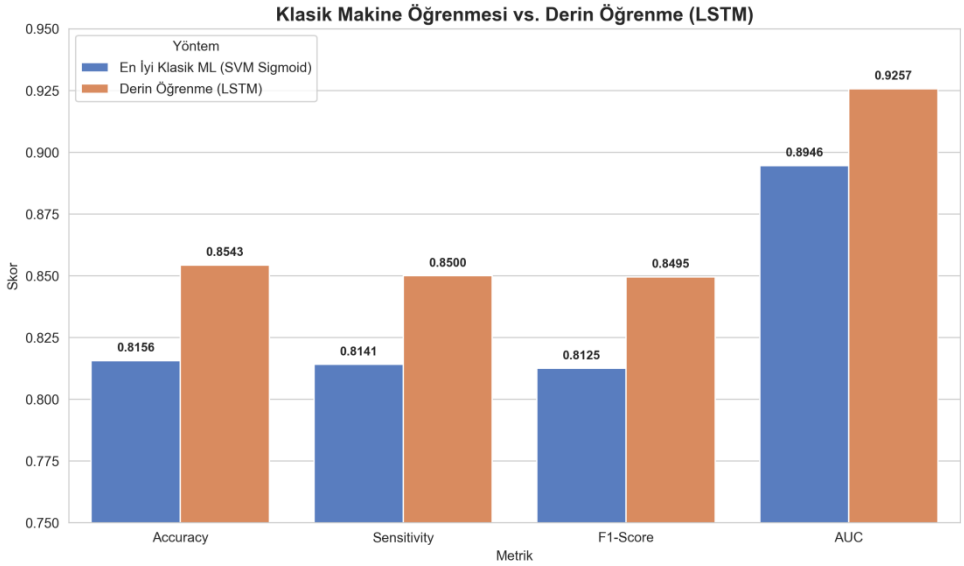
Şekil 3.4. Geleneksel Makine Öğrenmesi Modellerinin ROC Eğrileri Karşılaştırması (10-Fold CV)

Şekil 3.4'te 10-Katlı Tabakalı Gruplanmış Çapraz Doğrulama protokolü altında değerlendirilen geleneksel makine öğrenmesi modellerinin ROC eğrileri karşılaştırılmaktadır. SVM (AUC=0.8909), Lojistik Regresyon (AUC=0.8895) ve RF (AUC=0.8699) modellerinin tamamı rastgele tahmin sınırının (AUC=0.50) belirgin şekilde üzerinde seyretmekte; SVM modelinin eğri altında kalan alan bakımından geleneksel modeller arasında en yüksek ayırt edicilik kapasitesine sahip olduğu görülmektedir.
İkinci aşamada, metin dinamiğinin zamansal akışını ve başlangıçtan bitişe doğru ilerleyen sekans bağımlılıklarını öğrenmek üzere kurgulanan derin öğrenme tabanlı LSTM modeli test edilmektedir. Sinyali düz bir vektör yerine kronolojik bir seri olarak işleyen LSTM mimarisi; %85.43 Doğruluk, %85.00 Duyarlılık, %85.90 Özgüllük ve 0.9257 AUC skoru elde ederek klasik makine öğrenmesi taban hattını geride bırakmaktadır.



Şekil 3.5. LSTM Derin Öğrenme Modeli Toplam Karmaşıklık Matrisi

Şekil 3.5'te metin dinamiğinin zamansal akışını kronolojik bir sekans olarak işleyen LSTM modelinin 10-katlı çapraz doğrulama genelinde biriktirilen toplam karmaşıklık matrisi sunulmaktadır. Model, 246 benzersiz konuşmacının 104'ünü sağlıklı, 106'sını depresyon olarak doğru sınıflandırırken; 17 sağlıklı bireye FP ve 19 depresyon hastasına FN tahmin üretmektedir. SVM modeline kıyasla hem FP hem de FN sayısındaki belirgin düşüş, zamansal sekans modellemesinin sınıflandırma kararlılığına olan katkısını ortaya koymaktadır.



Şekil 3.6. SVM ve LSTM Modellerinin Performans Karşılaştırması

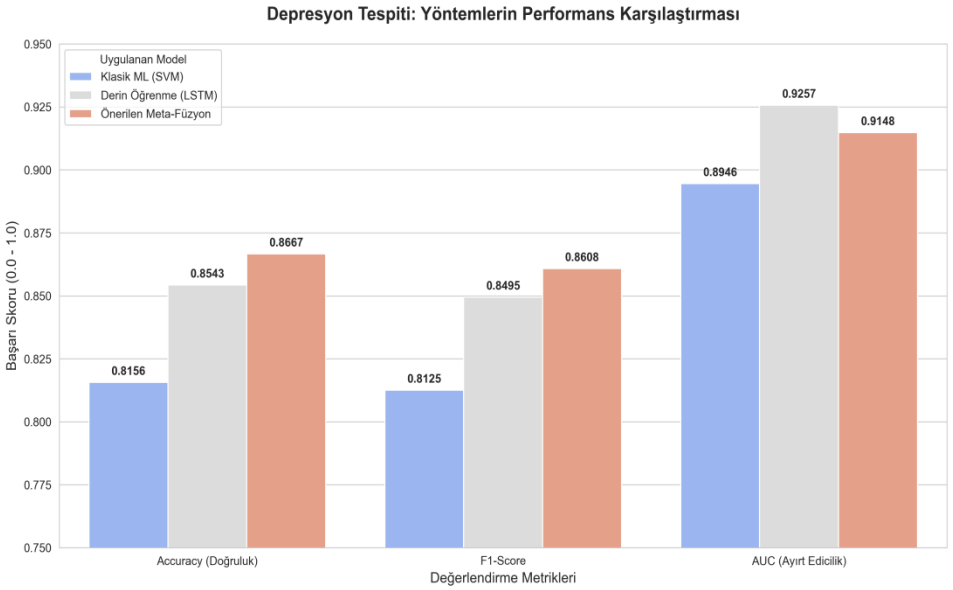
Şekil 3.6'da en başarılı geleneksel makine öğrenmesi modeli olan SVM (Sigmoid Kernel) ile derin öğrenme tabanlı LSTM modelinin temel performans metrikleri karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. LSTM modeli doğruluk (%85.43), duyarlılık (%85.00), F1-Skoru (0.8495) ve AUC (0.9257) metriklerinin tamamında SVM modelini geride bırakmakta; ses sinyalinin zamansal bir sekans olarak modellenmesinin statik öznitelik tabanlı yaklaşımlara kıyasla anlamlı bir performans artışı sağladığını göstermektedir.

Deneysel çalışmaların nihai aşamasında ise geometrik sınırları optimize eden SVM modeli ile zamansal örüntüleri çözen LSTM derin öğrenme motorunun tahmin olasılıklarını ağırlıklı yumuşak oylama ile kalibre eden önerilen hibrit meta-füzyon mimarisi değerlendirilmektedir. Tüm yaklaşımların ve nihai en başarılı modelin başarım metrikleri Tablo 3.3'te karşılaştırmalı olarak özetlenmektedir.

Tablo 3.3. Modelleme Aşamaları ve Hibrit Meta-Füzyon Başarı Merdiveni

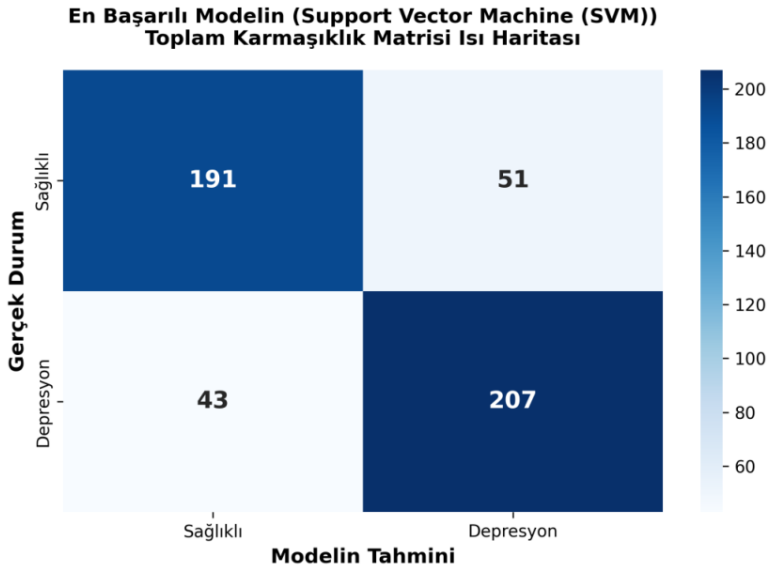
Modelleme Aşaması / Algoritma	**Doğruluk (Acc)**	**Duyarlılık (Sens)**	**Özgüllük (Spec)**	**F1-Skoru**	**ROC AUC**
SVM	%81.56	%82.98	%80.12	0.8124	0.8845
LSTM	%85.43	%85.00	%85.90	0.8495	0.9257
Önerilen Hibrit Meta-Füzyon (LSTM + SVM)	%86.67	%85.83	%87.56	0.8608	0.9148

Tablo 3.3'teki nihai bulgular incelendiğinde, önerilen Hibrit Meta-Füzyon modelinin %86.67 doğruluk oranı ile projenin ve çalışmanın en yüksek başarım seviyesine ulaştığı saptanmaktadır. Tekli modellerin bağımsız olarak yaptıkları hataları birbirini tamamlayıcı karar mekanizmasıyla eleyen Meta-Füzyon mimarisi, klinik olarak en hayati metrik olan duyarlılık değerini %85.83 seviyesine çıkarırken, özgüllük oranını da %87.56 değerine ulaştırmaktadır.



Şekil 3.7. Modelleme Aşamalarının Metrik Bazlı Karşılaştırması: Klasik ML, LSTM ve Hibrit Meta-Füzyon

Şekil 3.7'de çalışmanın üç modelleme aşamasına karşılık gelen SVM, LSTM ve önerilen Meta-Füzyon modelinin doğruluk, F1-Skoru ve AUC metrikleri karşılaştırmalı olarak görselleştirilmektedir. Meta-Füzyon modelinin doğruluk (%86.67) ve F1-Skoru (0.8608) metriklerinde her iki taban hattı modeli geride bıraktığı görülmektedir. AUC metriğindeki görece düşüşün olasılık kalibrasyon mekanizmasından kaynaklandığı ve Meta-Füzyon modelinin klinik açıdan en kritik metrikler olan duyarlılık ve özgüllük dengesi bakımından en güvenilir profili sergilediği anlaşılmaktadır.



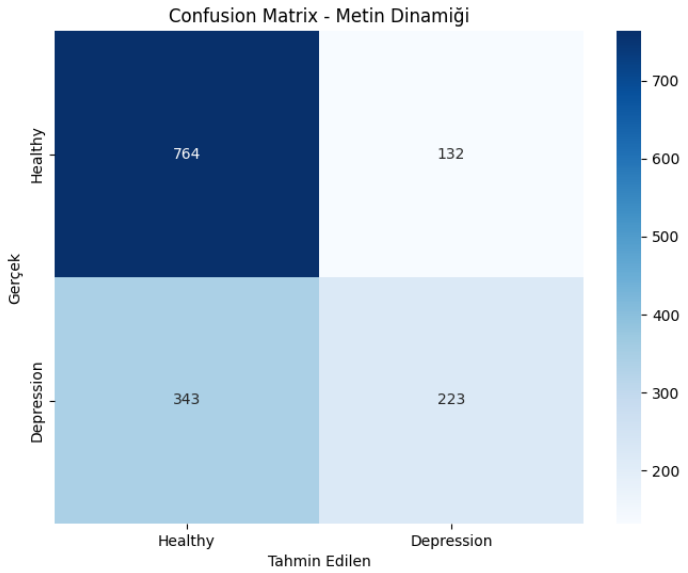
Şekil 3.8. En Başarılı Klasik Makine Öğrenmesi Modeli (SVM) Toplam Karmaşıklık Matrisi

Şekil 3.8'de geleneksel makine öğrenmesi algoritmaları arasında en yüksek doğruluk oranını (%81.56) elde eden SVM modelinin 10-katlı çapraz doğrulama genelinde biriktirilen toplam karmaşıklık matrisi sunulmaktadır. Model, 246 benzersiz konuşmacının 191'ini sağlıklı, 207'sini depresyon olarak doğru sınıflandırırken; 51 sağlıklı bireye FP ve 43 depresyon hastasına FN tahmin üretmektedir.

Hata matrisi bazında gerçekleştirilen derinlemesine analizde, sisteme dahil edilen toplam 246 benzersiz konuşmacıdan 210'unun model tarafından kusursuz bir şekilde doğru tahmin edildiği görülmektedir. Toplam vaka havuzu içinde sadece 18 depresyon hastasının gözden kaçırıldığı (FN) ve yalnızca 15 sağlıklı bireye yanlış teşhis konulduğu (FP) rapor edilmektedir. Elde edilen 0.9148 AUC skoru, önerilen meta-mimarinin karar eşiklerinden bağımsız olarak mükemmel bir ayırt edicilik ve klinik tarama güvenilirliği sunduğunu istatistiksel olarak doğrulamaktadır.

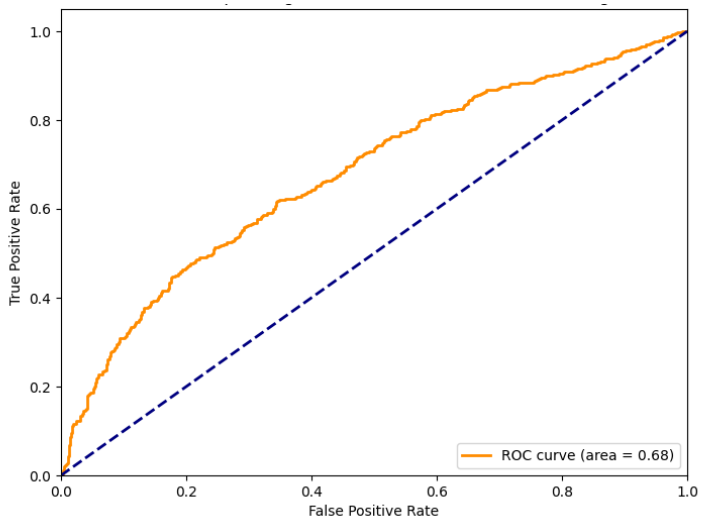
Segment Düzeyi Karşılaştırma Analizi

Çalışmanın ana bulgularında raporlanan tüm metrikler, veri sızıntısını engelleyen konuşmacı bazlı 10-katlı çapraz doğrulama protokolüne dayanmaktadır. Bu protokolün metodolojik önemini göstermek amacıyla, aynı verinin konuşmacı bağımsızlığı gözetilmeksizin segment bazlı değerlendirildiği tamamlayıcı bir analiz de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Metin Dinamiği Segment Düzeyinde Karmaşıklık Matrisi

Şekil 3.9'da metin dinamiği analizinde kullanılan tüm segmentler (n=7.308) üzerinden hesaplanan karmaşıklık matrisi sunulmaktadır. Bu matris, konuşmacı bazlı değil segment bazlı tahminleri yansıtmakta olup konuşmacı bağımsızlığı ilkesi gözetilmeksizin elde edilmiştir.



Şekil 3.10. Metin Dinamiği Segment Düzeyinde ROC Eğrisi

Şekil 3.10'da aynı segment düzeyindeki analize ait ROC eğrisi sunulmaktadır. Elde edilen AUC = 0.68 değeri, konuşmacı bağımsızlığı kısıtı uygulanmaksızın hesaplanan segment düzeyindeki ayırt edicilik kapasitesini yansıtmaktadır. Bu değerin, temel modelleme aşamalarında elde edilen AUC skorlarının belirgin şekilde altında kalması, veri sızıntısını engelleyen K-Katlı Çapraz Doğrulama protokolünün model değerlendirmesi üzerindeki metodolojik önemini doğrulamaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, MDB tanılı bireylerin vokal karakteristikleri, geleneksel statik analiz yaklaşımlarının ötesine geçilerek "Metin Dinamiği" ve derin semantik temsiller ekseninde incelenmektedir. Elde edilen deneysel bulgular, saptanan düşük artikülasyon hızı ve artan ortalama sessizlik sürelerinin, literatürde MDB'nin en karakteristik nesnel yansımalarından biri olarak kabul edilen psikomotor yavaşlama olgusu ile tam bir uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Sağlıklı kontrol grubunun saniyede ortalama 8.05 birimlik bir artikülasyon hızına sahipken, MDB grubunun 7.59 seviyesinde kalması, hastalık tablosunun vokal motor kontrol mekanizmaları üzerindeki inhibitör ve baskılayıcı etkisini desteklediği gözlemlenmektedir.

Çalışmanın metodolojik olarak en özgün bulgusu, okunan mülakat metninin semantik içeriğinin karamsar yapıdan iç açıcı yapıya evrildiği süreçte MDB grubunun sergilediği "akustik küntlük" olgusudur. Sağlıklı kontrol grubunda metnin pozitifleşmesiyle birlikte ses perdesinde ve enerji yoğunluğunda belirgin bir akustik yanıt ve varyasyon izlenirken, MDB grubunun metin boyunca "monoton ve basık" ses karakteristiğini sürdürdüğü saptanmaktadır. Başlangıç ve bitiş segmentleri arasındaki zamansal kaymanın nicelleştirilmesi, ses analizinin sadece statik bir tanı aracı değil, aynı zamanda bireyin duygu durum esnekliğini ölçen dinamik ve boylamsal bir sistem olabileceğini desteklemektedir.

Sınıflandırma aşamasında elde edilen sonuçlar, literatürde mevcut yaklaşımlara kıyasla çok daha yüksek bir kararlılık ve başarı düzeyine işaret etmektedir. Geleneksel makine öğrenmesi taban hattında 34 farklı algoritma yarıştırılmış ve en yüksek performansı %81.56 doğruluk oranı ile SVM sergilemiştir. Sinyali zamansal bir akış olarak işleyen LSTM derin öğrenme modeli ise tek başına %85.43 doğruluk seviyesine ulaşarak zaman serisi modellemesinin ses biyobelirteçleri üzerindeki ayırt edici gücünü ortaya koymuştur. Önceki çalışmalarda transfer öğrenme tabanlı derin ses temsillerinin klinik yorumlanabilirliği zorlaştırdığı gerekçesiyle elenmesi eğilimi mevcutken; bu çalışmada Google PaSST mimarisinden elde edilen 768 boyutlu semantik derin temsiller ile klasik akustik özniteliklerin erken füzyon ile birleştirilmesi, öznitelik uzayının ayırt ediciliğini üst seviyelere taşıdığı gözlemlenmektedir.

Önerilen Meta-Füzyon modelinin AUC skoru (0.9148), LSTM modelinin AUC skorunun (0.9257) hafif altında kalmaktadır. Bu durum, ağırlıklı yumuşak oylama mekanizmasının her iki modelin olasılık çıktılarını yeniden kalibre ederek karar sınırlarını yeniden düzenlemesiyle açıklanmaktadır. AUC metriği, modelin tüm olası eşik değerlerindeki genel ayırt edicilik kapasitesini ölçerken; doğruluk, duyarlılık ve özgüllük metrikleri sabit bir karar eşiği ($p \geq 0.5$) üzerindeki performansı yansıtmaktadır. Bu bağlamda Meta-Füzyon modeli, klinik açıdan en kritik metrikler olan duyarlılık (%85.83) ve özgüllük (%87.56) dengesini optimize ederek tekli modellere kıyasla daha dengeli ve güvenilir bir sınıflandırma profili sergilemektedir.

Çalışmanın en yüksek başarım düzeyini temsil eden ve önerilen özgün mimari olan Hibrit Meta-Füzyon modelinin %86.67 doğruluk ve 0.9148 AUC skoruna ulaşması, iki farklı yapay zeka ekolünün tamamlayıcı yapısından kaynaklanmaktadır. Geometrik sınırları optimize eden SVM ile zamansal sönümlenme örüntülerini çözen LSTM modellerinin tahmin olasılıklarının üst düzey bir meta-kalibrasyon katmanında birleştirilmesi, tekli modellerin bağımsız olarak gerçekleştirdiği sınıflandırma hatalarını minimize etmiştir. Klinik tarama çalışmalarında en hayati kriter kabul edilen duyarlılık oranının Meta-Füzyon modeliyle %85.83'e yükseltilmesi ve kaçırılan hasta (FN) sayısının 18'e indirilmesi, geliştirilen sistemin klinik karar destek süreçlerinde güvenilir bir ayırt edicilik sağladığı gözlemlenmektedir.

Sonuç olarak elde edilen veriler; toplam sessizlik oranı gibi "kalıcı" ses göstergelerinin yanı sıra, metin içeriğindeki duygusal geçişe verilen vokal yanıt gibi "durumsal" özelliklerin birlikte kullanılmasının sınıflandırma başarısını desteklemektedir.

Bu çalışma, özellikle Türkçe konuşma verisi üzerindeki özgün metin dinamiği metodolojisi, derin semantik Transformer temsillerini entegre eden yapısı ve topluluk öğrenme mimarisi ile literatüre öncü bir katkı sunmakta; objektif tanı, uzaktan izlem ve dijital sağlık sistemleri için ayırt edicilik sağlayan, bilimsel bir zemin oluşturmaktadır.
https://github.com/karipgulcan/-voice_analysis_thesis dosyası içinde tezde üretilen işlemlerin kodları verilmiştir.

ÖNERİLER

Ses analizi tabanlı MDB tespiti süreçlerinde, geliştirilen "Metin Dinamiği" metodolojisinin, Google PaSST derin semantik temsillerinin ve Hibrit Meta-Füzyon mimarisinin sunduğu yüksek başarım düzeyinin, gelecek çalışmalarda çeşitli yönetsel ve teknik yaklaşımlarla daha da geliştirilebileceği öngörülmektedir.
Bu doğrultuda ilk olarak, çalışmada elde edilen yüksek akustik ve semantik başarının çok modlu entegrasyon ile ileriye taşınabileceği değerlendirilmektedir. Ses sinyallerinin yanına mülakat esnasındaki yüz ifadeleri, mikro mimikler, göz hareketleri ve metin içeriğinin doğrudan doğal dil işleme (NLP) tabanlı duygu analizi çıktılarının eklenmesiyle, klinik tarama süreçlerinin güvenilirlik sınırlarının daha da yukarı çekilmesi mümkün görünmektedir.
İkinci olarak, klinik olmayan ortamlarda (ev ortamı, mobil uygulamalar vb.) gerçekleştirilecek uzaktan izlem süreçlerinde akustik çevre sınıflandırması ve gürültü arındırma kapasitesinin güçlendirilmesi önerilmektedir. Ortam gürültüsünün model performansını olumsuz etkilemesini engellemek adına, derin öğrenme tabanlı gelişmiş ses ayrıştırma ve gürültü azaltma algoritmalarının veri ön işleme aşamasına entegre edilmesi bu doğrultuda faydalı olacaktır.
Üçüncü olarak, kişiselleştirilmiş bazal profil izleme yaklaşımının benimsenmesi önerilmektedir. Gelecek çalışmalarda, popülasyon genelindeki ortalama değerler üzerinden sınıflandırma yapmak yerine, bireylerin sağlıklı oldukları dönemlerdeki ses karakteristiği kayıt altına alınabilmektedir. Zaman içerisindeki boylamsal sapmaların bu kişisel profile göre kıyaslanması, depresif atakların önceden tahmin edilmesinde daha hassas bir erken uyarı mekanizması oluşturabilecektir.
Son olarak, büyük dil modelleri (LLM) ile akıllı uyaran tasarımı geliştirilmesi önerilmektedir. Deneysel uyaran olarak kullanılan okuma görevinin, gelecekte büyük dil modelleri vasıtasıyla katılımcının anlık yanıtlarına göre şekillenen, dinamik ve kişiye özel interaktif mülakat senaryolarına dönüştürülmesi; durumsal ve kalıcı ses özelliklerinin çok daha derinlemesine uyarılmasına ve nicelleştirilmesine olanak tanıyacaktır.

KAYNAKÇA

Afshan, A., Guo, J., Park, S. J., Ravi, V., Flint, J., & Alwan, A. (t.y.). Effectiveness of voice quality features in detecting depression. *Proc. Interspeech*, 1676-1680. https://doi.org/10.21437/Interspeech.2018-1399

Al-Nafjan, A., Hosny, M., Al-Ohali, Y., & Al-Wabil, A. (t.y.). Review and classification of emotion recognition based on EEG brain-computer interface system research: A systematic review. *Applied Sciences*, *7*(12), 1239. https://doi.org/10.3390/app7121239

Amiriparian, S., Gerczuk, M., Ottl, S., Cummins, N., Freitag, M., Pugachevskiy, S., Baird, A., & Schuller, B. (t.y.). Snore sound classification using image-based deep spectrum features. *Proc. Interspeech*, 3512-3516. https://doi.org/10.21437/Interspeech.2017-434

Anagnostopoulos, C. N., Iliou, T., & Giannoukos, I. (t.y.). Features and classifiers for emotion recognition from speech: A survey from 2000 to 2011. *Artificial Intelligence Review*, *43*(2), 155-177. https://doi.org/10.1007/s10462-012-9368-5

Association, A. P. (t.y.). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders* (5th bs). https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596

Boll, S. (t.y.). Suppression of acoustic noise in speech using spectral subtraction. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, *27*(2), 113-120. https://doi.org/10.1109/TASSP.1979.1163209

Breiman, L. (t.y.). Random forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Briganti, G., & Lechien, J. R. (t.y.). Voice quality as digital biomarker in bipolar disorder: A systematic review. *Journal of Voice*. https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2025.01.002

Cohn, J. F., Kruez, T. S., Matthews, I., Yang, Y., Nguyen, M. H., Padilla, M. T., Zhou, F., & Torre, F. (t.y.). Detecting depression from facial actions and vocal prosody. *3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops (ACII 2009*, 1-7. https://doi.org/10.1109/ACII.2009.5349358

Cortes, C., & Vapnik, V. (t.y.). Support-vector networks. *Machine Learning*, *20*(3), 273-297. https://doi.org/10.1007/BF00994018

Cox, D. R. (t.y.). The regression analysis of binary sequences. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*, *20*(2), 215-232. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1958.tb00292.x

Cummins, N., Amiriparian, S., Ottl, S., Gerczuk, M., Schmitt, M., & Schuller, B. (t.y.). Multimodal bag-of-words for cross domains sentiment analysis. *Proceedings of the 43rd IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2018*, 4954-4958. https://doi.org/10.1109/ICASSP.2018.8462660

Cummins, N., Scherer, S., Krajewski, J., Schnieder, S., Epps, J., & Quatieri, T. F. (t.y.). A review of depression and suicide risk assessment using speech analysis. *Speech Communication*, *71*, 10-49. https://doi.org/10.1016/j.specom.2015.03.004

Çiftçi, E., Kaya, H., Güleç, H., & Salah, A. A. (t.y.). The Turkish audio-visual bipolar disorder corpus. *2018 First Asian Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII Asia*, 1-6. https://doi.org/10.1109/ACIIAsia.2018.8470362

Eyben, F., Scherer, K. R., Schuller, B. W., Sundberg, J., André, E., Busso, C., Devillers, L. Y., Epps, J., Laukka, P., Narayanan, S. S., & Truong, K. P. (t.y.). The Geneva Minimalistic Acoustic Parameter Set (GeMAPS) for voice research and affective computing. *IEEE Transactions on Affective Computing*, *7*(2), 190-202. https://doi.org/10.1109/TAFFC.2015.2457417

Fawcett, T. (t.y.). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, *27*(8), 861-874. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (t.y.). *Deep learning*. MIT Press.

Graves, A., Mohamed, A., & Hinton, G. (t.y.). Speech recognition with deep recurrent neural networks. *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP*, 6645-6649. https://doi.org/10.1109/ICASSP.2013.6638947

Guntuku, S. C., Yaden, D. B., Kern, M. L., Ungar, L. H., & Eichstaedt, J. C. (t.y.). Detecting depression and mental illness on social media: An integrative review. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, *18*, 43-49. https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2017.07.005

Hamilton, M. (t.y.). A rating scale for depression. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *23*(1), 56-62. https://doi.org/10.1136/jnnp.23.1.56

Hashim, N. W., Wilkes, M., Salomon, R., Meggs, J., & France, D. J. (t.y.). Evaluation of voice acoustics as predictors of clinical depression scores. *Journal of Voice*, *31*(2), 256 1–256 6. https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2016.06.006

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (t.y.). Long short-term memory. *Neural Computation*, *9*(8), 1735-1780. https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735

Kohavi, R. (t.y.). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI*, 1137-1143.

Koutini, K., Schlüter, J., Eghbal-zadeh, H., & Widmer, G. (t.y.). Efficient training of audio transformers with Patchout. *Proc. Interspeech*, *2022*, 2753-2757. https://doi.org/10.21437/Interspeech.2022-227

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (t.y.). Deep learning. *Nature*, *521*(7553), 436-444. https://doi.org/10.1038/nature14539

Liu, L., Liu, L., Wafa, H. A., Tydeman, F., Xie, W., & Wang, Y. (t.y.). Diagnostic accuracy of deep learning using speech samples in depression: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Medical Informatics Association*, *31*(10), 2394-2404. https://doi.org/10.1093/jamia/ocae189

Loizou, P. C. (t.y.). *Speech enhancement: Theory and practice*. CRC Press.

Low, D. M., Bentley, K. H., & Ghosh, S. S. (t.y.). Automated assessment of psychiatric disorders using speech: A systematic review. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, *5*(1), 96-116. https://doi.org/10.1002/lio2.354

Ma, X., Yang, H., Chen, Q., Huang, D., & Wang, Y. (t.y.). DepAudioNet: An efficient deep model for audio based depression classification. *Proceedings of the 6th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge (AVEC*, *16*, 35-42. https://doi.org/10.1145/2988257.2988267

Menne, F., Dörr, F., Schräder, J., Tröger, J., Habel, U., König, A., & Wagels, L. (t.y.). The voice of depression: Speech features as biomarkers for major depressive disorder. *BMC Psychiatry*, *24*, 794. https://doi.org/10.1186/s12888-024-06253-6

Mundt, J. C., Vogel, A. P., Feltner, D. E., & Lenderking, W. R. (t.y.). Vocal acoustic biomarkers of depression severity and treatment response. *Biological Psychiatry*, *72*(7), 580-587. https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2012.03.015

Ntalampiras, S. (t.y.). Interpretable probabilistic identification of depression in speech. *Sensors*, *25*(4). https://doi.org/10.3390/s25041270

Pedregosa, F., & vd. (t.y.). Scikit-learn: Machine learning in Python. *The Journal of Machine Learning Research*, *12*, 2825-2830.

Pisoni, D. B., & Martin, C. S. (t.y.). Effects of alcohol on the acoustic-phonetic properties of speech. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, *13*(4), 577-587. https://doi.org/10.1111/j.1530-0277.1989.tb00387.x

Quatieri, T. F. (t.y.). *Discrete-Time Speech Signal Processing: Principles and Practice*.

Satt, A., Rozenberg, S., & Hoory, R. (t.y.). Efficient emotion recognition from speech using deep learning on spectrograms. *Proc. Interspeech*, 1089-1093. https://doi.org/10.21437/Interspeech.2017-200

Scherer, K. R. (t.y.). Vocal communication of emotion: A review of research paradigms. *Speech Communication*, *40*(1–2), 227-256. https://doi.org/10.1016/S0167-6393(02)00084-5

Seneviratne, N., & Espy-Wilson, C. (t.y.). Speech based depression severity level classification using a multi-stage dilated CNN-LSTM model. *Proc. Interspeech*, *2021*, 2526-2530. https://doi.org/10.21437/Interspeech.2021-1967

Sokolova, M., & Lapalme, G. (t.y.). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, *45*(4), 427-437. https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002

Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (t.y.). Dropout: A simple way to prevent neural networks from overfitting. *Journal of Machine Learning Research*, *15*(1), 1929-1958.

Tzanetakis, G., & Cook, P. (t.y.). Musical genre classification of audio signals. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, *10*(5), 293-302. https://doi.org/10.1109/TSA.2002.800560

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (t.y.). Attention is all you need. Içinde *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS*. Geliş tarihi https://arxiv.org/abs/1706.03762

Wadle, L.-M., & vd. (t.y.). Speech features as predictors of momentary depression severity in patients with depressive disorder undergoing sleep deprivation therapy: Ambulatory assessment pilot study. *JMIR Mental Health*, *11*, 49222. https://doi.org/10.2196/49222

Williamson, J. R., Godoy, E., Cha, M., Schwarzentruber, A., Khorrami, P., Gwon, Y., Kung, H.-T., Dagli, C., & Quatieri, T. F. (t.y.). Detecting depression using vocal, facial and semantic communication cues. *Proceedings of the 6th International Workshop on Audio/Visual Emotion Challenge (AVEC*, *16*, 11-18. https://doi.org/10.1145/2988257.2988263

Wolpert, D. H. (t.y.). Stacked generalization. *Neural Networks*, *5*(2), 241-259. https://doi.org/10.1016/S0893-6080(05)80023-1

Zhao, J., Mao, X., & Chen, L. (t.y.). Speech emotion recognition using deep 1D & 2D CNN LSTM networks. *Biomedical Signal Processing and Control*, *47*, 312-323. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2018.08.035

Zhao, Q., Fan, H.-Z., Li, Y.-L., Liu, L., Wu, Y.-X., Zhao, Y.-L., Tian, Z.-X., Wang, Z.-R., Tan, Y.-L., & Tan, S.-P. (t.y.). Vocal acoustic features as potential biomarkers for identifying/diagnosing depression: A cross-sectional study. *Frontiers in Psychiatry*, *13*, 815678. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2022.815678

Zhao, Y., Liang, Z., Du, J., Zhang, L., Liu, C., & Zhao, L. (t.y.). Multi-head attention-based long short-term memory for depression detection from speech. *Frontiers in Neurorobotics*, *15*, 684037. https://doi.org/10.3389/fnbot.2021.684037

EXAMINING THE INVISIBLE RISKS OF CONNECTED AI GOVERNANCE WITHIN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL STANDARDS AND A PROPOSAL FOR A NEW MODEL: DECLARATION-CENTRIC AI GOVERNANCE

BAĞLANTILI YAPAY ZEKÂ YÖNETİŞİMİNİN GÖRÜNMEYEN RİSKLERİNİN ULUSLARARASI STANDARTLAR BAĞLAMINDA İNCELENMESİ VE YENİ BİR MODEL ÖNERİSİ: DECLARATION-CENTRIC AI GOVERNANCE

Zişan Cihangir IŞIN
Ankara Bilim University, Department of Management Information Systems
ORCID ID: 0000-0002-4641-6728

Erşan IŞIN
Ankara University, Department of Folklore
ORCID ID: 0009-0007-0405-5649

Beyşan Tarık IŞIN
Ankara University, Department of Philosophy
ORCID ID: 0009-0008-8569-4799

Doç Dr. Mustafa Kemal TOPCU
ST Strateji ve Teknoloji Geliştirme Ltd.Şti, Türkiye,
ORCID ID: 0000-0002-3298-1283

Tamer IŞIN
IMED Surgical LLC
ORCID ID: 0000-0002-3295-6651

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) governance platforms are becoming increasingly widespread as organizations seek to manage AI use, assess risks, support compliance with regulations and standards, and operate corporate governance processes. However, existing platforms differ substantially in how they obtain governance data, their level of technical integration, their requirements for continuous system access and monitoring, their degree of automation and autonomy, and where they position human decision authority. This study aims to examine the underlying philosophy, methodology, and architectural approaches of existing AI Governance platforms; to identify the existing and potential risks these approaches may create alongside their strengths; and to discuss Declaration-Centric AI Governance as an alternative model. The study follows a qualitative research design built on a structured narrative literature review, supported by standards-based normative analysis, comparative platform architecture analysis, and conceptual model development. In addition to academic literature, the study examines directly relevant regulatory and normative frameworks, principally the EU Artificial Intelligence Act, the OECD AI Principles, the NIST AI Risk Management Framework, ISO/IEC 42001, and ISO/IEC 23894, together with the publicly available technical and corporate documentation of selected AI Governance platforms. Platform approaches are compared across shared analytical dimensions: data source, integration and continuous-access requirements, automation, autonomy, human oversight and decision authority, explainability, auditability, data sovereignty, organizational privacy, security, and governance accountability. The study discusses the advantages that connected and observational governance architectures offer in terms of technical visibility and continuous monitoring, alongside potential risks such as threats to data sovereignty, organizational privacy and independence, an expanding attack surface, integration and vendor dependency, governance black boxes, explainability shortfalls, and the erosion of human decision authority. In contrast, Declaration-Centric AI Governance is proposed as an alternative governance approach grounded in structured organizational declaration, controlled evidence, non-intrusive architecture, deterministic assessment, explainable derivation, governance traceability, and human decision authority.

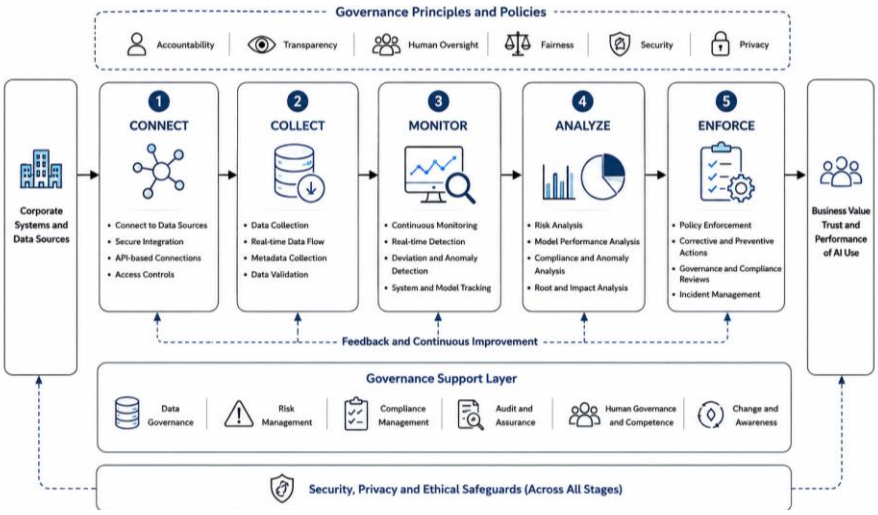
Rather than treating any single architecture as inherently superior, the study aims to lay out the advantages, limitations, and risks of different AI Governance approaches within the same analytical framework. In this context, it is argued that Declaration-Centric AI Governance may constitute an alternative governance model particularly suited to organizational settings where data sovereignty, organizational privacy and independence, critical-sector security, explainability, and the preservation of human accountability are priorities.
Keywords: AI Governance, Declaration-Centric AI Governance, EU Artificial Intelligence Act, OECD AI Principles, NIST AI Risk Management Framework, ISO/IEC 42001

ÖZET

Yapay zekâ yönetişimi (AI Governance) platformları, kurumların yapay zekâ kullanımını yönetmek, riskleri değerlendirmek, mevzuat ve standartlara uyumu desteklemek ve kurumsal yönetişim süreçlerini işletmek amacıyla giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte mevcut platformlar; yönetişim verisinin elde edilme biçimi, teknik entegrasyon düzeyi, sürekli sistem erişimi ve izleme gereksinimi, otomasyon ve otonomluk derecesi ile insan karar otoritesinin konumu bakımından önemli ölçüde farklılaşmaktadır. Bu çalışma, mevcut AI Governance platformlarının temel felsefe, metodoloji ve mimari yaklaşımlarını incelemeyi; bu yaklaşımların güçlü yönleri yanında oluşturabileceği mevcut ve potansiyel riskleri belirlemeyi ve alternatif bir yaklaşım olarak Declaration-Centric AI Governance modelini tartışmayı amaçlamaktadır. Çalışma, yapılandırılmış anlatısal literatür derlemesi (structured narrative literature review) temelinde yürütülen nitel bir araştırma tasarımına sahiptir. Anlatısal derleme; standart temelli normatif analiz, karşılaştırmalı platform mimarisi analizi ve kavramsal model geliştirme ile desteklenmektedir. Akademik literatürün yanı sıra Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü (EU AI Act), OECD Yapay Zekâ İlkeleri, NIST AI Risk Management Framework, ISO/IEC 42001 ve ISO/IEC 23894 başta olmak üzere doğrudan ilişkili düzenleyici ve normatif çerçeveler ile seçilmiş AI Governance platformlarının kamuya açık teknik ve kurumsal dokümantasyonu incelenmektedir. Platform yaklaşımları; veri kaynağı, entegrasyon ve sürekli erişim gereksinimi, otomasyon, otonomluk, insan gözetimi ve karar otoritesi, açıklanabilirlik, denetlenebilirlik, veri egemenliği, kurumsal mahremiyet, güvenlik ve yönetişim sorumluluğu gibi ortak analitik boyutlar üzerinden karşılaştırılmaktadır. Çalışma, özellikle bağlantılı ve gözlemsel yönetişim mimarilerinin teknik görünürlük ve sürekli izleme bakımından sağladığı avantajlarla birlikte; veri egemenliği, kurumsal mahremiyet ve bağımsızlık, genişleyen saldırı yüzeyi, entegrasyon ve tedarikçi bağımlılığı, yönetişim kara kutusu, açıklanabilirlik sorunları ve insan karar otoritesinin aşınması gibi potansiyel riskleri tartışmaktadır. Buna karşılık Declaration-Centric AI Governance; yapılandırılmış kurumsal beyan, kontrollü kanıt, non-intrusive mimari, deterministik değerlendirme, açıklanabilir türetim, yönetişim izlenebilirliği ve insan karar otoritesi ilkelerine dayanan alternatif bir yönetişim yaklaşımı olarak önerilmektedir. Çalışma, herhangi bir mimariyi önsel olarak üstün kabul etmek yerine farklı AI Governance yaklaşımlarının aynı analitik çerçeve altında avantajlarını, sınırlılıklarını ve risklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda Declaration-Centric AI Governance'ın özellikle veri egemenliği, kurumsal mahremiyet ve bağımsızlık, kritik sektör güvenliği, açıklanabilirlik ve insan sorumluluğunun korunmasının öncelikli olduğu kurumsal ortamlarda alternatif bir yönetişim modeli oluşturabileceği ileri sürülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ Yönetişimi, Declaration-Centric AI Governance, AB Yapay Zekâ Tüzüğü, OECD Yapay Zekâ İlkeleri, NIST Yapay Zekâ Risk Yönetimi Çerçevesi, ISO/IEC 42001

INTRODUCTION

Artificial intelligence has become a transformative technology at the center of economic, social and governance processes over the past decade. Its use has expanded rapidly across healthcare, finance, education, public administration, defense, manufacturing, logistics and services, making it necessary to treat AI as a strategic factor (Batool et al., 2025). This expansion has raised questions about the principles guiding system development and the distribution of responsibility, turning AI governance into a multidimensional field at the intersection of law, ethics, business, public administration, information systems and risk management (Young & Zhang, 2023). The prevailing approach in the literature defines governance as the body of rules, processes and control mechanisms that ensure systems are developed in alignment with institutional objectives, ethical principles, legal obligations and social responsibilities. The diversification of institutional practices has made manual governance increasingly difficult; as classical IT governance models proved inadequate, AI Governance platforms emerged (Işın et al., 2026; Young & Zhang, 2023).



The Continuous Connectivity Paradigm and the Emergence of New Risks

Most platforms build governance on a continuous connectivity paradigm, presupposing direct access to institutional systems and uninterrupted data flow (Connect → Collect → Monitor → Analyze → Implement). This dependency raises new debates concerning data sovereignty, security and institutional independence. While most existing discussions focus on the risks of AI systems themselves, the risks arising from the architecture of the platforms that govern these systems, namely data sovereignty, privacy, vendor dependency, security and accountability, have received comparatively little attention.

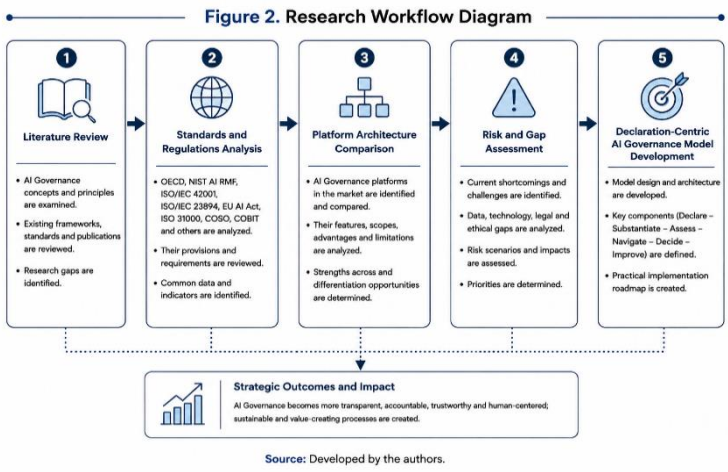
Research Problem and Research Questions

The core problem addressed by this study is that the extent to which the architectural assumptions of connected AI Governance platforms align with international governance standards has not been sufficiently examined. The study seeks to answer three questions:

RQ1: On what fundamental assumptions are connected AI Governance architectures built?

RQ2: What existing and potential risks do these assumptions pose in terms of international standards?

RQ3: Can the Declaration-Centric AI Governance approach be regarded as an alternative model to connected architectures?



Source: Developed by the authors.

Original Contribution of the Study

The study makes three contributions: it evaluates platforms not only by function but by their architectural and methodological characteristics; it discusses, on the basis of international standards, the risks that connected architectures may pose in terms of data sovereignty, privacy, human decision authority, security and explainability; and it conceptualizes the Declaration-Centric AI Governance approach as an alternative model grounded in structured declaration, controlled evidence, deterministic evaluation and human decision authority.

METHODOLOGY

This study is a qualitative research design based on a structured narrative literature review. The aim is not to measure the performance of individual platforms but to identify the sources of governance knowledge and the common architectural approaches derived from these choices. The research was conducted in four stages: (1) examination of core governance concepts (AI Governance, Responsible AI, Human Oversight, AI Assurance, Continuous Monitoring, Runtime Governance, etc.); (2) identification of common principles through the analysis of eight international frameworks (OECD AI Principles, NIST AI RMF, ISO/IEC 42001, ISO/IEC 23894, EU AI Act, ISO 31000, COSO, COBIT); (3) comparative architectural analysis of approximately 30 to 40 AI Governance platforms based on their publicly available documentation; (4) conceptualization of the common architecture as Connected Governance and development of the Declaration-Centric AI Governance model. The study is not an empirical performance study; the findings reflect architectural characteristics identifiable from accessible documentation.

CONCEPTUAL BACKGROUND

The architecture of AI Governance platforms and the risks it may pose cannot be assessed through the examination of technical functions alone. AI governance sits at the intersection of related concepts such as responsible AI, human oversight, assurance, continuous monitoring, observability, data sovereignty, privacy, security and human agency.

AI Governance

Defined as the interdisciplinary field aimed at ensuring that the processes of developing, using, monitoring and decommissioning systems are managed in alignment with ethical principles, legal regulations, institutional objectives and social expectations (Young & Zhang, 2023). Debates over algorithmic bias and accountability revealed that technical performance alone is insufficient; frameworks such as OECD, NIST AI RMF, ISO/IEC 42001 and the EU AI Act have turned the field into a standardizable institutional activity (Işın et al., 2026).

Responsible AI

Refers to the development of systems in accordance with human rights, ethical principles and social values. Although often conflated with AI Governance, the distinction matters: Responsible AI explains "what is right," while AI Governance explains "how what is right is implemented within the institution."

Human Oversight

Refers to the preservation of human authority over decision processes. The literature defines three models: Human-in-the-Loop, Human-on-the-Loop and Human-out-of-the-Loop. As this classification alone is insufficient, the study foregrounds the concept of human decision authority, denoting that the final decision remains with humans (European Union, 2024).

AI Assurance

The process of evaluating and verifying that systems operate in accordance with requirements; it covers model evaluation, bias analysis, and performance and security testing. Assessing institutional processes and governance culture may require different sources of information, which bears on the question of whether governance knowledge can be obtained from technical systems alone.

Continuous Monitoring

Refers to the uninterrupted observation and real-time evaluation of system behavior; it offers advantages in detecting model drift and policy violations. However, its effectiveness depends on access; the balance

between the need for technical visibility and data sovereignty, privacy and security must be assessed (NIST, 2023).

Runtime Governance
Refers to the management of systems' behavior in the production environment; it enables dynamic evaluation. The access and data flows it requires may produce architectural consequences that must be separately assessed in terms of institutional privacy, security and independence.

AI Observability
Aims to render systems' internal states and external behaviors measurable, drawing on telemetry and log records. However, observability is not equivalent to governance: technical observations may not fully represent institutional responsibilities and governance decisions.

AI Discovery
Aims to identify the systems in use within an institution; it has gained importance with the spread of shadow AI practices. However, the assumption that all usage can be fully identified through technical methods alone remains open to question.

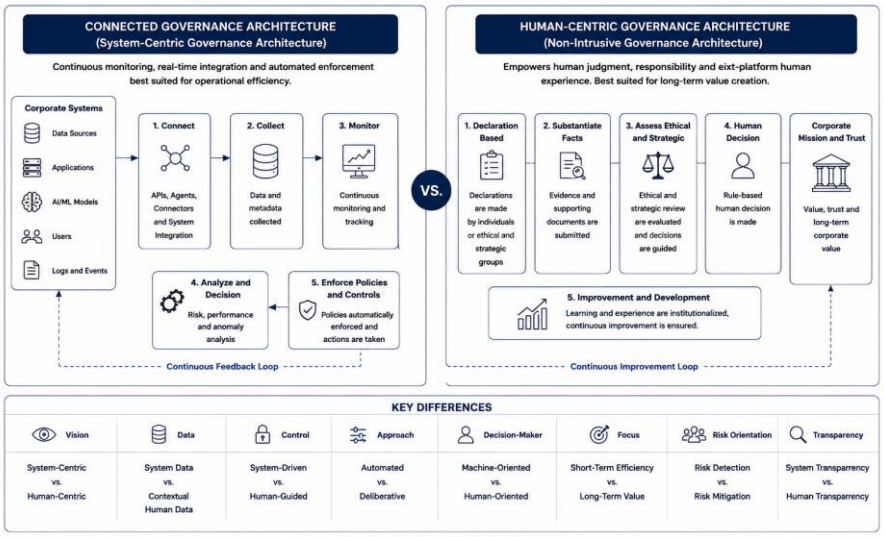
Data Sovereignty
Refers to institutions' control rights over their own data: it concerns where data is stored, who accesses it and for what purpose it is used. The central question is not who legally owns the data, but the extent to which the institution is compelled to share actual control over which data.

Privacy by Design
Holds that privacy should be one of the starting points of system design (Cavoukian, 2011). In governance, privacy is not limited to personal data; institutional processes and strategic data may also fall within the scope of institutional privacy.

Security by Design
Requires that security requirements be treated as a core component of system architecture. Since additional system connections established by the platform create new technical relationships, security assessment must also cover their effect on the total attack surface of institutional systems.

Human Agency
Refers to individuals' capacity for conscious decision making. A distinction exists between "human oversight" and humans being the final decision authority: monitoring a system does not necessarily mean the decision remains under human authority. In this study, human decision authority denotes that the final decision and responsibility remain with humans.

Figure 3. COMPARISON OF AI GOVERNANCE ARCHITECTURES



Source: Developed by the authors.

Non-Intrusive Assessment
Refers to conducting evaluation without direct intervention in the institution's operational systems; it relates to controlled information transfer and the preservation of data sovereignty.

INTERNATIONAL STANDARDS AND REGULATORY FRAMEWORKS

AI Governance platforms should not be evaluated on technical features alone; the principles they support, and their approach to human decision authority, data governance, security, explainability and accountability, must be assessed against international standards.

OECD AI Principles

Issued in 2019 and updated in 2024, the OECD Principles hold that systems must be evaluated not only on technical performance but also on human rights, democratic values, transparency, accountability, robustness, security and risk management (OECD, 2024). Their human-centered approach envisions systems as tools that support rather than replace humans; this relates to the concept of human decision authority in this study. The principles do not mandate a specific technical architecture: they define objectives and do not presuppose continuous access or deep integration.

NIST AI Risk Management Framework

The NIST AI RMF rests on four functions: Govern, Map, Measure, Manage (NIST, 2023). Govern indicates that risk management must be owned at the institutional level; Map establishes that governance knowledge derives not only from technical behavior but also from the context of use. The framework treats technical measurement as useful but not as the sole method; it must be assessed together with organizational context.

ISO/IEC 42001

The first international standard for AI management systems, addressing governance through policy, leadership, control and continual improvement (ISO, 2023a). It requires clearly defined roles; evidence and documentation are key components, providing a basis for this study's concepts of controlled evidence and governance traceability. It treats human involvement as a core element of the management system.

ISO 31000

Defines risk as the effect of uncertainty on objectives (ISO, 2018). It shows that AI risks are not limited to technical failure or cyberattack; institutional dependency, accountability ambiguity and reputational loss are also risk domains.

COSO

Treats the control environment, risk assessment, control activities, information/communication and monitoring as an interrelated system (COSO, 2017). It shows that AI Governance cannot be reduced to the technical control of models alone; organizational roles are also required.

COBIT

An IT governance framework emphasizing strategic alignment, value creation, performance, risk management and resource optimization (ISACA, 2019). Platform success should be judged not by how much data they collect but by how well they support the institution's strategic objectives.

EU AI Act

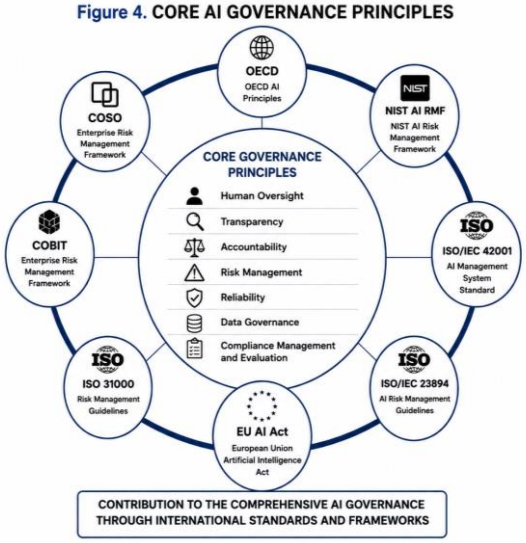
The EU AI Act adopts a risk-based approach, imposing different obligations for systems in different risk categories (European Union, 2024). For high-risk systems, human oversight, risk management, record-keeping and data governance are key obligations. The Act does not mandate continuous technical connectivity or extensive data collection mechanisms; it is technologically neutral as to the architecture through which compliance is achieved.

ISO/IEC 23894

A guidance standard adapting general risk management principles to the AI context (ISO, 2023b). It treats risk management as a dynamic process spanning the entire lifecycle, showing that organizational, legal and ethical risks must be considered alongside technical risks.

Although the eight frameworks reviewed use different terminology, they converge around common principles such as human oversight, transparency, accountability, risk management, evidence-based evaluation, traceability, security and data governance; none requires continuous technical access or a high degree of integration. This finding matters: standards define which principles must be upheld, not which technical architecture must be used. Connection-centric architectures such as Connected Governance can therefore be regarded as a particular technological and managerial choice rather than a regulatory requirement.

Figure 4. CORE AI GOVERNANCE PRINCIPLES



Source: Developed by the authors.

FINDINGS

This section presents the findings from the comparative platform analysis and standards review at three levels: architectural convergence, the shared assumptions underlying this convergence, and the associated risk domains. A significant share of solutions across categories such as AI observability, AI lifecycle management, AI assurance, AI risk management, AI compliance and AI security exhibit similar architectural features: direct connection to technical systems, data collection, runtime monitoring, automated AI discovery, centralized analysis, policy-based evaluation and varying degrees of automation. This convergence shows that platforms cluster around a common approach based on deriving governance knowledge directly from technical systems. This study terms this paradigm Connected Governance: a governance architecture premised on establishing technical connections with AI systems, data sources, cloud services and other institutional systems.

Figure 5. Corporate AI Governance Architecture

Source: Developed by the authors.

The Connected Governance Lifecycle: Connect → Collect → Monitor → Analyze → Enforce. In Connect, technical connections are established through API integrations and third-party applications, and access boundaries are defined. In Collect, model records, user activity and telemetry are obtained. In Monitor, some platforms track deviations and violations in real time. In Analyze, data is subjected to risk, compliance and performance analysis. In Enforce, results are translated into actions ranging from alerts to automatic blocking; this shows that Connected Governance is not merely data collection but an integrated cycle extending from connection to the execution of governance decisions.

Core Assumptions of the Connected Governance Architecture

The platform comparison revealed five assumptions: (1) that more data supports more effective governance; (2) that continuous monitoring detects risks earlier; (3) that greater integration increases technical visibility; (4) that most governance knowledge can be derived from technical systems, although domains such as policy and organizational culture may be inadequately measured by technical data alone; (5) that automation increases effectiveness, though its degree varies across platforms.

Risk Domains Associated with Architectural Choices

The comparative analysis identified 20 risk domains associated with Connected Governance; these risks arise not from the AI systems themselves but from the characteristics of the architecture governing them: data sovereignty, institutional privacy, the need for continuous access, over-privileging, vendor dependency, integration dependency, loss of explainability, erosion of human decision authority, autonomous governance, the governance black box, monitoring fatigue, erosion of institutional trust, differing risk profiles in critical infrastructure, supply chain dependency, cloud dependency, regulatory adaptation risk, loss of evidence integrity, limits on auditability, an expanding security attack surface, and AI-on-AI Governance (AI overseeing other AI).

Relationship of Risk Domains to International Frameworks

Comparing the identified risks with OECD, the EU AI Act, ISO/IEC 42001, ISO/IEC 23894 and NIST AI RMF shows that a significant portion relate to principles within these frameworks: data sovereignty and privacy relate to data governance; explainability and the black box relate to transparency; erosion of decision authority and autonomous governance relate to human oversight and accountability; evidence integrity and auditability relate to traceability principles. However, certain domains, such as continuous access, integration dependency, the black box, autonomous governance and AI-on-AI Governance, are not yet defined as detailed categories within the standards; this mapping is used as an analytical tool, not to generate a risk score (European Union, 2024; ISO/IEC, 2023a, 2023b; NIST, 2023; OECD, 2024).

The findings show that, despite commercial differences among AI Governance products, they converge around a common architectural approach. This architecture offers significant advantages such as technical visibility, automated discovery and rapid intervention; Connected Governance is not categorically problematic. However, the same features give rise to new evaluation requirements in the domains of data sovereignty, privacy, security, dependency, explainability, auditability and human decision authority.

DECLARATION-CENTRIC AI GOVERNANCE: A PROPOSED CONCEPTUAL MODEL

The findings of the previous section showed a pronounced architectural convergence (Connected Governance) among a significant share of platforms around technical connectivity, data collection, continuous monitoring and policy enforcement. While this approach offers important functions in terms of technical visibility and rapid intervention, it produces consequences for data sovereignty, privacy, explainability and human decision authority that require separate assessment. The review of standards showed that no single technical architecture is required to achieve these outcomes. The proposed Declaration-Centric AI Governance is defined as a model in which governance knowledge is obtained without continuous access to internal institutional systems, through structured institutional declarations, controlled evidence, predefined evaluation rules and human-centered decision processes. The model's core assumption is that governance knowledge does not consist solely of technical system behavior; components such as organizational structure, responsibilities and policies may not be fully observable through telemetry. The model does not aim to substitute subjective declaration for technical visibility, but to establish a verifiable mechanism linking structured declaration to controlled evidence: rather than collecting the maximum possible data, it associates the necessary accurate information with appropriate evidence within an explainable process. The model is not the opposite of Connected Governance but an alternative architecture based on different principles of knowledge acquisition.

Declaration-Centric AI Governance Lifecycle: Declare → Substantiate → Assess → Navigate → Decide → Improve

Table 1. Declaration-Centric AI Governance Lifecycle	**Source: Developed by the authors.**
Declare: The institution presents information on AI use, policy and human oversight domains through predefined question sets; the aim is to produce comparable inputs. **Substantiate**: Declarations are supported by evidence such as policy documents or records; the function of evidence is not	**Navigate**: The platform does not merely report gaps but indicates which next step is required; this turns governance from control into navigation.

to automatically validate the declaration but to establish a verifiable relationship between declaration and reality. **Assess**: Declarations and evidence are analyzed against predefined rules; the logic must be transparent and reproducible.	**Decide**: The final decision is made by a human; the platform provides recommendations but does not assume the decision. **Improve**: Gaps and updated declarations feed into a new evaluation cycle; the model supports continuous improvement.

Core Principles of the Model

The model rests on ten principles: human decision authority, data sovereignty, non-intrusive architecture, controlled evidence, structured declaration, deterministic evaluation, explainable governance, traceability, controlled automation, and non-autonomous execution.

Table 2. Core Principles of Declaration-Centric AI Governance	**Source: Developed by the authors.**
Human Decision Authority Whereas oversight is monitoring authority, decision authority requires that the final decision remain with humans. The platform is a tool that supports decision production, not an autonomous actor; this aligns with the human-centeredness principles of OECD, NIST, ISO/IEC 42001 and the EU AI Act (European Union, 2024; ISO/IEC, 2023a; NIST, 2023; OECD, 2024). **Data Sovereignty** The model does not treat continuous transfer of operational data as a precondition; the necessary information is provided through declaration and controlled evidence. Sovereignty here relates less to where data is stored than to who holds control. **Non-Intrusive Architecture** API integration and continuous access are not mandatory components. The aim is not to reject integration but to make governance independent of it. **Controlled Evidence** Declarations are not sufficient on their own and are supported by evidence such as documents or records; "controlled" refers to the evidence's context being determined by the institution (Işın et al., 2026).	**Deterministic Evaluation** Evaluation is based on predefined rules, and the same logic is applied to the same inputs; however, the final decision still rests with human authority. **Explainable Governance** Explainability applies not only to the systems being governed but also to the governance systems doing the evaluating; the declaration, evidence and rule underlying a given result must be shown. **Governance Traceability** The relationship between declaration, evidence, evaluation and corrective action must be traceable retrospectively; this matters for audit purposes. **Controlled Automation** The model does not reject automation; it provides speed in operations such as reporting, but delegating final decision authority to the system is not consistent with its principles. **Non-Autonomous Execution** The platform's role is limited to evaluation and decision support; independent policy enforcement on the institution's behalf is not a principle of the model. **Structured Declaration** Institutions present their status through predefined question sets rather than free text; "declaration" here means a verifiable, structured response, not an unsubstantiated claim.

Conceptual Position of the Declaration-Centric Model

The model's purpose is not to invalidate the functions of Connected Governance; direct system visibility may still be necessary in domains such as runtime monitoring and AI discovery. The fundamental distinction is that monitoring technical systems and the entirety of institutional governance are not the same thing: in domains such as policy, responsibility and decision authority, governance knowledge must be obtained from different sources and can be conducted in structured form without continuous technical connectivity.

COMPARATIVE ANALYSIS

The preceding sections conceptualized Connected Governance and Declaration-Centric AI Governance. This section compares the two approaches along the same dimensions. In the original study, the comparison was conducted across 85 criteria using a "High-Medium-Low-None" rating; however, since

no independent scoring methodology was defined, this could create a misleading quantitative impression, so the revised analysis compares the two architectures' typical structural approaches descriptively rather than through ratings.

Architectural Structure

The nature of the technical relationship between institution and platform is the first key difference. Connected Governance relies on continuous connectivity, API integration and runtime monitoring, whereas Declaration-Centric does not treat these as mandatory; it generates knowledge through structured declaration and rule-based evaluation.

	Table 3. Comparison of Architectural Structures: Connected Governance and Declaration-Centric AI Governance	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Continuous connectivity	Common architectural feature	Not mandatory
Runtime monitoring	One of the core tools	Not continuously presupposed
Technical visibility	Core strength	More limited
Structured declaration	Auxiliary tool	Primary method of knowledge acquisition
Non-intrusive architecture	Can be more intrusive	Core design principle
Offline operation	Limited	Some activities possible
Architectural simplicity	Increases complexity with integration	Can be simpler

Data, Privacy and Institutional Independence

The scope within which governance knowledge is shared is the second difference. Connected Governance provides broad visibility, while Declaration-Centric, following a logic close to data minimization, involves only the necessary information and evidence in the process.

	Table 4. Comparison of Data, Privacy, and Institutional Independence	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Data minimization	Broad data may be processed	Controlled sharing is fundamental
Data sovereignty	Actual control may be shared	Control is intended to remain with the institution
Institutional privacy	Privacy scope may expand	Only the necessary portion is included
Institutional independence	Platform dependency may arise	Reduces dependency on external infrastructure

Sensitive data isolation	Depends on integration design	Non-transfer is possible
Cloud dependency	Can be a core infrastructure element	Not mandatory
Data leakage risk	Depends on secure access management	Limited by reducing data volume

Governance Processes

Policy management, risk assessment, compliance analysis and audit can be carried out in both architectures; the difference lies in which information source and decision chain these activities run through.

	Table 5. Comparison of Governance Processes	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Risk assessment	Technical data and runtime measurements	Structured information and evidence
Audit support	Log and telemetry records	Declaration-evidence-assessment chain
Evidence management	Can be automatically generated from systems	Context is retained by the institution
Governance traceability	Based on log/event records	Declaration- evidence- finding- decision relationship
CAPA support	Through workflow and automation	Triggered by human decision
Rule-based evaluation	Usable, not the sole method	Core evaluation approach

Security, Resilience and Risk

The broad technical relationships of Connected Governance create both a visibility advantage and new areas requiring security assessment. Declaration-Centric aims to limit the attack surface by reducing connection points; in exchange, its real-time observation capacity may be lower.

	Table 6. Comparison of Security, Resilience, and Risk	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Attack surface	Can expand with integration	Can be reduced through limited connectivity
Over-privileging risk	Broad privileges may be required	More limited privileges
Vendor dependency	Centralization may increase dependency	Preserves institutional control
Security strategy	Managing connectivity securely	Reducing the need for connectivity
Dependency-driven fragility	May increase due to chain effects	Can be reduced

Architectural resilience	Depends on integration continuity	Can operate more independently

Two distinct security philosophies emerge: Connected Governance is closer to "connect and secure," Declaration-Centric closer to "avoid establishing unnecessary connections"; fitness for purpose depends on the context of use.

Human, Organization and Decision Authority

In Connected Governance, as automation increases, the human role may shift toward monitoring and exception handling, whereas Declaration-Centric defines the human as the final owner of the governance decision.

	Table 7. Comparison of Human, Organizational, and Decision Authority	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Human decision authority	Varies with automation level	Final decision remains with humans
Autonomous decision making	May advance in some platforms	Not presupposed
User involvement	Can be more passive	Requires an active role
Accountability	Depends on task distribution	Responsibility clearly with humans
Ownership of decisions	May diminish with system recommendations	Reinforced by human authority
Monitoring fatigue	Can arise in monitoring environments	More limited
Human-centeredness	Achieved through oversight	Direct design principle

This dimension is the model's most fundamental theoretical distinction: it positions the human not merely as a "human-on-the-loop" observer but as the accountable decision owner of the process.

Automation and Autonomy

	Table 8. Comparison of Automation and Autonomy	**Source: Developed by the authors based on the comparative platform analysis.**
Criterion	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Automatic policy enforcement	Direct in some platforms	Left to human authority
Autonomous execution	Possible in some architectures	Not presupposed
AI-on-AI Governance	May arise in some scenarios	Not used as a decision mechanism
Controlled automation	Depends on platform design	One of the core principles

Declaration-Centric does not reject automation; while it supports automated reporting and classification, it excludes autonomous decision making and policy enforcement on the institution's behalf.

Overall Result of the Comparison

The two approaches are not "advanced" or "less advanced" versions of one another; they rest on different architectural assumptions about how governance knowledge is produced and where decision authority is located. Connected Governance's strengths are technical visibility, runtime monitoring and rapid data collection; Declaration-Centric's strengths are data sovereignty, privacy, human decision authority and traceability.

Connected Governance produces governance by increasing technical visibility. **Declaration-Centric AI Governance** produces governance through controlled information, evidence and human decision.

COMPARISON OF GOVERNANCE PHILOSOPHIES

From Governance Architecture to Philosophy

Which information sources a platform uses, how it establishes technical relations with the institution, and how it positions human decision authority all reflect the underlying governance philosophy. Connected Governance derives governance knowledge predominantly from technical data such as system connections and telemetry, whereas Declaration-Centric treats institutional elements such as organizational structure and management decisions as part of governance knowledge as well, through structured declarations and controlled evidence.

Lifecycle of the Two Paradigms

The logic of Connected Governance can be expressed as Connect → Collect → Observe → Automate → Enforce, and that of Declaration-Centric as Declare → Substantiate → Assess → Navigate → Decide → Improve. The former relies on high technical visibility and continuous data flow, while the latter is a management function integrated with institutional decision making and continuous improvement.

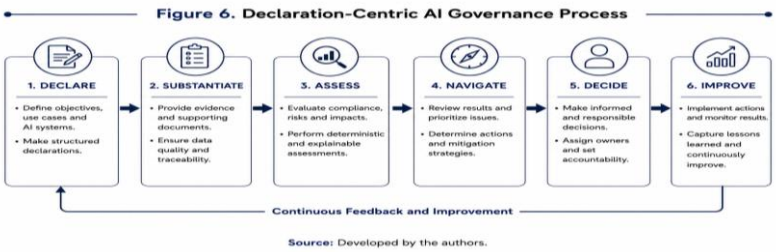


Figure 6. Declaration-Centric AI Governance Process

Source: Developed by the authors.

Source of Governance Knowledge

The most significant theoretical distinction between the two paradigms lies in their assumptions about what constitutes governance knowledge. In Connected Governance, technical data is used directly in risk assessment, whereas Declaration-Centric recognizes that elements such as organizational culture and management responsibilities may not be obtainable through technical observation, and aims to render them structured and verifiable. The debate thus shifts from "which platform collects more data?" to "which information is meaningful, and how should its reliability be established?"

Technical Visibility and Institutional Responsibility

Visibility and responsibility are not the same concept: a system being more observable does not by itself determine who is responsible. Declaration-Centric uses declarations not merely to gather information but also to enable tracing who declared what under which responsibility.

Data-Centered and Decision-Centered Governance

In Connected Governance, data flow is the primary input of governance; in Declaration-Centric, data and evidence are tools that support decision making, and the aim is not to collect the maximum amount of data but to produce sufficient information for a correct decision.

	Table 9. Comparison of Governance Philosophies: Connected Governance and Declaration-Centric AI Governance	**Source: Developed by the authors.**
Dimension	**Connected Governance**	**Declaration-Centric**
Primary knowledge source	Technical system data	Structured declaration and evidence
Focus of governance	Observation, analysis, intervention	Assessment, decision, improvement
Decision authority	Varies with platform design	Ultimately retained by humans
Autonomous execution	Possible in some architectures	Not presupposed in the core model

Automation, Autonomy and Human Decision Authority

In Connected Governance, as automation's capacity to generate actions increases, the human role in the decision process becomes less defined. Declaration-Centric proposes a normative boundary between automation and autonomy: automation may be used in defined operations, but delegating the final decision to the system is not consistent with its principles.

From the Visibility Paradigm to the Responsibility Paradigm

The strength of Connected Governance rests on the assumption that "a visible system can be managed more effectively." However, even a fully visible process may not achieve effective governance if responsibilities and decision authority are undefined. The proposed paradigm shift is: Visibility-Centered Governance → Responsibility-Centered Governance; this means visibility must be addressed together with responsibility and human decision authority.

Redefining Governance

AI Governance is not merely a technical activity but a multilayered process at the intersection of technical, organizational, legal and managerial dimensions. The field's core question is not only "how can we see systems more?" but "what information is necessary, by whom and with what evidence should it be established, and where should final decision authority reside?"

DISCUSSION

The aim of this study is to reassess the architectural assumptions of AI Governance platforms in light of international standards and to propose Declaration-Centric AI Governance as an alternative model. The findings point to five conclusions: (1) a significant share of platforms are built on similar architectural assumptions (connectivity, data collection, continuous monitoring, automated analysis); (2) while these choices provide advantages, they require new assessment in the domains of data sovereignty, privacy, dependency, explainability and human decision authority; (3) international frameworks define principles but do not mandate a specific architecture; (4) not all governance knowledge can be obtained from technical systems; (5) AI Governance can be structured without dependence on continuous system access. The academic contribution deriving from these five conclusions is the classification of platforms by architectural characteristics, the treatment of governance philosophy as an independent unit of analysis, and the conceptualization of the Declaration-Centric model.

Technical, Regulatory and Institutional Implications

A clear architectural convergence has formed in the field; however, technical visibility alone is not sufficient, as elements such as organizational culture may not be fully obtainable from technical systems. Automation and autonomy must be distinguished: detecting risk and altering access are different levels of responsibility; the study argues that controlled automation can be used together with human decision authority. International frameworks are technology-neutral and do not mandate a specific architecture; moreover, risks such as AI-on-AI Governance and the governance black box are not yet defined in the standards.

At the institutional level, AI Governance is a multi-actor function; institutional privacy and independence are important concepts, since platform access can render strategic information visible and heavy reliance on a single platform can create new dependencies (Işın et al., 2026; Young & Zhang, 2023).

Philosophical Implications

The proposed distinction is between visibility-centered governance and responsibility-centered governance: Connected Governance focuses on the question "what is happening in the system?", while Declaration-Centric foregrounds the questions "who is declaring what, with what evidence, and under whose responsibility does the final decision lie?" Human oversight and human authority are not the same thing; the purpose of governance is not efficiency alone but also accountability and ownership of decisions.

Limitations of the Study

The research is not an empirical performance comparison; the platform analysis is limited to publicly available documentation, and Declaration-Centric is a conceptual model whose advantages require validation in actual organizations.

CONCLUSION

The increasingly widespread institutional use of AI systems is transforming AI Governance from a control domain focused solely on managing technical risk into one of the core components of institutional governance. This study examined platforms not through the functions they offer but through the question of which governance philosophy underlies them: rather than "what does the platform do?", the central question was "how does it obtain governance knowledge and how does it produce decisions?"

The analysis showed a common architectural tendency across a significant share of platforms: connectivity, data collection, continuous monitoring and, at times, technical enforcement of policy. This study has conceptualized this as Connected Governance. It offers advantages such as technical visibility and rapid risk detection; the conclusion is not that this approach is categorically problematic.

The real problem is that an architecture used for AI Governance purposes can itself generate new risks. The platform analysis identified 20 risk domains associated with this architecture; the findings show that platforms are not merely technologies that manage risk but are themselves technologies that must be subject to governance assessment.

The eight frameworks reviewed foreground the principles of human oversight, accountability and evidence-based assessment, but do not mandate a single platform architecture; regulatory requirements must be distinguished from architectures that are merely common in the market. Organizational responsibilities and human decision processes cannot be determined by telemetry alone; technical visibility and governance knowledge are therefore not the same concept.

The proposed Declaration-Centric AI Governance holds that governance knowledge can be produced without continuous access, through structured declarations, controlled evidence and human-centered decisions. Human decision authority is a significant theoretical contribution: while "human oversight" denotes monitoring authority, this study argues that the final decision actually remaining with humans is a separate and stronger requirement; this clarifies that the model opposes not automation but uncontrolled autonomy.

The second contribution is the inclusion of institutional privacy and independence in the assessment: platform access can render visible strategic information that, while not personal, is sensitive. The third contribution is showing that the two approaches rest on different information chains:

Connected Governance: System → Data → Observation → Analysis → Action

Declaration-Centric: Declaration → Evidence → Assessment → Human Decision → Improvement

This shows that no automatic relationship should be assumed between "more data" and "better governance," and supports the proposed paradigm distinction: Visibility-Centered Governance → Responsibility-Centered Governance; visibility is a tool, not the final aim.

The architecture of the future need not develop around a single approach; hybrid models (Declaration-Centric+) can be developed, and the core question should not be "can integration be done?" but "is it

actually necessary?" Declaration-Centric remains a conceptual model at this stage; no empirical superiority is claimed, and this requires sector-specific testing.

In conclusion, this study argues that the future of AI Governance need not develop solely in the direction of greater connectivity and automation. A paradigm centered on data sovereignty, institutional privacy, human decision authority and explainability is possible. The field's core question is expanding: not only "how can we see systems more?" but "what information is needed, with what evidence should it be obtained, and with whom does final decision authority remain?" The future of AI Governance may lie in governance architectures capable of protecting an institution's data, privacy and human decision authority.

As this study is conceptual and qualitative, its findings require empirical testing. Priority areas include testing Declaration-Centric in highly regulated sectors (public administration, finance, healthcare, defense, critical infrastructure), and developing intermediate models such as hybrid architectures (Declaration-Centric+) and controlled monitoring.

REFERENCES

Batool, A., Zowghi, D., & Bano, M. (2025). AI governance: A systematic literature review. *AI and Ethics, 5*, 3265–3279. https://doi.org/10.1007/s43681-024-00653-w

Cavoukian, A. (2011). *Privacy by design: The 7 foundational principles*. Information and Privacy Commissioner of Ontario.

Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission. (2017). *Enterprise risk management—Integrating with strategy and performance*. COSO.

European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). *Official Journal of the European Union*.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management—Guidelines*. ISO.

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2023a). *ISO/IEC 42001:2023 Information technology—Artificial intelligence—Management system*. ISO.

International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2023b). *ISO/IEC 23894:2023 Information technology—Artificial intelligence—Guidance on risk management*. ISO.

ISACA. (2019). *COBIT 2019 framework: Governance and management objectives*. ISACA.

Işın, Z. C., Işın, B. T., & Işın, E. Işın, T. (2026). *Principles of AI Governance*.

Işın, Z. C., Işın, B. T., & Işın, E. Işın, T. (2026).

National Institute of Standards and Technology. (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)* (NIST AI 100-1). U.S. Department of Commerce. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.100-1

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). *OECD AI Principles*. OECD.

Young, M. M., & Zhang, B. (2023). Introduction. In J. B. Bullock, Y.-C. Chen, J. Himmelreich, V. M. Hudson, A. Korinek, M. M. Young, & B. Zhang (Eds.), *The Oxford handbook of AI governance* (pp. 1–18). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780197579329.013.1

PREDICTIVE ANALYSIS OF AIRLINE OVERBOOKING LEVELS USING A FUZZY LOGIC-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM

Hakan Şimşek[1]
[1]Prof. Dr., Antalya Bilim University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, Antalya, Türkiye.
[1]ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1028-2676

Gülfem KIZILTAN[2]
[2]B.Sc. Graduate, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Antalya Bilim University, Antalya, Türkiye.
[2]ORCID: https://orcid.org/0009-0008-6741-5848

ABSTRACT
Overbooking is one of the most widely adopted revenue management strategies in the airline industry to mitigate the financial impact of passenger no-shows and maximize seat utilization. However, determining the optimal overbooking level is a complex decision-making problem due to the uncertainty associated with passenger behavior and operational conditions. This study proposes a fuzzy logic-based decision support system to predict optimal overbooking levels by integrating multiple operational and demand-related factors. The proposed model consists of hierarchical fuzzy inference systems that evaluate historical flight data through three main dimensions: demand characteristics, operational factors, and overbooking decisions. The system comprises a total of 195 fuzzy inference rules (45 Demand Analysis, 125 Operational Effect, and 25 Optimal Overbooking). Model parameters were determined based on airline operational practices, revenue management principles, and expert knowledge. Historical flight data collected between 2021 and 2024 were used to develop and evaluate the proposed model. The proposed decision support system provides a flexible and interpretable framework for estimating appropriate overbooking levels under uncertain conditions while minimizing denied boarding risk and improving seat utilization. The results demonstrate that fuzzy logic offers an effective and practical approach for supporting overbooking decisions in airline revenue management by incorporating expert knowledge into the decision-making process.
Keywords: Airline; Overbooking; Fuzzy Logic; Decision Support; Fuzzy Inference.

ALTI EKSENLİ DEFORMİTE DÜZELTME İÇİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ RİNG FİKSATÖRLER: İNOVASYON KİLOMETRE TAŞLARI VE TEKNOLOJİK EVRİMİN İNCELENMESİ

COMPUTER-ASSISTED RING FIXATORS FOR SIX-AXIS DEFORMITY CORRECTION: A REVIEW OF INNOVATION MILESTONES AND TECHNOLOGICAL EVOLUTION

Doç. Dr. Mustafa Kemal TOPCU
ST Strateji ve Teknoloji Geliştirme Ltd.Şti, Türkiye,
ORCID ID: 0000-0002-3298-1283

Zişan Cihangir IŞIN
Ankara Bilim University, Department of Management Information Systems
ORCID ID: 0000-0002-4641-6728

Fatma GEZGİN
Bağımsız Araştırmacı
ORCID ID: 0009-0005-2382-4226

Erşan IŞIN
Ankara University, Department of Folklore
ORCID ID: 0009-0007-0405-5649

Beyşan Tarık IŞIN
Ankara University, Department of Philosophy
ORCID ID: 0009-0008-8569-4799

ÖZET

Altı eksenli deformite düzeltmede kullanılan bilgisayar destekli ring fiksatörler, son otuz yılda önemli mekanik ve yazılımsal dönüşümler geçirmiştir. Bununla birlikte mevcut literatürde bu gelişim süreci çoğunlukla belirli cihazlar veya ticari sistemler üzerinden kronolojik ve çoğunlukla mekanik cihaz boyutunda ele alınmakta; teknolojik evrim, inovasyonların ortaya çıkmasına neden olan ihtiyaçlar ve bu ihtiyaçların sonraki gelişmelere etkisi yeterince bütüncül biçimde değerlendirilememektedir. Bu çalışma, bilgisayar destekli ring fiksatör teknolojilerinin tarihsel gelişimini inovasyon kilometre taşları temelinde incelemeyi ve mevcut jenerasyon tanımlama yaklaşımlarını eleştirel olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışma, sistematik literatür taraması niteliğinde olup Ilizarov ring fiksatör sistemi ile başlayan süreç; mekanik geçiş sistemleri, hexapod ve octopod tabanlı platformlar, bilgisayar destekli hesaplama yazılımları, radyolojik görüntü temelli ölçüm, analiz ve düzeltme planlama sistemleri, ameliyat öncesi planlama yaklaşımları ve robotik uygulamalar açısından incelenmiştir. Her teknolojik evre; ortaya çıkış ihtiyacı, geliştirilen mekanik ve yazılımsal yenilikler, çözülen teknik sorunlar, devam eden sınırlılıklar ve sonraki inovasyonlara etkisi bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

İnceleme sonucunda bilgisayar destekli ring fiksatörlerin gelişiminin doğrusal bir cihaz evriminden ziyade, mekanik tasarım, yazılım mimarisi, görüntü tabanlı ölçüm, analiz, planlama yaklaşımı ve otomasyon teknolojilerinin birbirini etkileyen çok boyutlu bir inovasyon süreci olduğu görülmektedir. Ayrıca literatürde yaygın olarak kullanılan jenerasyon tanımlarının, donanım ve yazılım gelişimini yeterince ayrıştırmadığı; çevrimdışı ve çevrimiçi yazılımlar, görüntü tabanlı ölçüm, analiz ve planlama, ameliyat öncesi planlama ve robotik kontrol gibi kritik teknolojik kırılma noktalarını tam olarak yansıtmadığı değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışma, mevcut sınıflandırmalardan farklı olarak bilgisayar destekli ring fiksatörlerin tarihsel gelişimini ihtiyaç-inovasyon-sonuç ilişkisi temelinde açıklayan ve teknolojik gelişimi ihtiyaç temelli inovasyon kırılmaları üzerinden inceleyen bir kavramsal değerlendirme sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Eksternal fiksatör, ring fiksatör, hexapod-octopod platformlar, bilgisayar destekli ortopedi, teknolojik evrim, inovasyon

ABSTRACT

Computer-assisted ring fixators used in six-axis deformity correction have undergone substantial mechanical and software transformations over the past three decades. However, the existing literature typically addresses this development chronologically and largely at the level of specific devices or commercial systems, without adequately capturing, in an integrated manner, the technological evolution itself, the needs that gave rise to these innovations, and the influence of those needs on subsequent developments. This study aims to examine the historical development of computer-assisted ring fixator technologies on the basis of innovation milestones and to critically evaluate existing approaches to generational classification.

Conducted as a systematic literature review, the study traces this process from the Ilizarov ring fixator system through mechanical transition systems, hexapod- and octopod-based platforms, computer-assisted calculation software, radiological image-based measurement, analysis and correction-planning systems, preoperative planning approaches, and robotic applications. Each technological stage is evaluated comparatively in terms of the need that prompted it, the mechanical and software innovations developed, the technical problems resolved, the limitations that persisted, and its influence on subsequent innovations.

The review finds that the development of computer-assisted ring fixators is not a linear evolution of a single device but rather a multidimensional innovation process in which mechanical design, software architecture, image-based measurement, analysis, planning approaches, and automation technologies have shaped one another. It further finds that the generational classifications commonly used in the literature do not sufficiently distinguish between hardware and software development, and do not fully capture critical technological turning points such as offline and online software, image-based measurement, analysis and planning, preoperative planning, and robotic control.

In conclusion, this study offers a conceptual assessment that, unlike existing classifications, explains the historical development of computer-assisted ring fixators through the relationship between need, innovation, and outcome, and examines technological development through need-driven innovation milestones.

Keywords: External fixator, ring fixator, hexapod–octopod platforms, computer-assisted orthopedics, technological evolution, innovation

INTRODUCTION

1.1 Background and Problem

External fixators have undergone a substantial transformation, both mechanical and software-based, over the past three decades. The literature typically addresses this transformation through the chronological sequence of specific products or commercial systems, largely at the level of the mechanical device. A recent example of this approach, Fernando et al. (2021), examines the development of external fixators by dividing them into generations based on structural and mechanical characteristics.

The concept of "generation" first entered this field when Tamer Işın, the developer of the Adam Frame, described the system as "third generation" while introducing it, marking the starting point of the generational debate in this area. Fernando et al. (2021) classify external fixators according to structural form into a six-generation, single-axis scheme: unilateral frame, uniplanar frame, ring fixator (Ilizarov), articulated fixator, hexapod (Taylor Spatial Frame), and hybrid ring; the fifth generation, hexapod, is presented as a single entry via the Taylor Spatial Frame example.

While this framework is valuable for comparing the general structural form of fixators, it falls short in explaining the internal development process of computer-assisted ring fixators. Examining the family of technologies presented as a single generation under the "hexapod" heading reveals at least seven independent axes of innovation: kinematic architecture (the transition from hexapod to octopod), frame geometry (the transition from cylindrical to conical structures), ring design (the transition from single-row perforated rings to double-row/sliding designs), the strut-ring connection joint (universal/cardan and ball/spherical joint families), the strut extension mechanism (the transition from conventional telescoping to double-telescoping structures), the scope of the digital clinical process (expansion from

postoperative to preoperative planning and digital tracking), and software architecture (the transition from analog calculation to image-based anatomical planning).

This reveals a methodological problem in existing generational definitions: products grouped under a single label can occupy very different positions along technological axes that progress independently of one another. For instance, two systems within the same hexapod generation may share the same paradigm in kinematic architecture while being at entirely different stages in software. A single-axis, linear model therefore cannot capture the actual complexity of technological development, nor can it separate software evolution from mechanical evolution.

This study aims to examine the historical development of computer-assisted ring external fixators not along a single generational line, but through multiple, independent axes of innovation, each advancing according to its own need-innovation-outcome relationship.

1.2 A Brief Note on Parallel Manipulators

Understanding the kinematic architecture of computer-assisted ring external fixators requires defining the concept of the parallel manipulator. A parallel manipulator is a mechanical system in which two platforms, one fixed and one mobile, are connected through multiple kinematic chains (Chandrashekhar & Babu, 2015). Second- and third-generation ring fixators (hexapod and octopod) are orthopedic applications of this approach: two rings are connected through variable-length connecting elements (struts), and the relative position between the rings is altered by controlled changes in strut length. The function of this architecture is control of six degrees of freedom (6-DOF): the spatial positioning of the mobile ring relative to the reference ring across three linear and three angular components.

The systems reviewed achieve this 6-DOF motion through two distinct kinematic architectures. Hexapod is the family of parallel manipulators using six variable connecting elements between two rings; the Taylor Spatial Frame (TSF) is one of the principal clinical representatives of this architecture and is described in the literature as a hexapod-based external ring fixator enabling six-axis deformity correction (Seybold et al., 2008). Later systems such as Litos/PoliHex, Eisenberg Fixator, Ortho-SUV, Smart Correction, TL-HEX, Spider Frame, and Orthex, while differing in mechanical and software characteristics, also fall kinematically within the hexapod family.

Octopod is a 6-DOF parallel manipulator family that emerged with the Adam Frame and, unlike the classical six-strut hexapod architecture, combines vertical and oblique/auxiliary kinematic elements. Although the name "octopod" derives from the Adam Frame's eight-arm structure, the technical teaching of the 2011 Işın patent does not restrict the system to a fixed eight arms, but instead presents a more general architecture encompassing varying numbers of vertical/oblique arms and geometric arrangements. Indeed, later applications of this approach have shown that the fixator can be used with arm counts ranging from two to eight, in configurations including but not limited to hexapod and octopod (Demiralp et al., 2022). Both architectures reach the same goal (6-DOF spatial control) with different numbers and arrangements of connecting elements; the mechanical consequences of this difference are addressed in the following section within the framework of static and kinematic determinacy.

1.3 Static and Kinematic Determinacy in Parallel Manipulators

Comparing hexapod and octopod architectures is not merely a matter of kinematic classification; it must also be addressed in terms of mechanical determinacy and redundancy. The relationship between the number of independent actuation variables in a system and the targeted degrees of freedom (6-DOF) is a fundamental determinant of that system's kinematic and mechanical behavior (Müller, 2013).

In the classical six-strut hexapod architecture, six actuation variables work together to determine the position of the mobile platform across six degrees of freedom. The system is therefore non-redundant in actuation: the platform's spatial position, comprising three translations and three rotations, is defined through the kinematic relationship among six strut lengths.

Actuation redundancy arises when the number of independent actuation variables exceeds the minimum required to determine the platform's motion. The octopod approach combines vertical and oblique/auxiliary elements in a structure whose arm count can vary across configurations.

Indeed, applications of the software-assisted convertible external fixator have shown that the system can be used with arm counts ranging from two to eight, in arrangements including but not limited to hexapod and octopod (Demiralp et al., 2022). The mechanical analysis of the octopod architecture should therefore not be reduced to "an eight-armed hexapod," but should instead be evaluated in terms of actuation redundancy and structural constraints.

This distinction carries significant mechanical and computational consequences. Redundant actuation can offer advantages in load distribution and rigidity, but it can also complicate the determination of how motion should be distributed among elements to achieve the same target platform movement. The transition from hexapod to octopod can thus be understood not only as a change in kinematic architecture but also as a shift in the level of redundancy and mechanical determinacy, a shift that forms one of the mechanical foundations for the increase in computational complexity in the software evolution discussed in Section 2.9.

1.4 Scope and Limitations of the Study

The historical starting boundary of this study is set at March 1, 2015, the expiration date of the TSF patent. Systems whose technology had been disclosed by that date through patents, scientific publications, conference presentations, product documentation, or other publicly available sources are included in the scope. The criterion is not that the product was in widespread commercial use before this date, but that the technology had been the subject of a patent application or had been publicly disclosed; for example, the inclusion of the ORTHEX system is based not on its commercial use prior to March 1, 2015, but on its patent application with a priority date of September 27, 2013.

This boundary does not preclude tracking the subsequent development of systems within scope; as with the Spider Frame/Spiderfix and TL-HEX/HEX-Ray examples, the later evolution of the same product family into more advanced stages is also assessed. Systems introduced after this date (such as the Lambda Fixator) fall outside the main chronological scope and are addressed only for the purpose of critically evaluating the classification method.

Primary sources (patents, product documentation, conference presentations) for certain stages of technological development are still being incorporated into the final text; these points are flagged within the text and are intended to be supported by the relevant sources.

1.5 Methodology

This study is a systematic literature review. The review covers the process beginning with the Ilizarov ring fixator system, encompassing mechanical transition systems, hexapod- and octopod-based platforms, computer-assisted calculation software, radiological image-based measurement/analysis/planning systems, preoperative planning approaches, and robotic applications.

The source search covered patent databases (TÜRKPATENT, USPTO, PCT/WIPO, relevant European authorities), scientific literature databases, conference/workshop records, product user manuals, regulatory records (such as FDA 510(k)), and company announcements. For each system, priority was given to reaching primary sources (patent priority dates, first clinical use, regulatory approval dates); information based solely on secondary sources was treated with caution and cross-verified wherever possible.

Each stage examined is evaluated in terms of (i) the need that gave rise to it, (ii) the mechanical/software innovations involved, (iii) the technical problems resolved, (iv) the limitations that persisted, and (v) its influence on subsequent innovations, this five-dimensional framework operationalizes, in systematic form, the need-innovation-outcome relationship stated in the abstract.

The methodological originality of this study lies in examining the development under review through seven independent and parallel axes of innovation, rather than a single generational axis:

1. Kinematic architecture evolution (modular ring → hexapod → octopod)
2. Geometric innovation evolution (cylindrical → tapered/conical frame)
3. Ring design evolution (single-row perforated → double-row perforated/sliding)
4. Strut-ring connection joint evolution (universal/cardan and ball/spherical joint families)
5. Strut extension mechanism evolution (conventional telescoping → double-telescoping)

6. Digital clinical process evolution (postoperative → preoperative + postoperative → control/monitoring)
7. Software evolution (from analog calculation to image-based algorithmic anatomical planning)

Each axis is treated as an independent line of technological development with its own breakpoints; it is explicitly acknowledged that the same product may occupy different generational/stage levels on different axes.

2. FINDINGS

2.1 Inadequacy of Existing Classifications

The six-generation classification proposed by Fernando et al. (2021), introduced in Section 1.1, is useful for comparing the general structural form of external fixators, but treats the internal technological development of computer-assisted ring fixators as a single entry: fifth-generation "Hexapod (Taylor Spatial Frame)" is defined simply as a six-degree-of-freedom system, with no further differentiation.

This study's findings show that this single entry in fact spans at least seven independent axes of development. For example, while the Taylor Spatial Frame and post-2010 Ortho-SUV software share the same hexapod kinematic family, TSF's software remained at Stage 3 (Semi-Digital, Section 2.9), whereas Ortho-SUV advanced to Stage 4B (Interactive Image-Based Digital). Similarly, the Adam Frame versions (AF1–AF6) remain kinematically within the same octopod family, yet their software evolution spans Stage 3 to Stage 5.

This shows that treating "generation" as a single concept forces independently progressing mechanical and software axes into one linear line: classification either follows only the most visible axis, leaving others invisible, or conflates developments on different axes under one label. The clearest consequence is the term "computer-assisted" itself, used without specifying which part of the clinical process (measurement, analysis, planning) the computer performs or at what level of automation. Critical breakpoints; offline versus online software, algorithmic versus clinician-guided measurement, whether preoperative planning is integrated into the digital process, and the presence of robotic control, go unreflected in existing definitions.

2.2 The Multi-Axis Nature of Innovation Evolution (Framework)

The findings show that the development of computer-assisted ring fixators is not a linear device evolution but a multidimensional process whose axes influence one another while progressing chronologically independently. Development is assessed along seven axes:

1. **Kinematic innovation evolution:** the architecture generating motion between two rings (modular ring, hexapod, octopod)
2. **Geometric innovation evolution:** the diameter relationship between reference rings (cylindrical, tapered/conical)
3. **Ring design evolution:** the structure of ring body and hole geometry
4. **Strut-ring joint evolution**: the joint type connecting strut ends (universal/cardan, ball/spherical)
5. **Strut extension mechanism evolution**: the mechanism varying strut length
6. **Digital clinical process evolution**: which stages of the process (postoperative, preoperative, control/monitoring) digital technology covers
7. **Software evolution**: how measurement, analysis, and planning are divided between clinician and algorithm

Each axis has its own generational/stage classification and chronological breakpoints; a product may be advanced on one axis and early-stage on another. This does not mean the axes are fully independent; for instance, the static-determinacy difference in Section 1.3 (hexapod's isostatic versus octopod's hyperstatic structure) directly affects software computational complexity, but it implies no mandatory sequencing or automatic progression between them.

2.3 Kinematic Innovation Evolution

2.3.1 Definitions and Concepts

In this study, kinematic architecture refers to the mechanical elements, connections, and geometric relationships through which relative motion between two rings is generated. Building on the parallel-manipulator, hexapod, and octopod concepts defined in Section 1.2, "generation" on this axis is determined not by product name, manufacturer, minor changes in strut count, or software function, but by a paradigm shift in the underlying kinematic principle; systems sharing that principle are treated as the same generation regardless of mechanical or software differences.

2.3.2 A Three-Generation Kinematic Timeline

Kinematic evolution reads through three paradigms: Ilizarov → Hexapod → Octopod.

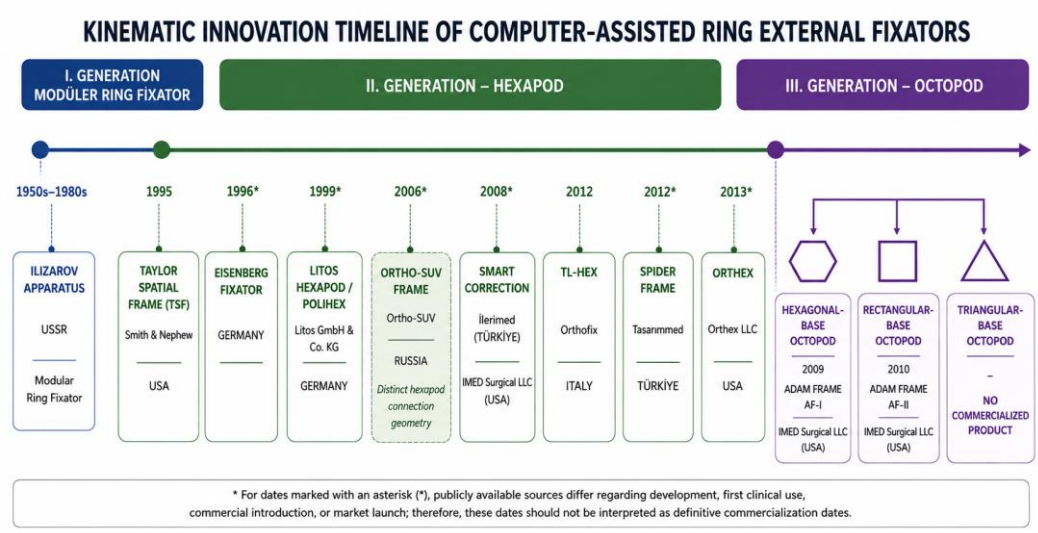


Figure 1. Kinematic Innovation Timeline of Computer-Assisted Ring External Fixators

Source: Prepared by the authors.

Generation I: Modular Ring Fixator. The Ilizarov system is the classical ring construct in which deformity is mechanically corrected using rings, rods, hinges, and other modular connecting elements. Though it enables multi-axis correction, it does not achieve 6-DOF motion between two rings through a single parallel-manipulator architecture; its defining feature is the modular ring construct itself.

Generation II: Hexapod. This generation marked ring external fixation's transition to parallel-manipulator architecture. The Taylor Spatial Frame's application of the Stewart-Gough approach to external fixation enabled 6-DOF spatial control between two rings via six variable struts. Subsequent manufacturers developed this approach further: Taylor Spatial Frame (1995), Eisenberg Fixator (1996*), Litos Hexapod/PoliHex (1999*), Ortho-SUV Frame (2006*), Smart Correction (2008*), TL-HEX (2012), Spider Frame (2012*), and Orthex (2013*).
Mechanical differences exist among these systems: Ortho-SUV preserves the 6-DOF hexapod principle but uses a connection geometry distinct from classical six-strut systems, making it a distinct kinematic variant within the hexapod family; though not a separate generation, since it does not change the underlying paradigm. Similarly, the mechanical/strut changes and accompanying software innovations in Smart Correction, TL-HEX, Spider Frame, and Orthex are significant, but kinematically these systems remain within the Hexapod family.

Generation III: Octopod. The post-hexapod paradigm shift occurred with the Adam Frame.
AF-I, developed in 2008, is the first octopod architecture: a new parallel-manipulator approach with a octogonal base and eight arms.

Its mechanical architecture was the subject of a 2009 patent application and gained commercial/clinical visibility in the same period (technological origin 2008, commercial visibility 2009).
AF-II, the Adam Frame's second mechanical stage, is an octopod with a quadrilateral base and vertical-edge geometry, appearing at product level in 2010. The 2011 Işın patent defines the combined connection of vertical and oblique arms as a more general technical teaching: its significance lies in extending the architecture beyond a fixed "4 vertical + 4 oblique = 8 arms" arrangement, instead describing a variable 6-DOF architecture with differing numbers of vertical/oblique arms and combined connections.
This development can be conceptualized through three geometric configurations: octogonal-base octopod (AF-I), quadrilateral-base octopod (AF-II), and triangular-base octopod (a geometric variant). The first two represent the Adam Frame's commercialized stages; no commercialized product has been identified for the triangular-base configuration.

2.3.3 Lambda: Not a New Generation, but a Triangular-Base Octopod Variant

There is insufficient basis for adding Lambda Fixator to the kinematic timeline as an independent generation. Its mechanical structure can be read as a different configuration of the vertical-oblique combined-arm architecture already disclosed in the Adam Frame/Işın patent; six variable elements arranged on a triangular base, i.e. a triangular-base octopod variant. The difference is not a new motion principle but a change in geometric arrangement and arm count; the system still targets 6-DOF spatial motion. This matters for the scope of the 2011 Işın patent, which already discloses vertical and oblique arms, their combined connections, and variable arm counts; organizing six rather than eight elements in a triangular arrangement does not by itself constitute a paradigm beyond that prior teaching.
This assessment rests not only on chronological priority but also on the degree of commercialization and clinical validation. The octopod architecture was developed, patented, productized, and clinically used years before Lambda via the Adam Frame; Lambda, by contrast, is not an established/commercialized product and lacks clinical results demonstrating a new clinical technology generation. A later corrigendum also corrected the erroneous "octopod" terminology used for Lambda.
Positioning Lambda as an independent generation would therefore place an unvalidated mechanical configuration ahead of an architecture developed earlier and more broadly disclosed in patent. This example is addressed in the Discussion (3.2) as a general methodological problem of defining generations from unvalidated products.
The kinematic innovation history should thus be read through actual paradigm shifts, not through Lambda: Generation I (Modular Ring Fixator) → Generation II (Hexapod) → Generation III (Octopod: AF-I octogonal base [2008/2009] → AF-II quadrilateral/vertical-edge base [2010/2011]). The triangular-base arrangement is not a new generation but a geometric variant associable with the variable-arm approach disclosed in the 2011 Işın patent; Lambda is a later example of this configuration.

2.4 Geometric Innovation Evolution

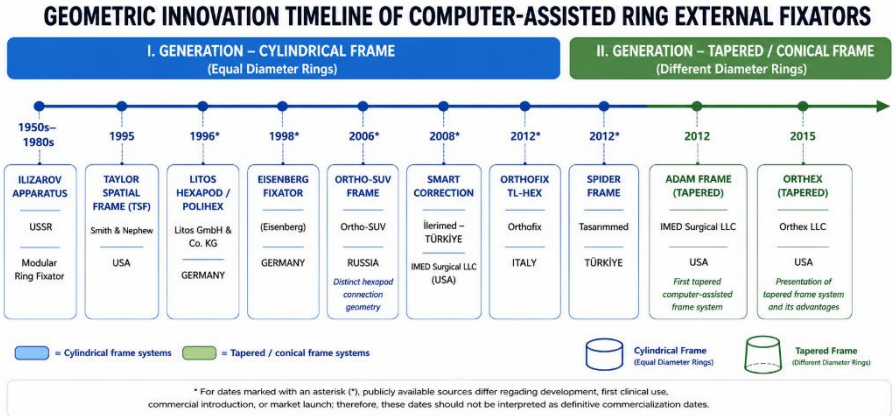


Figure 2. Geometric Innovation Timeline of Computer-Assisted Ring External Fixators
Source: Prepared by the authors.

2.4.1 Conceptual Framework

Beyond kinematic architecture, computer-assisted ring external fixators show a separate innovation line in frame geometry. This study evaluates geometric evolution across two generations based on the diameter relationship between reference rings: cylindrical and conical/tapered. The determining factor is the frame's geometric configuration, not whether the kinematic system is hexapod or octopod, this axis should be read independently of the kinematic axis in Section 2.3.

2.4.2 Generation I: Cylindrical Frame Geometry

From the Ilizarov system onward, the major pre-2012 systems (TSF, Litos/PoliHex, Eisenberg Fixator, Ortho-SUV, Smart Correction, Orthofix TL-HEX, Tasarımmed Spider Frame) performed computer-assisted correction using a cylindrical frame geometry formed by equal-diameter reference rings. Though these systems differ in strut placement, kinematic principle, and software features, they preserve the cylindrical paradigm in overall frame geometry and can therefore be treated as the same generation on the geometric axis.

2.4.3 Generation II: Conical/Tapered Frame Geometry

The geometric paradigm changed in 2012 with the Adam Frame. Developed by IMED Surgical LLC, it introduced a tapered/conical frame geometry allowing rings of different diameters within the same construct. This was not merely a mechanical modification of ring diameter: differing proximal and distal ring diameters require deformity-correction calculations to be redefined for the new construct; the joint application of the tapered structure in both mechanical design and software calculation represents the transition from cylindrical to conical frame geometry.

The tapered construct is particularly significant for the femoral region: because anatomical volume differs across levels of the limb, using different ring diameters proximally and distally allows the frame geometry to better match patient anatomy. This application was reported in an academic case study published in 2013. A later significant example of tapered geometry is Orthex; a 2015 Orthex presentation addressed the tapered frame structure and its advantages, extending the geometry introduced by the Adam Frame in 2012 to Orthex's usage by 2015.

Geometric innovation evolution can be summarized across two generations:

Generation I – Cylindrical Frame: Ilizarov → TSF → Litos/PoliHex → Eisenberg Fixator → Ortho-SUV → Smart Correction → Orthofix TL-HEX → Spider Frame

Generation II – Tapered/Conical Frame: 2012, Adam Frame/IMED Surgical LLC (different-diameter rings + geometric calculation in software) → 2013, Adam Frame academic case publication (femoral clinical application) → 2015, Orthex/Orthex LLC (tapered frame presentation)

The core geometric innovation is the shift from the cylindrical geometry of equal-diameter rings to a tapered geometry combining different-diameter rings with that difference incorporated into software calculations, a distinct generational shift, separate from the kinematic generation.

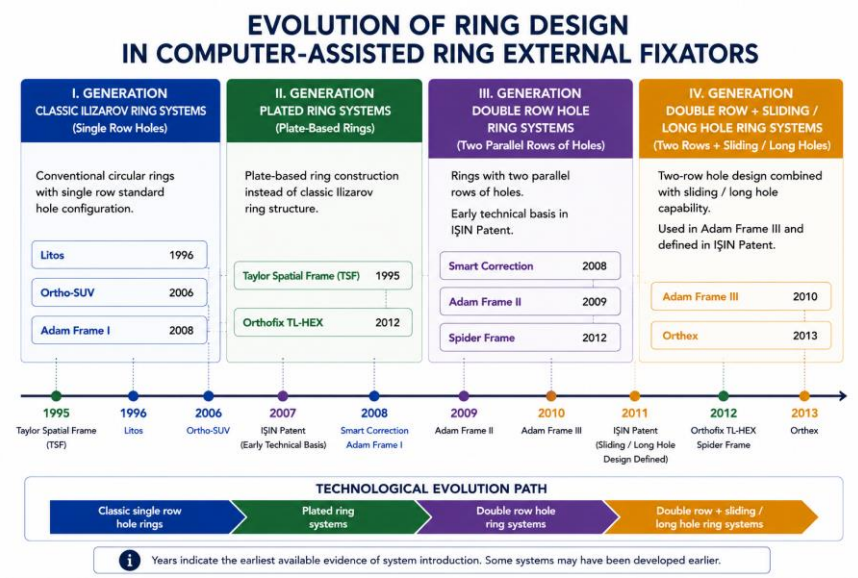
2.5 Ring Design Evolution

2.5.1 Conceptual Framework

The mechanical evolution of computer-assisted ring fixators can also be tracked through changes in ring body and hole geometry, separate from kinematic architecture and frame geometry. Systems fall into four design stages.

2.5.2 A Four-Generation Ring Design Classification

Figure 3. Evolution of Ring Design in Computer-Assisted Ring External Fixators



Source: Prepared by the authors.

Generation I Classical Ilizarov Ring Systems: traditional circular ring geometry with a single row of standard holes. Litos (1996), Ortho-SUV (2006), and Adam Frame I (2008) belong here.

Generation II Plate-Based Ring Systems: ring body formed by a plate-based construct. Taylor Spatial Frame (1995) and Orthofix TL-HEX (2012) are the main examples.

Generation III Double-Row Perforated Ring Systems: two parallel hole rows on the ring. The early technical basis appears in Işın's 2007 patent; Smart Correction (2008), Adam Frame II (2009), and Spider Frame (2012) are product examples of this architecture.

Generation IV Double-Row Perforated and Sliding/Long-Hole Ring Systems: the double-row architecture extended with a sliding/long-hole structure. Used in Adam Frame III (2010) and described in the 2011 Işın patent, this approach later appears in Orthex (2013) as well.
Ring design thus evolves along a distinct mechanical axis: single-row perforated → plate-based → double-row perforated → double-row perforated with sliding/long-hole. Though these four generations overlap chronologically (1995–2013) with the axes in Sections 2.3 and 2.4, they have their own breakpoints, notably the 2007 and 2011 Işın patents.

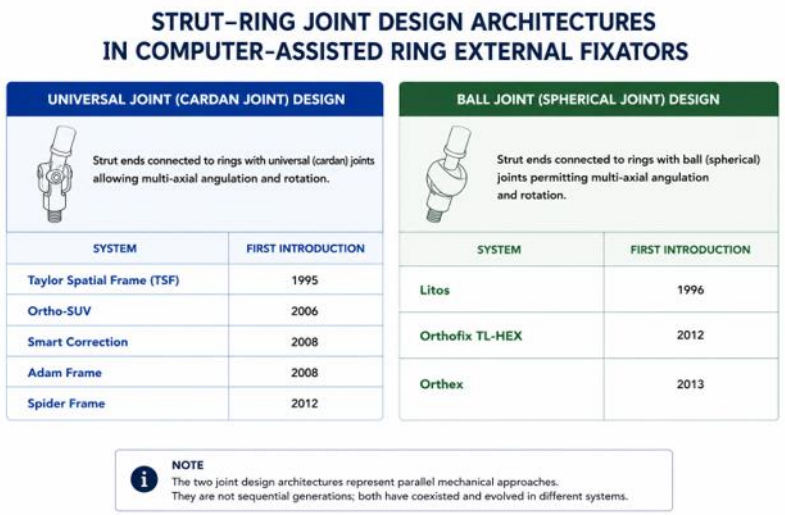


Figure 4. Strut-Ring Joint Design Architectures in Computer-Assisted Ring External Fixators

Source: Prepared by the authors.

2.6 Strut-Ring Joint Evolution

2.6.1 Conceptual Framework

The joint structures connecting struts to rings form one of the core components of strut design. Systems reviewed fall into two mechanical design families, Universal Joint (Cardan Joint) and Ball Joint (Spherical Joint), each achieving strut-ring angular motion through a different joint geometry.

2.6.2 Two Parallel Design Families

The Universal Joint (Cardan Joint) design is one of the foundational approaches used from an early stage: the Taylor Spatial Frame (1995) is an early example, with the same principle appearing in Ortho-SUV (2006), Smart Correction (2008), Adam Frame (2008), and Spider Frame (2012).

Developing in parallel, the Ball Joint (Spherical Joint) design achieves multi-axis motion through spherical joint geometry; an early example appears in Litos (1996), followed by Orthofix TL-HEX (2012) and Orthex (2013).

2.6.3 Assessment of the Parallel Families

The evolution of strut-ring joints is not a linear generational shift but the parallel development of two families; Universal/Cardan Joint and Ball/Spherical Joint, both developed simultaneously by different manufacturers between 1995 and 2013, with neither replacing the other.

This distinction is independent of the strut's extension mechanism (see Section 2.7). A strut may use a universal joint connection while also having a double-telescoping extension mechanism, the two features do not determine one another; despite sharing the same physical component, the strut-ring joint and the strut extension mechanism are independent innovation axes.

2.7 Strut Extension Mechanism Evolution

2.7.1 Conceptual Framework

Beyond connecting rings, struts are the motion components that physically apply the calculated six-axis correction. Independent of the joint distinction in Section 2.6, strut design evolution can be examined in three stages based on how length is changed.

2.7.2 A Three-Generation Classification

Generation I Conventional Telescoping Struts: Early systems relied on single-stage telescoping struts, with length changed by turning a threaded mechanism.

TSF (1995) is an early example; Litos (1996), Ortho-SUV (2006), Smart Correction (2008), Adam Frame (2008), and Spider Frame (2012) use the same architecture.

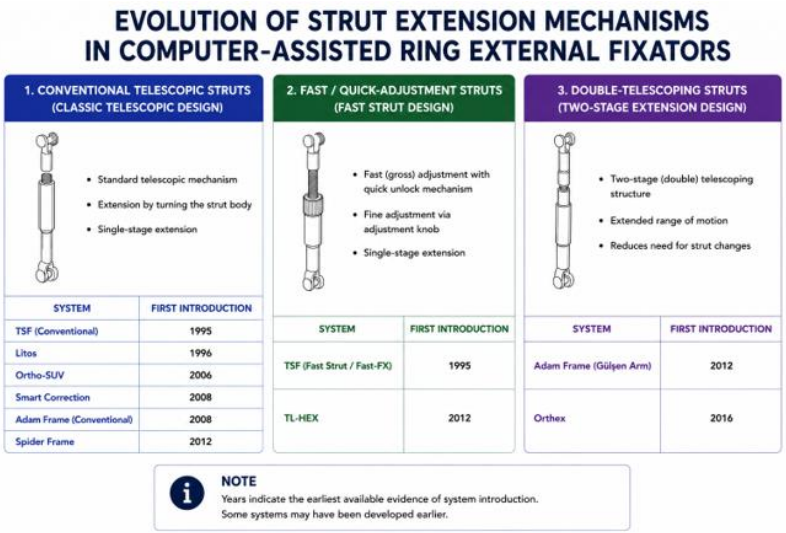


Figure 5. Evolution of Strut Extension Mechanisms in Computer-Assisted Ring External Fixators

Source: Prepared by the authors.

Generation II Fast/Quick-Adjustment Struts: The first mechanical breakpoint is the addition of a rapid length-change mechanism. TSF's Fast Strut/Fast-FX combines fast coarse adjustment with controlled fine adjustment in one structure, avoiding lengthy turning for large length changes. TL-HEX (2012) is placed at this stage due to a similar fast/gradual adjustment feature.

Generation III Double-Telescoping Struts: The second breakpoint is the shift to a two-stage telescoping structure; two nested stages extend the usable length range. An early example is the 2012 design developed for the Adam Frame and commercialized as the Gülşen Arm. The same approach appears in Orthex, whose struts of this type are documented in clinical use by 2016.

2.7.3 Generational Transitions Within a Product Family

The same product family can occupy different generations over time: TSF's conventional strut is Generation I, its Fast Strut/Fast-FX design Generation II; the Adam Frame's 2008 conventional strut is Generation I, its 2012 Gülşen Arm design Generation III. Strut evolution should thus be read through the chronology of mechanism innovations; conventional telescoping → Fast/Quick-Adjustment → Double-Telescoping, rather than product chronology. Together with the joint axis in Section 2.6, this forms one of two independent dimensions of strut-level mechanical innovation.

2.8 Digital Clinical Process Evolution

2.8.1 Conceptual Framework

Software development can also be assessed by which stages of the clinical process digital technology covers: a three-stage progression from computer assistance limited to postoperative correction, to the inclusion of preoperative planning, to the addition of digital control/monitoring functions. "Preoperative planning" must be distinguished from "preoperative digital planning": surgeons analyzing deformity on radiographs, determining CORA, or planning the frame are clinical practices that predate computer-assisted systems. The technological breakpoint is these tasks becoming a software-based process, through bringing the radiographic image into a digital environment for digital measurement/analysis/planning. The third-stage breakpoint is the ability to digitally control and monitor patient outcomes after correction.

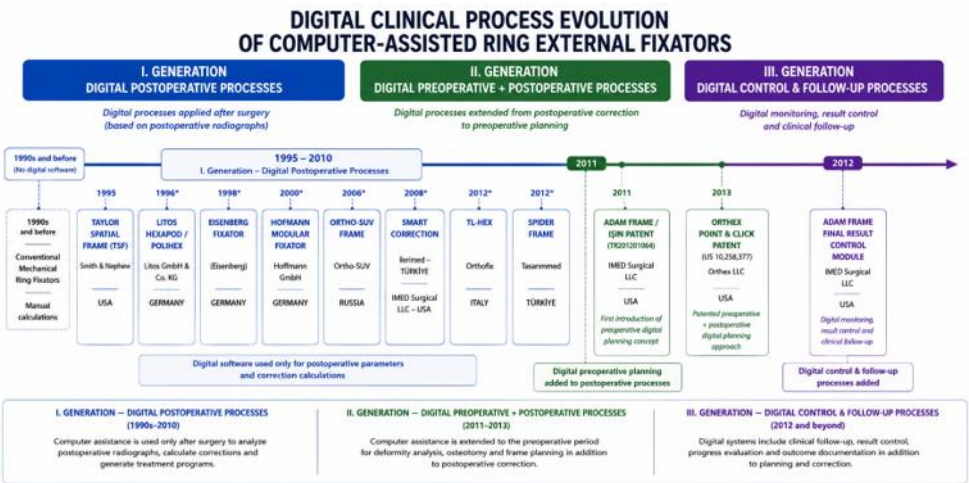


Figure 6. Digital Clinical Process Evolution of Computer-Assisted Ring External Fixators

Source: Prepared by the authors.

2.8.2 Generation I – Digital Postoperative Processes

In the first generation, the digital system's role is to calculate postoperative deformity-correction parameters and generate the correction program. TSF, Litos/PoliHex, Eisenberg Fixator, Ortho-SUV, Smart Correction, TL-HEX, and Spider Frame are the main examples. As available sources do not sufficiently confirm that, before 2011, these products performed digital analysis/planning by loading preoperative radiographs directly into software, their early versions are placed in Generation I.

2.8.3 Generation II – Digital Preoperative + Postoperative Processes

The Generation II paradigm shift is the digital process expanding to before surgery. Its first technical basis is the Işın patent with a January 28, 2011 priority date (Adam Frame), where deformity analysis/planning and postoperative correction become stages of the same digital workflow. A later, explicit example is the Orthex Point & Click patent with a September 27, 2013 priority date, describing the surgeon evaluating osteotomy/CORA positions and visualizing correction options preoperatively, with the preoperative plan serving as the basis for the subsequent process.

2.8.4 Generation III – Digital Control and Monitoring Processes

Generation III emerges as digital use expands beyond preoperative/postoperative calculation to cover treatment control and clinical monitoring. An early example is the Final Result Control module in Adam Frame software (2012), which turns the digital system into a mechanism for evaluating correction outcomes; shifting the process from a "plan → calculate → correct" flow to a "plan → correct → monitor/verify outcome" cycle.

2.8.5 A Cumulative Expansion Model

Here, generations are not mutually replacing product classes but functional stages representing the expansion of digital clinical scope: a Generation III system can also retain Generation I and II capabilities. Evolution proceeds by adding new functions rather than removing prior ones, making this, unlike the other six axes, a cumulative development model (Demiralp et al., 2022). The addition of the preoperative process in 2011 via the Işın patent/Adam Frame, and the emergence of the control/monitoring dimension via Final Result Control in 2012, show the digital system's role in the clinical cycle expanding quickly; Orthex's 2013 Point & Click patent is a later documented example of this integrated approach.

2.9 Software Evolution

2.9.1 Definitions and Concepts Used

Evaluating technological development solely through "whether software is used" treats systems performing very different functions at different times as equivalent, this is where the classification inadequacy criticized in Section 2.1 is most evident. In early systems, the computer merely calculated the strut movements needed for a predetermined correction; later systems successively enabled digital mechanical calculation, spatial correction planning, incorporation of the radiographic image into software, algorithmic measurement/deformity analysis, and finally algorithmic integration of anatomical correction planning (Işın et al., 2022). Software evolution is therefore assessed by which stage measurement/analysis/planning functions became digital, and how the clinician-algorithm division of labor changed.

This study distinguishes analog, digital, interactive, and algorithmic operations: performing a task on screen does not make it automatic. Methods where the clinician creates axis/angle/contour references on the radiograph are manual/interactive digital operations; methods where the clinician only marks landmarks, with measurement/angle/deformity parameters then computed by software from those marks, are landmark-based algorithmic operations.

On this basis, software evolution is assessed in five stages: Stage 1 – Analog; Stage 2 – Semi-Analog; Stage 3 – Semi-Digital; Stage 4 – Image-Based Digital (4A Automated, 4B Interactive); Stage 5 – Digital Anatomical. A product is not fixed to one stage; functions added later to its software are treated as a separate stage transition.

2.9.2 Stages 2 and 3: From Mechanical Calculation to Spatial Planning

Stage 2 – Semi-Analog: deformity measurement and anatomical-target determination remain analog and clinician-performed, while mechanical frame-setting calculation is transferred to computer. The Fraunhofer-derived Eisenberg patent of August 11, 1994 is an early example (clinical use 1998); TSF is also at this stage in 1994–1995, as the computer calculates strut changes from clinician-determined data.

Stage 3 – Semi-Digital: the computer no longer calculates individual struts but generates a digital spatial correction plan by computing three-dimensional translations/rotations between starting and target bone segments, though measurement, analysis, and anatomical-target determination remain the clinician's task. The Seide-Wolter system's 1999 software and TSF's 2002 web-based software are early examples; Ortho-SUV's first software (2006), Adam Frame AF1 (2008), early Smart Correction, Spider Frame/Spiderfix (2012), and TL-HEX (2012) share this paradigm. This distinction matters: digital spatial planning is not the same as digital deformity analysis or anatomical planning, Stage 3 systems answer "what movements bring the segment to the target?" but do not themselves answer "what is the correct anatomical target?"

2.9.3 Stage 4: Image-Based Digital Stage (4A and 4B)

4A: the clinician selects landmarks, and the software algorithmically calculates distance/angle/translation parameters. IMED Surgical's Adam Frame AF2, dated March 2010, is the first example of this subtype. Orthofix TL-HEX's 2017 HEX-Ray module also reaches this level; the clinician marks the axis/reference/osteotomy level, and the software algorithmically generates APEX, angular deformity, and translation.

4B: the radiograph is within the software, but the clinician remains the executor of measurement/analysis. Ortho-SUV Ltd.'s RU105821U1 application of May 11, 2010 is an early example; Smart Correction's Radiographic Navigation (2012) and Spider Frame/Spiderfix's image-based measurement tools (2015/2016) also belong to this stage.

The difference between 4A and 4B is not chronological precedence but parallel automation levels within the same digitalization stage, AF2 in 4A (March 2010) and Ortho-SUV in 4B (May 2010) present no contradiction.

2.9.4 Stage 5: Digital Anatomical Stage

At the most advanced stage, following landmark marking, anatomical correction planning, not just measurement/analysis, is also part of the algorithmic process: the software analyzes deformity geometry, generates the correction plan using criteria such as mechanical/anatomical axes, CORA, and osteotomy, and translates it directly into frame/strut movements.

IMED Surgical's AF3/Adam Frame with Paley's Method, developed in June 2010, is treated as the first Stage 5 example, integrating the Paley Method, mechanical/anatomical axes, CORA, and anatomical planning into AF2's landmark-based infrastructure. The software's question shifts from "how should I move the bone segment to the target?" to "what is the deformity anatomically, how should it be corrected, and how should this be applied via the frame?"

Orthex LLC's Point & Click approach, with a September 27, 2013 priority date, is a later documented example of the same paradigm. In this study, ORTHEX is treated not as the first emergence of a new paradigm, but as a later version applying the landmark-based algorithmic measurement/CORA-based planning paradigm reached by AF3 in June 2010 to a hexapod mechanical architecture. The core difference between the two systems is not software clinical function but whether the controlled platform is a Quadrilateral Octopod or a hexapod, a concrete example of the software axis and kinematic axis progressing independently within the same product family.

ORTHEX's 2016, 2019, and 2020 commercialization milestones (FDA clearance, OrthoPediatrics acquisition, DYNEX platform) do not constitute a new software stage; they are treated as the continuation, on different platforms, of the paradigm disclosed in 2013.

2.9.5 Conceptual Assessment

This framework allows software development to be assessed not as a single "analog-to-digital transition" but as the progressive transfer of clinical decision-chain tasks to the computer: the computer's role has expanded from mechanical calculation, to spatial planning, to image-based algorithmic analysis, and finally to anatomical planning.

This approach also explains how the same product can occupy multiple stages over time, a system may move to a different stage in a later software version, so its technological competence can change even where the product name does not. Products are therefore positioned not by a fixed generation, but by the date the relevant function was first documented.

This classification allows "computer-assisted" systems to be compared by which part of the clinical process the computer performs and at what level of automation. The technological history of computer-assisted ring fixators is thus not the chronological order of product names, but the history of measurement-analysis-planning-application responsibility being transferred from clinician to software, the most direct validation of the seven-axis framework proposed against the classification inadequacy in Section 2.1.

3. DISCUSSION

3.1 Differences Among Innovation Breakpoints and Their Effect on Classification

Across the seven axes, each shows its own independent breakpoints. First, these breakpoints do not cluster on a single date: the kinematic shift to octopod occurred in 2008–2011, the geometric shift to tapered frame in 2012, the digital clinical process's shift to Generation II in 2011, and the software shift to Stage 5 in June 2010. Their clustering around 2010–2012 shows the Adam Frame advancing simultaneously on several axes in this period, but also that the axes are not direct consequences of one another; in the same period, manufacturers like Ortho-SUV and Orthex advanced on some axes while lagging on others.

Second, a product's generational level on one axis does not determine its position on another: TSF is Generation II (Hexapod) kinematically, Generation II (Plate-Based Ring) in ring design, within the Universal/Cardan joint family, and between Stages 2–3 in software; the Adam Frame is Generation III (Octopod) kinematically, Generation III–IV in ring design, also within the Universal/Cardan family, and spans Stage 3 to Stage 5 in software. This shows that a single generational label cannot fully represent a product; accurate positioning requires stating its status on each of the seven axes separately. Indeed, recent comparative literature likewise shows that although computer-assisted ring fixators may share a

common underlying architecture, systems differ notably in hardware, strut placement, and software features (Iobst et al., 2023).

Third, direct interactions exist between axes: the isostatic/hyperstatic distinction in Section 1.3 shows that the hexapod-octopod transition directly affects software computational complexity. Similarly, the difference between ORTHEX and Adam Frame AF3 (Section 2.9) lies not in software clinical function but in the nature of the controlled platform (hexapod/octopod), showing that the software axis is not fully independent of kinematics, yet still requires separate classification, since the same software paradigm can be applied to different platforms.

These observations reveal the core problem of single-axis generational models (including Fernando et al.'s): results can conflict depending on which axis is taken as primary. A kinematics-based classification places TSF and Ortho-SUV in the same generation, while a software-based classification may place them at different stages. Fernando et al.'s (2021) classification of external fixators by structural characteristics is a current example of this single-axis approach. Classification itself must therefore be constructed multi-axially.

3.2 The Problem of Defining Generations from Unproduced/Unvalidated Products

The Lambda Fixator example in Section 2.3.3 illustrates a further methodological problem raised by the multi-axis framework: presenting an uncommercialized configuration as an independent generation ahead of a previously developed and validated technology. The root problem is inconsistency in what "generation" is based on, sometimes mere mechanical difference, sometimes clinical/commercial validation. In Lambda's case, presenting the triangular-base octopod variant as a "third generation" disregards both chronological priority (the Adam Frame patented the same architecture years earlier) and the absence of clinical validation.

This points to a methodological principle: a configuration can only be counted as an independent new generation if it is shown both that (i) it genuinely exceeds the scope of prior technical teaching, and (ii) it corresponds to a commercially/clinically validated application, either condition alone is insufficient. A broader implication is that attributing a term like "octopod" beyond its actual scope deserves the same scrutiny; the correction of Lambda's terminological misuse via a corrigendum shows that such confusion can have consequences even at the level of published literature.

3.3 Extending Beyond the Study's Boundaries

This study's scope was defined by the March 1, 2015 boundary in Section 1.4; however, the proposed seven-axis framework is designed as a date-independent methodology applicable to post-2015 products as well. Extending beyond this boundary to reassess other market products under the same model is an important direction for future work: (i) full seven-axis positioning of products treated only briefly here, such as Lambda; (ii) integrating post-2015 robotic and advanced image-processing approaches (e.g., AI-based automatic landmark detection) into the five-stage software classification; (iii) a comparative map of different manufacturers' current products across the seven axes. Such extension should remain faithful to this study's methodological principles: reliance on primary sources, separating chronological priority from validation, and independent assessment of each axis.

3.4 The Mutability of Classification Headings in Light of New Innovations

The proposed seven-axis framework is not a closed system; classification headings are expected to change with future innovation, in two ways: (i) new stages within existing axes, for example, a "Stage 6" in software beyond Stage 5, based on fully automatic image segmentation (see the automation distinction in 2.9.1) (Chen et al., 2022); (ii) the emergence of an entirely new axis, for example, as robotic control matures, it could be absorbed into one of the existing seven axes or constitute an independent eighth axis. This mutability is not a weakness but a methodological necessity: the multi-axis framework makes it possible to explicitly ask which existing axis a new innovation belongs to, or whether it requires a new axis altogether.

4. CONCLUSION

This study has examined the development of computer-assisted ring external fixators from a framework distinct from the single-axis generational models in the existing literature, including Fernando et al. (2021). The findings show that the single entry grouped under "hexapod" in fact spans seven independent innovation axes: kinematic architecture, frame geometry, ring design, strut-ring joint, strut extension mechanism, digital clinical process, and software architecture.

The core conclusion is that this technological development is not a linear device evolution but a multidimensional process, each axis advancing through its own need-innovation-outcome relationship and its own chronological breakpoints. The study's original contribution is applying this relationship systematically across seven parallel axes rather than a single chronological line, making visible the differentiation that single-label generational definitions miss, such as the Taylor Spatial Frame being kinematically early but limited in software, while the Adam Frame reaches advanced stages on both axes. The Lambda example in Section 3.2 demonstrates this framework's practical value: a single-axis assessment could readily accept an unvalidated configuration as a "new generation," whereas a multi-axis, source-based assessment can detect such misordering.

The proposed framework is not a closed system but a continuously updatable methodology: classification headings can and should change over time as innovations receive clinical/commercial validation (Section 3.4). Finally, extending beyond the March 1, 2015 boundary to reassess both later products and market actors outside the study's scope under the same model (Section 3.3) offers a direct roadmap for future research. In this respect, the study is positioned not merely as a historical account of the field, but as a conceptual framework for the systematic assessment of future innovations.

REFERENCES

Chandrashekhar, A., & Babu, G. S. (2015). Jacobian matrix and kinematic analysis of the parallel robots: A survey. *IUP Journal of Mechanical Engineering, 8*(3), 56-.

Chen, X., Liu, X., Wang, Y., Ma, R., Zhu, S., Li, S., Li, S., Dong, X., Li, H., Wang, G., Wu, Y., Zhang, Y., Qiu, G., & Qian, W. (2022). Development and validation of an artificial intelligence preoperative planning system for total hip arthroplasty. *Frontiers in Medicine, 9*, 841202. https://doi.org/10.3389/fmed.2022.841202

Demiralp, B., Işın, T., Işın, Z. C., & Atbaşı, Z. (2022). Yazılım yardımlı konvertibl eksternal fiksatör ve savaş cerrahisinde kullanımı. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 56*(Suppl. 1), S44.

Fernando, P. L. N., Abeygunawardane, A., Wijesinghe, P. C. I., Dharmaratne, P., & Silva, P. (2021). An engineering review of external fixators. *Medical Engineering & Physics, 98*, 91-103. https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2021.11.002

Iobst, C., Ferreira, N., & Kold, S. (2023). A review and comparison of hexapod external fixators:

Current concept review. *Journal of the Pediatric Orthopaedic Society of North America, 5*(1), 627. https://doi.org/10.55275/JPOSNA-2023-627

Işın, T., Elevli, B., Işın, Z. C., Atbaşı, Z., Özgüner Erdursun, A., Baysal, M., Aksakal, F., Tokaç, S.,

Fidan, H., Ünsal, N., Demirci, İ., & Demiralp, B. (2022). Bilgisayar ve artırılmış gerçeklik (AR) destekli ortopedik eğitim simülatörü. *Acta Orthopaedica et Traumatologica Turcica, 56*(Suppl. 1).

Müller, A. (2013). On the terminology and geometric aspects of redundant parallel manipulators. *Robotica, 31*(1), 137-147. https://doi.org/10.1017/S0263574712000173

Seybold, D., Geßmann, J., Muhr, G., & Graf, M. (2008). Deformity correction with the Taylor spatial frame after growth arrest of the distal radius: A technical note on 2 cases. *Acta Orthopaedica, 79*(4), 571-575. https://doi.org/10.1080/17453670710015607

A NUMERICAL STUDY USING THE LEAST SQUARES METHOD WITH QUINTIC HERMITE BASIS FUNCTIONS

Merve GÜLER
Inonu University, Mathematics Department, Malatya, Turkey
ORCID: 0009-0007-1895-3191

Prof. Dr. Nuri Murat YAĞMURLU
Inonu University, Mathematics Department, Malatya, Turkey
ORCID: ID/0000-0003-1593-0254

Abstract
This study presents a numerical investigation of the least-squares method for a prototype problem given with homogeneous boundary conditions. Hermite basis functions will be used as the approximation function. An analytical solution for the prototypical problem under consideration is available; therefore, the error norms for the results obtained will be calculated and presented separately. First, the solution domain is discretized; the equation is derived by selecting a typical element divided into subdomains, and the solutions are then combined to arrive at a general solution. By applying the boundary conditions provided with the problem, the excess number of unknowns is eliminated, resulting in a solvable system of algebraic equations. Using this scheme, the code is written in one of the programming languages, and the simulation is performed. The advantage of having an analytical solution for the problem under consideration is the ability to examine the obtained results and, if applicable, compare them with results in the literature. This fundamental application of the method to a prototype problem will allow the researchers to apply the current method to a wide range of problems including ordinary, partial even fractional order derivatives.
Keywords: Dirichlet-type boundary condition, Least Squares Method, Analytical solution.

This study is supported by Inonu University Scientific Research Project with project number FYL-2026-4682.

YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE YANGIN ANINDA ÇOK KRİTERLİ TAHLİYE ROTALARININ HAVALANDIRMA OPTİMİZASYONU VE A* ALGORİTMASIYLA BELİRLENMESİ

MULTI-CRITERIA DETERMINATION OF EMERGENCY EVACUATION ROUTES IN UNDERGROUND COAL MINES DURING FIRES USING VENTILATION OPTIMIZATION AND THE A ALGORITHM*

Doğan Salih TEPİCİ[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0003-0923-1614

Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296

Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840

Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR[2,*]
[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706

ÖZET

Yeraltı kömür madenlerinde yangın sırasında en kısa tahliye güzergâhı, toksik gaz, oksijen azalması, sıcaklık ve görüş kaybı nedeniyle her zaman en güvenli güzergâh değildir. Bu çalışmada, bir yeraltı linyit işletmesinin gerçek havalandırma ağı temel alınarak yangın koşullarında çok kriterli ve dinamik tahliye rotası belirlemeye yönelik bilgisayar destekli bir karar destek yaklaşımı geliştirilmiştir. İşletmenin havalandırma ağı üç boyutlu bir maden havalandırma simülasyon yazılımında modellenmiştir. Modelde, fan - regülatör düzenlemeleriyle mevcut ve optimize havalandırma konfigürasyonları oluşturulmuştur. Bu konfigürasyonlarla konveyör yangını, ekipman yangını ve kendiliğinden yanma olmak üzere üç senaryo simüle edilmiştir. Yirmi sekiz sensörden elde edilen CO, O_2, ıslak termometre sıcaklığı, görüş mesafesi ve CO_2 verileri ağ düğümlerine eşleştirilmiş; sensör bulunmayan düğümlerde ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon uygulanmıştır. Her çevresel parametre 0-1 aralığında normalize edilmiş ve eşit ağırlıklı bileşik risk skoru hesaplanmıştır. Tahliye güzergâhı seçiminde A* algoritmasının kenar maliyeti, galeri uzunluğu ile riskin karesine bağlı ceza terimini birlikte içerecek biçimde tanımlanmıştır. YANGIN1 senaryosunun 600. saniyesinde mevcut düzende 465 m uzunluğunda ve ortalama risk skoru 0,24 olan güzergâh seçilirken, optimize düzende ortalama risk 0,08'e düşmüştür. YANGIN2'de mevcut sistemde yüksek risk nedeniyle algoritma 946 m'lik alternatif güzergâha yönelmiş, optimize düzende ise 644 m'lik rota ile tahliye süresi 17,5 dakikadan 11,9 dakikaya inmiştir. YANGIN1 için 3600. saniyede yapılan karşılaştırmada O_2'nin kritik eşik altına düşme zamanı 332 saniyeden 709 saniyeye yükselmiş, rota boyunca ortalama risk %58 azalmış ve çalışanlara yaklaşık 6 dakika ek güvenli süre sağlanmıştır. ±%10 ağırlık hassasiyet analizinde 11 konfigürasyonun tamamında optimal rotanın değişmemesi, geliştirilen yöntemin ağırlık seçimine karşı kararlı olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, yangın tahliye planlamasında mesafe odaklı statik yaklaşımlar yerine havalandırma koşulları ve dinamik çevresel riskleri birlikte değerlendiren çok kriterli yöntemlerin daha güvenli kararlar üretebildiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı Kömür Madenciliği, Tahliye Optimizasyonu, A* Algoritması, Yangın, Havalandırma, Çok Kriterli Risk.

ABSTRACT
During a fire in an underground coal mine, the shortest evacuation route is not always the safest due to toxic gases, oxygen depletion, elevated temperatures, and reduced visibility. In this study, a computer-aided decision-support approach was developed for multi-criteria and dynamic evacuation route determination under fire conditions, based on the actual ventilation network of an underground lignite mine. The mine ventilation network was modeled using three-dimensional mine ventilation simulation software. Existing and optimized ventilation configurations were established through fan and regulator adjustments. Three scenarios -conveyor fire, equipment fire, and spontaneous combustion - were simulated under these configurations. CO, O_2, wet-bulb temperature, visibility, and CO_2 data obtained from 28 sensors were mapped to network nodes, while inverse distance weighting interpolation was applied to nodes without sensors. Each environmental parameter was normalized to a 0-1 range, and an equally weighted composite risk score was calculated. For evacuation route selection, the edge cost function of the A* algorithm was defined to incorporate both roadway length and a penalty term proportional to the square of the risk. At 600 s in the FIRE1 scenario, the existing ventilation configuration resulted in the selection of a 465 m route with an average risk score of 0.24, whereas the optimized configuration reduced the average risk to 0.08. In FIRE2, the algorithm selected an alternative 946 m route under the existing configuration due to high risk, while the optimized configuration enabled evacuation via a 644 m route, reducing the evacuation time from 17.5 to 11.9 min. For FIRE1, comparison at 3600 s showed that the time at which O_2 fell below the critical threshold increased from 332 to 709 s, the average risk along the route decreased by 58%, and approximately 6 min of additional safe evacuation time was provided to mine personnel. In the ±10% weight sensitivity analysis, the optimal route remained unchanged across all 11 configurations, demonstrating the robustness of the proposed method to variations in weighting factors. The results indicate that multi-criteria approaches integrating ventilation conditions and dynamic environmental risks can provide safer evacuation decisions than conventional distance-based static approaches in underground mine fire evacuation planning.
Keywords: Underground Coal Mining, Evacuation Optimization, A* Algorithm, Fire, Ventilation, Multi-Criteria Risk.

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenlerinde yangınlar; yüksek sıcaklık, toksik gaz oluşumu, görüş kaybı ve hava akım yönlerindeki değişim nedeniyle çalışanların tahliyesini kısa sürede kritik hâle getirebilen acil durumlar arasındadır. Yangın sırasında havalandırma sistemi duman ve gazların taşınım yönünü doğrudan belirlerken, yangın kaynaklı ısıl etkiler normal hava akım düzenini de değiştirebilmektedir. Bu nedenle yangın güvenliği, havalandırma ve tahliye planlamasının birbirinden bağımsız ele alınamayacağı bütünleşik bir mühendislik problemidir (McPherson, 1993; Hartman ve ark., 1997; Pamučar ve ark.,2016; Lotero ve ark., 2023).

Klasik tahliye planları çoğunlukla en kısa veya en hızlı güzergâhın seçilmesine dayanır. Ancak yangın gibi dinamik olaylarda en kısa yol yüksek CO konsantrasyonu, oksijen yetersizliği, yüksek sıcaklık veya düşük görüş nedeniyle kısa sürede kullanılamaz hâle gelebilir. Bu nedenle mesafe yanında gaz konsantrasyonu, sıcaklık, görüş ve diğer çevresel parametrelerin birlikte değerlendirildiği çok kriterli tahliye yaklaşımlarına ihtiyaç vardır (Gale, 1996; Wu ve ark., 2016).

Ağ teorisine dayalı A* algoritması, bir başlangıç düğümünden hedefe ulaşan en düşük maliyetli güzergâhı sezgisel olarak belirleyebilmektedir. Kenar maliyetinin yalnızca fiziksel mesafe yerine risk ile ilişkilendirilmesi, algoritmayı yangın kaynaklı tehlikeli bölgelerden uzaklaştırabilecek bir karar destek aracına dönüştürmektedir. Böylece kısa ancak tehlikeli bir güzergâh yerine daha uzun fakat düşük riskli bir rota tercih edilebilir (Androulakis ve ark., 2025; Lee ve ark., 2025).

Bu çalışmanın amacı, bir yeraltı linyit işletmesinde yangın anında ortaya çıkan CO, O_2, sıcaklık, görüş mesafesi ve CO_2 koşullarını tek bir bileşik risk skorunda birleştirerek, havalandırma optimizasyonu öncesi ve sonrası koşullarda A* algoritması ile en güvenli tahliye güzergâhlarını belirlemektir. Çalışmada ayrıca modelin ağırlık katsayılarına duyarlılığı incelenmiş ve geliştirilen yazılım mimarisinin farklı havalandırma düzenlerinde uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Sahası ve Havalandırma Ağı

Çalışma, çok galerili ve uzun ayak üretim yönteminin uygulandığı bir yeraltı linyit işletmesine ait gerçek geometrik ve havalandırma verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İşletme ve coğrafi konum bilgileri bildiride anonimleştirilmiştir. Model girdileri arasında 5×5 m'lik galeri kesiti, 1,2 kg/m^3 hava yoğunluğu, %80 bağıl nem, 150-250 kJ/kg kömür ısı üretim katsayısı, 0,25 W/mK ısı iletim katsayısı, %25-75 regülatör açıklıkları ve %5-20 hava sızıntısı yer almaktadır.

2.2. Havalandırma Modellemesi ve Optimizasyonu

İşletmeye ait üretim ve hazırlık planları bilgisayar destekli tasarım ortamında topolojik olarak düzenlenmiş ve üç boyutlu maden havalandırma simülasyon ortamına aktarılmıştır. Ana ve yardımcı fanlar, regülatörler, hava kapıları, barajlar ve sanal sensör noktaları ağ üzerindeki konumlarına göre tanımlanmıştır. Model, saha hava hızı ölçümleri ile kalibre edilmiştir. Mevcut koşullarda A1, A2 ve A6 üretim panolarında hava hızları sırasıyla 0,1, 0,3 ve 0,2 m/s olup 0,5 m/s minimum kriterinin altında kalmıştır.

Optimizasyon kapsamında A6 bölgesindeki yardımcı fan debisi 13 m^3/s'den 25 m^3/s'ye yükseltilmiş; ana hava giriş kolunda %53 ve A2 temiz hava giriş kolunda %65 açıklığa sahip regülatör düzenlemeleri uygulanmıştır. Böylece A1, A2 ve A6 panolarında hava hızları 0,5 m/s seviyesine çıkarılmıştır. A1 ve A6 galerilerinde 30 °C'ye ulaşan kuru hava sıcaklığını düşürmek amacıyla ana temiz hava girişine 20 °C çevre sıcaklığı sınır koşulu tanımlanmıştır.

2.3. Yangın Senaryoları ve Sensör Verileri

Üç farklı yangın senaryosu tanımlanmıştır: YANGIN1 ana nakliye yolunda 150 kg kauçuk ve 50 L dizel yakıt ile temsil edilen konveyör yangını; YANGIN2 üretim bölgesinde 80 L hidrolik yağ ve 20 kg plastik ile temsil edilen ekipman yangını; YANGIN3 ise terk edilmiş üretim alanında 1 ton düşük ranklı kömür ile temsil edilen kendiliğinden yanmadır. Simülasyonlar saniye çözünürlüğünde yürütülmüş; her sensör için CO, O_2, ıslak termometre sıcaklığı, görüş mesafesi ve CO_2 zaman serileri kaydedilmiştir.

Toplam 28 sanal sensör havalandırma ağı düğümleriyle eşleştirilmiştir. Sensör bulunmayan düğümlerde değerler komşu sensörlerin graf mesafelerine göre ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle tahmin edilmiştir. Böylece ağın tüm düğümleri için kesintisiz çevresel risk değerleri oluşturulmuştur.

2.4. Çok Kriterli Risk Skoru

Farklı birimlerdeki çevresel parametreler güvenli alt sınır ve tehlike eşiği arasında 0-1 aralığına normalize edilmiştir. Nesnel bir kriter önceliği sağlayacak yeterli ampirik veri bulunmadığından CO, O_2, görüş mesafesi, sıcaklık ve CO_2 parametrelerine eşit ağırlık verilmiş ve bileşik risk skoru aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$R(n) = 0{,}20 \cdot R_{CO} + 0{,}20 \cdot R_{O_2} + 0{,}20 \cdot R_{Görüş} + 0{,}20 \cdot R_{Sıcaklık} + 0{,}20 \cdot R_{CO_2} \quad (1)$$

2.5. A* Tabanlı Tahliye Rotası

Tahliye güzergâhının belirlenmesinde A* algoritması kullanılmıştır. Toplam maliyet f(n)=g(n)+h(n) olarak tanımlanmış; h(n) düğümden hedef çıkışa olan Öklid mesafesini, g(n) ise başlangıçtan ilgili düğüme kadar biriken risk duyarlı kenar maliyetlerini temsil etmiştir. Kenar maliyeti aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır:(Aiello ve ark., 2022; Tang ve ark., 2023)

$$g(kenar) = L \times (1 + R^2 \times 10) \quad (2)$$

Burada L galeri uzunluğunu, R ise kenarın iki uç düğümündeki ortalama bileşik risk skorunu göstermektedir. Riskin karesinin kullanılması, yüksek risk değerlerinin maliyetini doğrusal olmayan biçimde artırarak algoritmanın tehlikeli bölgelerden kaçınmasını güçlendirmektedir.

Bu yaklaşım, özellikle yangının yayılma hızına bağlı olarak değişen dinamik risk haritalarının anlık güncellenmesine olanak tanıyarak personelin duman ve zehirli gaz maruziyetini minimize eden en güvenli tahliye güzergâhlarını garanti altına almaktadır (Adjiski ve Despodov, 2020; Owusu-Ansah ve ark., 2025). Bu modelleme yaklaşımı, havalandırma ağı simülasyonları ile elde edilen verilerin gerçek zamanlı izleme sistemleriyle entegre edilerek acil durum eylem planlarına dinamik bir perspektif kazandırılmasını desteklemektedir (İnal ve Kahraman, 2023). Ayrıca bu dinamik yaklaşım, yangın yayılımının öngörülemez olduğu kapalı ortamlarda havalandırma verilerini kullanarak tahliye rotalarının sürekli yeniden hesaplanmasını mümkün kılmaktadır (Deng ve ark., 2022).

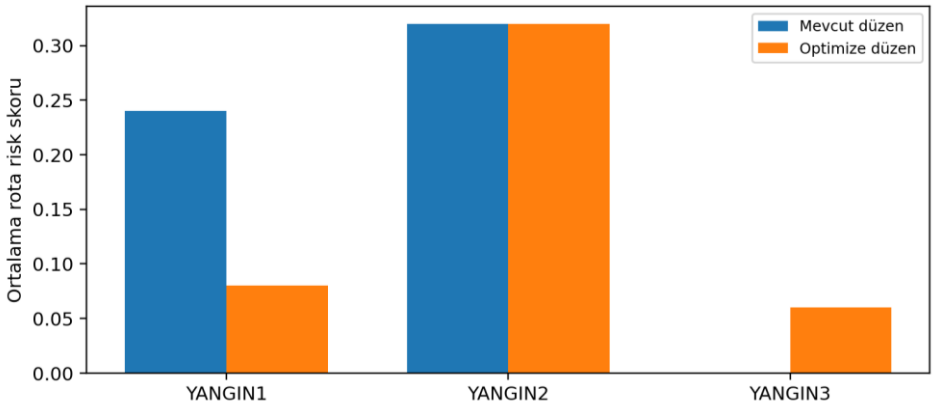
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mevcut Düzen İçin A* Tahliye Sonuçları

YANGIN1 senaryosunun 600. saniyesinde N100 başlangıç düğümünden yapılan analizde algoritma N198 çıkışını seçmiş; 14 düğümlü güzergâhın toplam uzunluğu 465 m, ortalama risk skoru 0,24, maksimum risk skoru 0,35 ve tahmini tahliye süresi 7,9 dakika olarak belirlenmiştir. YANGIN2'de ise kısa güzergâhın yangın etkisi altında kalması nedeniyle algoritma N199 çıkışına yönelen 946 m uzunluğundaki alternatif yolu seçmiş; ortalama risk 0,32, maksimum risk 0,80 ve tahmini tahliye süresi 17,5 dakika olmuştur. Bu sonuç, en kısa yolun yangın koşullarında her zaman en güvenli yol olmadığını doğrudan göstermektedir.

3.2. Havalandırma Optimizasyonunun Tahliye Rotalarına Etkisi

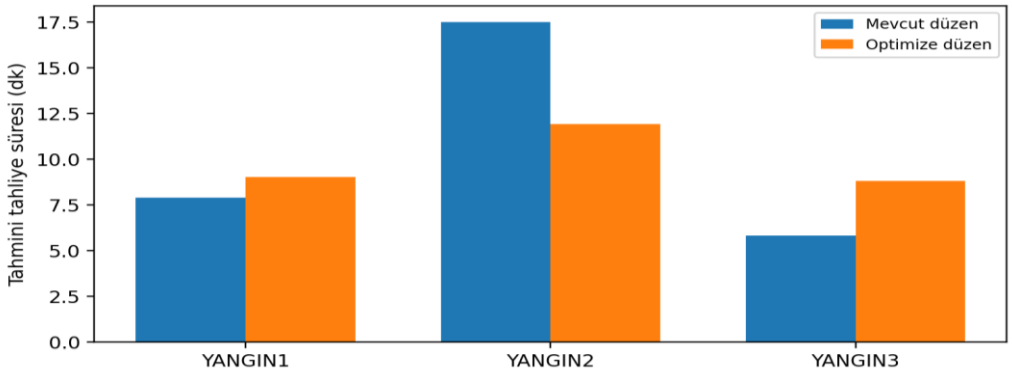
Optimize havalandırma düzeninde üç yangın senaryosunun tamamında algoritma N198 çıkışına yönelen 644 m uzunluğunda ortak bir tahliye koridoru belirlemiştir. YANGIN1'de ortalama risk 0,24'ten 0,08'e, maksimum risk 0,35'ten 0,24'e gerilemiştir. YANGIN2'de ortalama risk 0,32 düzeyinde kalmasına rağmen maksimum risk 0,80'den 0,66'ya düşmüş, tahliye süresi ise 17,5 dakikadan 11,9 dakikaya inerek yaklaşık %32 kısalmıştır. YANGIN3'te risk değeri 0,00'dan 0,06'ya yükselmiş olsa da güvenli düzeyde kalmış; algoritmanın farklı ve daha uzun bir güzergâha yönelmesi tahliye süresini artırmıştır.



Şekil 1. Mevcut ve optimize havalandırma düzenlerinde ortalama tahliye rotası riskleri.

Tablo 1. A* tahliye rotalarının mevcut ve optimize havalandırma düzenlerinde karşılaştırılması

Senaryo	Düzen	Hedef	Mesafe (m)	Ort. risk	Maks. risk	Süre (dk)
YANGIN1	Mevcut	N198	465	0,24	0,35	7,9
YANGIN1	Optimize	N198	644	0,08	0,24	9,0
YANGIN2	Mevcut	N199	946	0,32	0,80	17,5
YANGIN2	Optimize	N198	644	0,32	0,66	11,9
YANGIN3	Mevcut	N198	465	0,00	0,00	5,8
YANGIN3	Optimize	N198	644	0,06	0,27	8,8

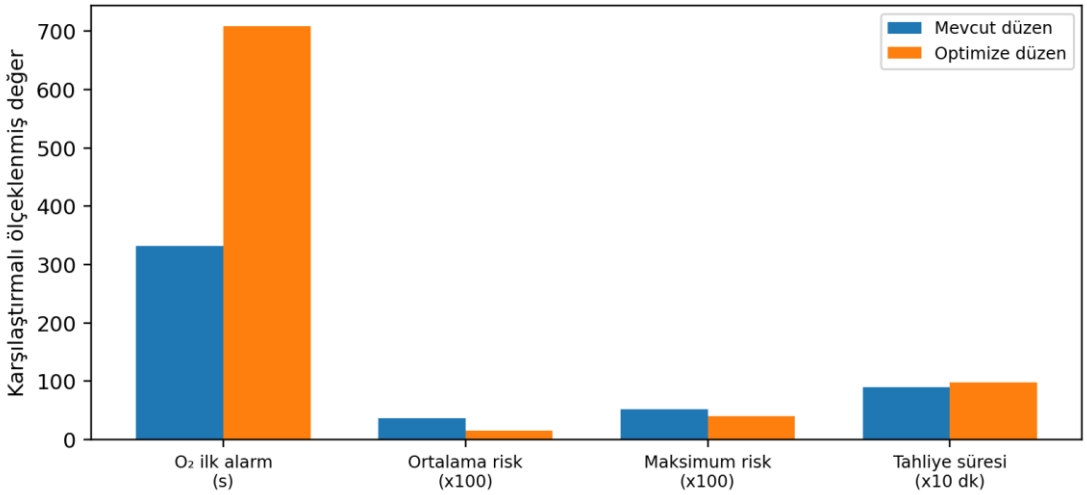


Şekil 2. Mevcut ve optimize havalandırma düzenlerinde tahmini tahliye süreleri.

3.3. YANGIN1 Senaryosunda Güvenlik Kazanımı

YANGIN1 senaryosunda 3600. saniyede yapılan ayrıntılı karşılaştırma, havalandırma optimizasyonunun tahliye güvenliğine etkisini daha belirgin biçimde ortaya koymuştur. O_2'nin kritik eşik altına düşme zamanı mevcut düzende 332 saniye iken optimize düzende 709 saniyeye yükselmiş ve 377 saniyelik, yaklaşık 6 dakikalık ek güvenli süre sağlanmıştır. Rota mesafesi 465 m'den 644 m'ye çıkmasına rağmen ortalama risk skoru 0,36'dan 0,15'e gerileyerek %58 azalmış; maksimum risk ise 0,52'den 0,40'a düşmüştür. Tahmini tahliye süresi 8,9 dakikadan 9,8 dakikaya yükselmiştir.

Bu bulgu güvenlik-süre değiş tokuşunu açık biçimde göstermektedir. Optimize sistem daha uzun bir güzergâh önermesine rağmen işçinin rota boyunca maruz kaldığı ortalama tehlikeyi önemli ölçüde azaltmakta ve oksijenin güvenli kaldığı süreyi artırmaktadır. Dolayısıyla 0,9 dakikalık tahliye süresi artışı, %58'lik risk azalmasıyla birlikte değerlendirildiğinde kabul edilebilir bir güvenlik bedeli olarak yorumlanmıştır.



Şekil 3. YANGIN1 senaryosunda 3600. saniye için seçilmiş güvenlik göstergelerinin karşılaştırılması.

3.4. Hassasiyet Analizi ve Model Kararlılığı

Eşit ağırlık yaklaşımının optimal rota üzerindeki etkisini sınamak amacıyla CO, O_2, görüş, sıcaklık ve CO_2 kriterlerinin ağırlıkları ayrı ayrı ±%10 değiştirilmiş ve baz durum dahil toplam 11 konfigürasyon test edilmiştir. Tüm konfigürasyonlarda 465 m'lik optimal rota değişmemiş; ortalama risk skoru 0,234-0,255 aralığında, tahmini tahliye süresi ise 7,9-8,0 dakika arasında kalmıştır. Tahliye süresindeki değişimin %5'in altında olması, modelin belirli bir kriter ağırlığına aşırı bağımlı olmadığını ve eşit ağırlık yaklaşımının bu veri seti için kararlı sonuç verdiğini göstermektedir.

3.5. Yöntemin Sınırlılıkları

Çalışmanın üç temel sınırlılığı bulunmaktadır. Birincisi, fiziksel yangın davranışının doğrulanması gerçek kaza verileri yerine simülasyon çıktıları üzerinden gerçekleştirilmiştir. İkincisi, geliştirilen model insan hareket hızı, panik, fiziksel kondisyon, kalabalıklaşma (Lee, ve ark., 2025) ve ekipman arızaları gibi tahliye davranışını etkileyebilecek insan faktörlerini kapsamamaktadır. Üçüncüsü, 28 sensörün bulunmadığı ağ düğümlerindeki çevresel parametreler enterpolasyonla tahmin edilmektedir; çalışmada 207 düğüm için yapılan bu tahminler sensörlerin konumu ve yoğunluğuna bağlı belirsizlik taşımaktadır. Bu nedenle sensör sayısının artırılması ve gerçek zamanlı veri entegrasyonu modelin uygulama güvenilirliğini geliştirebilir.

4. SONUÇLAR

Yangın simülasyonu, çok kriterli risk değerlendirmesi ve A* tabanlı rota optimizasyonunu bütünleştiren bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

• CO, O_2, sıcaklık, görüş mesafesi ve CO_2 parametrelerinin eşit ağırlıklı bir bileşik risk skorunda birleştirilmesi, tahliye güzergâhlarının yalnızca mesafeye göre değil dinamik güvenlik koşullarına göre değerlendirilmesini sağlamıştır.

• YANGIN2 senaryosunda mevcut sistemde 465 m'lik kısa güzergâh yerine 946 m'lik daha güvenli alternatif rotanın seçilmesi, en kısa yolun her zaman en güvenli yol olmadığını somut biçimde göstermiştir.
• Havalandırma optimizasyonundan sonra üç yangın senaryosunda aynı 644 m'lik çıkış koridorunun kullanılabilmesi, acil durum yönetimi açısından daha öngörülebilir bir tahliye yapısı oluşturmuştur.
• YANGIN1'in 3600. saniyesinde O_2'nin kritik eşik altına düşme süresi 332 saniyeden 709 saniyeye yükselmiş ve yaklaşık 6 dakika ek güvenli süre elde edilmiştir.
• Aynı karşılaştırmada ortalama rota riski 0,36'dan 0,15'e düşerek %58 azalmış; tahliye süresindeki 0,9 dakikalık artış daha düşük riskli güzergâh tercihinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.
• ±%10 ağırlık hassasiyet analizinde 11 konfigürasyonun tamamında optimal rotanın değişmemesi, modelin kriter ağırlıklarına karşı kararlı olduğunu göstermiştir.

Sonuç olarak, yeraltı kömür madenlerinde yangın tahliye planlamasının statik en kısa yol yaklaşımından çıkarılarak havalandırma durumu ve zamana bağlı çevresel risklerle birlikte ele alınması daha güvenli kararlar üretebilmektedir. Gelecek çalışmalarda sensör verilerinin gerçek zamanlı sisteme aktarılması, sensör yerleşiminin optimizasyonu ve insan davranışı/kalabalıklaşma modellerinin A* maliyet fonksiyonuna eklenmesi, geliştirilen yaklaşımın operasyonel uygulanabilirliğini güçlendirecektir.

TEŞEKKÜR
Bu çalışma, 1919B012522859 No'lu TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, sağlanan destek için TÜBİTAK'a teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Adjiski, V., Despodov, Z. (2020). Methodology for Optimal Fire Evacuations in Underground Mines Based on Simulated Scenarios. In IntechOpen eBooks. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.91213.

Aiello, G., Valavanis, K. P., Rizzo, A. (2022). Fixed-Wing UAV Energy Efficient 3D Path Planning in Cluttered Environments. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 105(3). https://doi.org/10.1007/s10846-022-01608-1.

Androulakis, V., Kingman, S., Khaniani, H., Hassanalian, M., Shao, S., Roghanchi, P. (2025). Intelligent self-evacuation path planning for fire emergencies in underground coal mines. Tunnelling and Underground Space Technology, 162, 106623. https://doi.org/10.1016/j.tust.2025.106623.

Deng, K., Zhang, Q., Zhang, H., Xiao, P., Chen, J. (2022). Optimal Emergency Evacuation Route Planning Model Based on Fire Prediction Data. Mathematics, 10(17), 3146. https://doi.org/10.3390/math10173146.

Gale, J. (1996). Human behavior in mine emergencies. Safety Science, 23(2), 87-98.

Hartman, H. L., Mutmansky, J. M., Ramani, R. V., Wang, Y. J. (1997). Mine ventilation and air conditioning (3rd ed.). John Wiley & Sons.

İnal, H. O., Kahraman, B. (2023). Örnek Bir Yeraltı Metal Madeninde Simülasyon Yazılımı ile Yangın Senaryoları Hazırlanıp Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 473-483. https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1334080.

Lee, H., Choi, J. J., Joo, B. K.-N., Cho, H. (2025). Research Evacuation Route Search in Case of Fire Using the F_A* Algorithm Based on the A* Algorithm. Fire Science and Engineering, 39(1), 22-32. https://doi.org/10.7731/kifse.7df020e2.

Lotero, S., Khaniani, H., Androulakis, V., Hassanalian, M., Shao, S., Roghanchi, P. (2023). Chapter:Optimization for fire evacuation applying maximum flow cost algorithm to improve the time-response in underground coal mines, in:Underground Ventilation (1st Edition) 9 p. CRC Press.

McPherson, M. J. (1993). Subsurface ventilation and environmental engineering. Springer.

Owusu-Ansah, R., Khaniani, H., Androulakis, V., Hassanalian, M., Roganchi, P. (2025). Optimizing fire emergency evacuation routes in underground coal mines: An application to simulation rig data (pp. 687–694). https://doi.org/10.1201/9781003559047-89.

Pamučar, D., Ljubojević, S., Kostadinović, D., Đorović, B. (2016). Cost and risk aggregation in multi-objective route planning for hazardous materials transportation - A neuro-fuzzy and artificial bee colony approach. Expert Systems with Applications, 65, 1-15. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2016.08.024.

Tang, H., Zhu, Q., Qin, B., Song, R., Li, Z. (2023). UAV path planning based on third-party risk modeling. Scientific Reports, 13(1), 22259. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49396-4.

Wu, D., Liu, Y., Sun, J. (2016). Fuzzy multi-criteria decision making for mine evacuation. Safety Science, 85, 139-148.

BİR KÖMÜR MADENİNDE ÜRETİM PLANLAMASININ FİNANSAL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

FINANCIAL EVALUATION OF PRODUCTION PLANNING IN A COAL MINE

Onur EZGİN[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-7886-7434

Doç. Dr. Serkan TÜYLÜ[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8128-9840

Prof. Dr. Deniz ADIGÜZEL[1]
[1]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-1611-1296

Dr. Öğr. Üyesi İsmail DEMİR[2,*]
[2]İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD, İstanbul / Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0949-7706

ÖZET

Madencilik projelerinde üretim planlamasının ekonomik açıdan sürdürülebilir biçimde oluşturulabilmesi, jeolojik modelleme sonuçlarının rezerv, kalite, üretim kapasitesi ve maliyet parametreleriyle birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu çalışmada yaklaşık 5,60 km^2 büyüklüğündeki bir linyit işletmesine ait çalışma sahası için üç boyutlu jeolojik modelleme, rezerv kestirimi, açık ocak tasarımı ve senaryo tabanlı finansal değerlendirme bütünleşik olarak ele alınmıştır. Modellemede 1963–1994 yılları arasında tamamlanan 202 adet dik sondaja ait veriler kullanılmış; 0,5 m kompozitleme uygulanmış ve kalorifik değerlerin bloklara atanmasında Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntemden yararlanılmıştır. Üretilebilir rezerv için 500 kcal/kg alt sınırı esas alınmıştır. Modelleme sonucunda 41.439.453 m^3 linyit hacmi, 53.871.287 ton üretilebilir tüvenan rezerv ve 1042 kcal/kg genel ortalama kalorifik değer belirlenmiştir. Açık ocak tasarımı kapsamında 452.761.809 m^3 dekapaj ve 8,40 m^3/ton dekapaj oranı hesaplanmıştır. Temel finansal senaryoda 4 milyon ton/yıl üretim, %75 kazanım, 28 $/ton satış fiyatı, 1,50 $/m^3 dekapaj maliyeti, 100 milyon $ ilk yatırım ve %10 iskonto oranı altında yıllık net nakit akışı -6,43 milyon $, Net Bugünkü Değer (NPV) ise -146,47 milyon $ bulunmuştur. Buna karşılık 6 milyon ton/yıl üretim, %85 kazanım ve 37 $/ton satış fiyatı içeren iyimser senaryoda yıllık net nakit akışı 61,06 milyon $ ve NPV 223,57 milyon $ düzeyine ulaşmıştır. Sonuçlar, düşük kalorili linyit sahalarında rezerv büyüklüğünün tek başına ekonomik uygulanabilirliği sağlamadığını; özellikle satış fiyatı, kazanım oranı, üretim kapasitesi ve dekapaj maliyetinin birlikte optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Maden Planlaması, Linyit, 3D Modelleme, Finansal Optimizasyon, Net Bugünkü Değer, Dekapaj Oranı.

ABSTRACT

The development of economically sustainable production plans for mining projects requires the integrated evaluation of geological modeling results together with reserve, quality, production capacity, and cost parameters. In this study, three-dimensional geological modeling, reserve estimation, open-pit design, and scenario-based financial evaluation were integrated for a lignite mining area covering approximately 5.60 km^2. The geological model was constructed using data from 202 vertical boreholes drilled between 1963 and 1994.

A composite length of 0.5 m was applied, and the Inverse Distance Weighting (IDW) method was used to assign calorific values to the blocks. A cut-off calorific value of 500 kcal/kg was adopted for the estimation of mineable reserves. The modeling results indicated a lignite volume of 41,439,453 m³, a mineable run-of-mine reserve of 53,871,287 tonnes, and an overall average calorific value of 1,042 kcal/kg. Based on the open-pit design, the total overburden volume was estimated at 452,761,809 m^3, corresponding to a stripping ratio of 8.40 m^3/tonne. Under the base-case financial scenario, assuming an annual production capacity of 4 million tonnes, a recovery rate of 75%, a sales price of $28/tonne, a stripping cost of $1.50/$m^3$, an initial investment of $100 million, and a discount rate of 10%, the annual net cash flow and Net Present Value (NPV) were calculated as −$6.43 million and −$146.47 million, respectively. In contrast, under the optimistic scenario involving an annual production capacity of 6 million tonnes, an 85% recovery rate, and a sales price of $37/tonne, the annual net cash flow increased to $61.06 million, while the NPV reached $223.57 million. The results demonstrate that reserve size alone does not ensure the economic viability of low-calorific-value lignite deposits and that sales price, recovery rate, production capacity, and stripping cost should be optimized collectively.
Keywords: Mine Planning, Lignite, 3D Modeling, Financial Optimization, Net Present Value, Stripping Ratio.

1. GİRİŞ

Stratejik maden planlaması, bir yatağın yalnızca teknik olarak işletilebilir olup olmadığını değil, hangi üretim hızında, hangi kalite seçiciliğiyle ve hangi ekonomik koşullar altında değer yaratabileceğini belirleyen çok disiplinli bir karar sürecidir. Açık ocak üretim planlamasında temel amaç, jeolojik modelden türetilen rezerv ve kalite bilgilerini üretim ve işleme kapasiteleri, dekapaj yükü, maliyetler, ürün fiyatı ve zaman değeriyle birlikte değerlendirerek proje NBD'sini eniyilemektir (Hustrulid ve ark., 2013; Das ve ark., 2023; Khan ve ark., 2024). Özellikle atık/dekapaj hareketinin büyük operasyonel maliyetler oluşturması, cevher-kömür üretimi ile pasa yönetiminin aynı stratejik plan içinde ele alınmasını gerekli kılmaktadır (Das ve ark., 2023).

Bilgisayar destekli maden planlama araçları, sondaj verilerinin doğrulanmasından jeolojik sınırların üç boyutlu katı modele dönüştürülmesine, blok model oluşturulmasından kalite değişkenlerinin bloklara atanmasına kadar birbirini izleyen işlemlerin tutarlı bir sayısal altyapıda yürütülmesini sağlar. Güvenilir bir kaynak/rezerv kestirimi için veritabanı doğrulaması, jeolojik sınırlandırma ve kestirim parametrelerinin açık biçimde tanımlanması kritik önemdedir (Özkan ve Akbaba, 2013). Blok model çıktılarının üretim planlamasıyla bütünleştirilmesi ise rezerv miktarı, kalite sürekliliği ve ekonomik performans arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesine olanak verir. Güncel çalışmalar, üretim kapasitesi, stoklama/kalite kontrolü ve NBD'nin eş zamanlı değerlendirilmesinin uzun dönemli planların ekonomik performansını iyileştirebildiğini göstermektedir (Tabesh ve ark., 2023; Khan ve ark., 2024).

Linyit işletmelerinde ekonomik değerlendirme, metalik madenlerdeki klasik tenör yaklaşımından farklı olarak kalorifik değer, kazanım, nem, kül, dekapaj yükü ve kullanım amacının birlikte değerlendirilmesini gerektirir. Düşük kalorili bir rezervde daha yüksek kalite eşiği uygulamak ürün kalitesini artırabilse de üretilebilir tonajı azaltabilir ve birim dekapaj yükünü yükseltebilir; buna karşılık harmanlama, kalite ile kullanılabilir rezerv arasında denge kurulmasına yardımcı olabilir (Yörükoğlu, 2017). Ayrıca açık ocak kömür üretim planlamasında kömür fiyatı gibi ekonomik değişkenlerin zaman içinde değişmesi optimum üretim kararlarını etkileyebilmektedir (Liu ve ark., 2022). Bu nedenle rezerv büyüklüğü yatırım kararını tek başına açıklamaz; kalite dağılımı, üretim kapasitesi ve maliyet yapısının birlikte incelenmesi gerekir.

Bu çalışmanın amacı, bir linyit işletmesine ait çalışma sahasında sondaj verilerinden elde edilen üç boyutlu jeolojik model ve rezerv sonuçlarını açık ocak tasarımı ile senaryo tabanlı finansal değerlendirme altında bütünleştirmektir. Bu kapsamda (i) 500 kcal/kg kalite eşiğindeki üretilebilir rezerv ve dekapaj yükü, (ii) kalite eşiğinin rezerv ve dekapaj oranına etkisi, (iii) temel ekonomik koşullarda yatırımın uygulanabilirliği ve (iv) kapasite, satış fiyatı, kazanım ve dekapaj maliyeti değişimlerinin NBD üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma yeni bir üretim çizelgeleme algoritması önermekten ziyade, jeolojik-teknik çıktılar ile finansal senaryolar arasındaki karar ilişkisini görünür kılan bütünleşik bir vaka değerlendirmesi sunmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Sahası ve Veri Seti

Çalışma alanı, yaklaşık 5,60 km^2 büyüklüğündeki bir linyit işletmesine ait açık ocak çalışma sahasıdır. Topoğrafik kotlar 1093-1263 m arasında değişmektedir. Çalışma sahası Neojen yaşlı çökel bir ortamda gelişmiş olup ekonomik linyit seviyeleri kil ve marn birimleriyle ardalanmalıdır. Pano içinde kömür damar kalınlığı ortalama 11,21 m olup 1,67-23,03 m arasında değişmektedir.

Modelleme veri tabanı, 1963-1994 döneminde tamamlanan 202 adet dik sondaja ait collar, survey, geology ve assay verileri kullanılarak oluşturulmuştur. Toplam sondaj uzunluğu 13.462,85 m, ortalama sondaj aralığı yaklaşık 166 m'dir. Kalorifik değer, rezerv sınıflaması ve finansal analiz için temel kalite değişkeni olarak kullanılmıştır. Çalışma sahası ve veri setinin temel özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çalışma sahası ve veri setinin temel özellikleri.

Parametre	Değer
Çalışma alanı	Bir linyit işletmesine ait çalışma sahası
Alan büyüklüğü	≈5,60 km^2
Kot aralığı	1093-1263 m
Sondaj sayısı	202 adet dik sondaj
Toplam sondaj uzunluğu	13.462,85 m
Ortalama sondaj aralığı	≈166 m
Ortalama damar kalınlığı	11,21 m

2.2. Üç Boyutlu Jeolojik Modelleme ve Rezerv Kestirimi

Sondaj verileri bir madencilik paket programında oluşturulan veri tabanına aktarılmış; kuyu ağız koordinatları, yönelim, litoloji ve analiz tabloları arasındaki ilişkiler kontrol edilmiştir. Sondajlar litoloji ve kalorifik değer sınıflarına göre görselleştirildikten sonra kesitlerde linyit zonları sınırlandırılmış, ardışık kesitler arasındaki segmentler üçgenlenerek kapalı üç boyutlu katı model oluşturulmuştur. Katı model açık yüzey, tekrarlanan üçgen ve geometrik süreklilik bakımından doğrulanmıştır.

Farklı örnek uzunluklarının kestirim üzerinde ağırlık yanlılığı oluşturmaması amacıyla 0,5 m hedef uzunlukta ve minimum %75 katılım oranıyla kompozitleme yapılmıştır. Katı modeli kapsayan blok model oluşturulduktan sonra kalorifik değerler, yakın örneklere daha yüksek ağırlık veren deterministik Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) yöntemle bloklara atanmıştır. Üretilebilir rezerv sınıflamasında 500 kcal/kg minimum eşik kullanılmış; bu değer satış kalitesi değil, jeolojik-teknik rezerv sınırı olarak ele alınmıştır.

2.3. Açık Ocak ve Finansal Değerlendirme

Açık ocak tasarımı ile linyit katı modeli birlikte değerlendirilerek toplam kazı ve dekapaj hacimleri hesaplanmıştır. Dekapaj oranı, toplam dekapaj hacminin üretilebilir tüvenan rezerv tonajına bölünmesiyle belirlenmiştir. Finansal modelde yıllık tüvenan üretim kapasitesi, kazanım, satış fiyatı, kömür kazı-yükleme, işleme, taşıma ve dekapaj maliyetleri, sabit giderler, CAPEX ve iskonto oranı birlikte kullanılmıştır.

Temel senaryoda yıllık tüvenan üretim kapasitesi 4 milyon ton/yıl, kazanım %75, satış fiyatı 28 $/ton, kömür kazı-yükleme maliyeti 2,75 $/ton, işleme maliyeti 2,00 $/ton, taşıma maliyeti 1,25 $/ton, dekapaj maliyeti 1,50 $/$m^3$, yıllık sabit işletme gideri 16 milyon $, CAPEX 100 milyon $ ve iskonto oranı %10 olarak alınmıştır. Net Bugünkü Değer (NBD) aşağıdaki genel eşitlikle hesaplanmıştır:

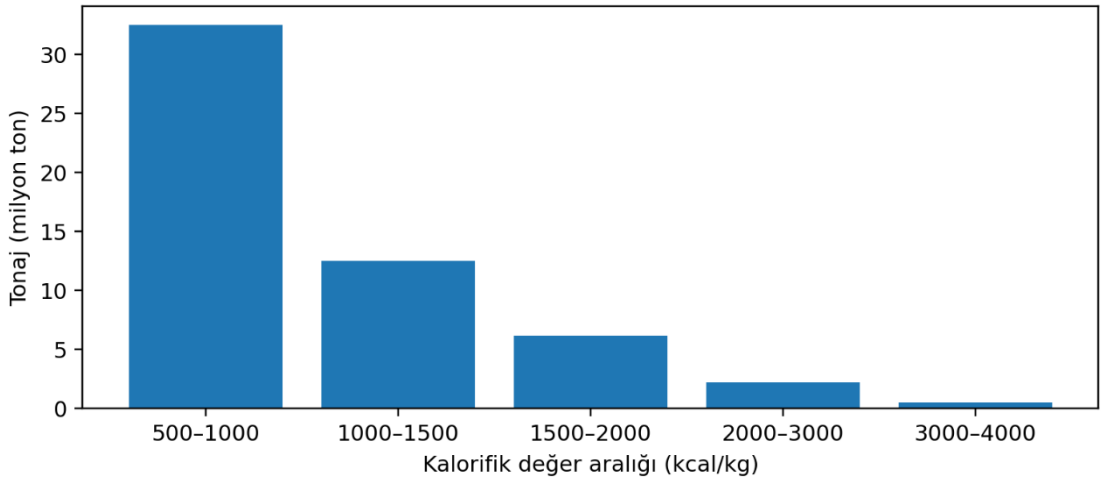
$$NPV = -I_0 + \Sigma\,[NCF_t / (1 + r)^t] \qquad (1)$$

Burada I_0 başlangıç yatırımını, NCF_t t yılındaki net nakit akışını, r iskonto oranını göstermektedir. NBD > 0 yatırımın kullanılan sermaye maliyetinin üzerinde değer yarattığını, NBD < 0 ise yatırımın ekonomik beklentiyi karşılamadığını göstermektedir (Cebesoy ve Gözen, 1997; Köse ve Kahraman, 2014).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Rezerv, Kalorifik Değer ve Dekapaj

Blok model raporlaması sonucunda 500 kcal/kg üzerindeki linyit bloklarının toplam hacmi 41.439.453 m^3 ve üretilebilir tüvenan rezervi 53.871.287 ton olarak hesaplanmıştır. Ağırlıklı ortalama kalorifik değer 1042 kcal/kg'dır. Tonajın yaklaşık %60'ının 500-1000 kcal/kg aralığında bulunması, sahanın düşük kalorili karakterini açıkça göstermektedir. Kalorifik değer sınıflarına göre rezerv dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Yüksek kalorili dilimlerin rezerv içindeki payının düşük olması, seçici üretimle kalite artışı sağlanırken önemli rezerv kayıpları oluşabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 1. Linyit rezervinin kalorifik değer sınıflarına göre tonaj dağılımı.

Şekil 1'deki dağılım, rezervin büyük bölümünün düşük ve orta kalorifik değer sınıflarında toplandığını göstermektedir. Açık ocak yüzeyleri ve linyit modeli birlikte değerlendirildiğinde toplam kazı hacmi 553.036.631 m^3, dekapaj hacmi ise 452.761.809 m^3 olarak bulunmuştur. Üretilebilir tüvenan rezerv esas alındığında dekapaj oranı 8,40 m^3/ton'dur. Bu değer, her bir ton tüvenan linyit için ortalama 8,40 m^3 örtü/pasa kaldırılması gerektiğini göstermektedir. Düşük kalorili kömürün birim gelirinin sınırlı olduğu dikkate alındığında, yüksek dekapaj yükü proje ekonomisinin temel baskı unsurlarından biridir. Atık/dekapaj hareketinin uzun dönemli planlama ve NBD üzerindeki önemine ilişkin bu sonuç, güncel açık ocak planlama literatürüyle de uyumludur (Das ve ark., 2023).

3.2. Kalori Eşiği ve Harmanlama Yaklaşımı

Kalorifik değer eşiği 500 kcal/kg'dan 1000 kcal/kg'a çıkarıldığında ortalama kalite 1042 kcal/kg'dan 1502 kcal/kg'a yükselmekte; ancak üretilebilir rezerv 53,87 milyon tondan 21,41 milyon tona düşmekte ve dekapaj oranı 8,40'tan 21,15 m^3/ton'a çıkmaktadır. Eşik 1500 kcal/kg olduğunda rezerv 8,87 milyon ton ve dekapaj oranı 51,04 m^3/ton; 2000 kcal/kg üzerinde ise rezerv yalnızca 2,68 milyon ton ve dekapaj oranı 169,09 m^3/ton olmaktadır. Bu nedenle yalnızca yüksek kalorili blokların seçilmesi kaliteyi artırsa da, rezerv kaybı ve birim dekapaj yükü nedeniyle ekonomik açıdan avantajlı değildir.

Bu bulgu, düşük ve orta kalorili blokların tamamen dışlanması yerine uygun oranlarda harmanlanmasının daha dengeli bir strateji olabileceğini göstermektedir. Harmanlama, kullanılabilir rezervi korurken hedef ürün kalitesine yaklaşılmasına ve dekapaj maliyetinin daha geniş bir üretim tonajına yayılmasına yardımcı olabilir (Yörükoğlu, 2017). Bununla birlikte bu çalışmada ayrıntılı bir harmanlama optimizasyonu yapılmamıştır; dolayısıyla harmanlama, elde edilen kalite-tonaj ilişkisine dayalı bir planlama seçeneği olarak değerlendirilmelidir. Üretim planlamasında kalite ve miktarın birlikte dengelenmesinin ekonomik değeri artırabileceği, stoklama ve kalite kontrolünü NBD ile birlikte ele alan güncel çalışmalar tarafından da gösterilmektedir (Tabesh ve ark., 2023).

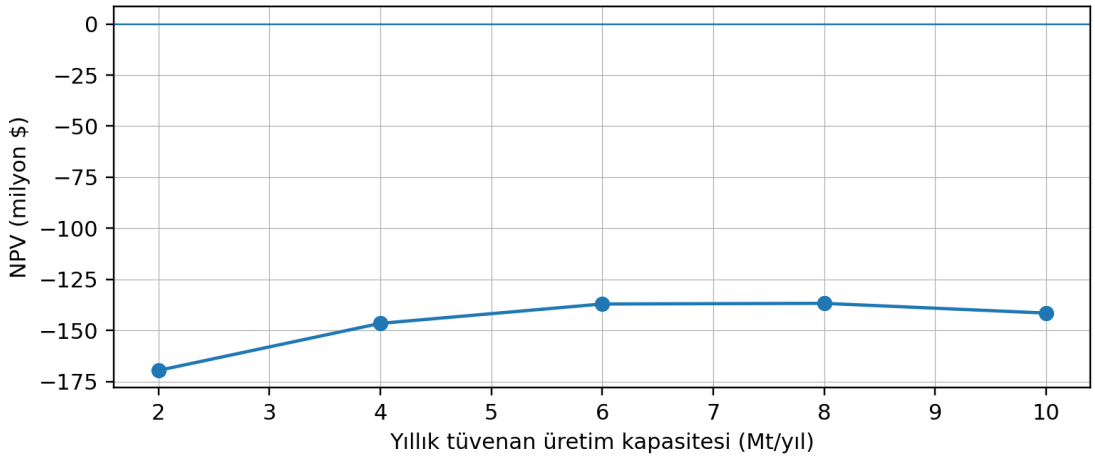
3.3. Temel Senaryo ve Başabaş Noktaları

Temel koşullarda teorik maden ömrü 13,47 yıl ve yıllık satılabilir kömür miktarı 3,00 milyon ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Yıllık satış geliri 84,00 milyon $, toplam işletme maliyeti yaklaşık 90,43 milyon $ ve yıllık net nakit akışı -6,43 milyon $'dır.

100 milyon $ başlangıç yatırımı ve %10 iskonto oranı altında NBD -146,47 milyon $ olarak gerçekleşmiş; temel senaryonun kullanılan varsayımlar altında ekonomik olmadığı belirlenmiştir. ROI yaklaşık -%186,57 olup, pozitif nakit akışı oluşmadığı için anlamlı bir IRR değeri elde edilememiştir. Bu sonuç, teknik olarak üretilebilir rezervin ekonomik rezervle eş anlamlı olmadığını ve yatırım kararında zaman değerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
Yalnızca yıllık işletme giderlerinin karşılanması açısından satış fiyatı başabaş değeri yaklaşık 30,14 $/ton, başlangıç yatırımı ve %10 iskonto oranı da dikkate alındığında NBD başabaş satış fiyatı ise yaklaşık 34,75 $/ton'dur. Buna karşılık 28 $/ton satış fiyatı korunurken kapasite artışıyla NBD'yi sıfıra getirmek için satılabilir üretimin yaklaşık 9,35 milyon ton/yıl seviyesine ulaşması gerekmektedir. Bu düzey, kapasite artışının tek başına pratik bir çözüm olmadığını göstermektedir. Kömür fiyatının üretim planı ve ekonomik değer üzerindeki etkisinin dinamik biçimde ele alınması gerektiği Liu ve ark. (2022) tarafından da vurgulanmıştır; mevcut çalışma ise fiyatı senaryo tabanlı olarak ele alarak bu duyarlılığı finansal açıdan görünür kılmaktadır.

3.4. Üretim Kapasitesi Senaryoları

Yıllık tüvenan üretim kapasitesi 2, 4, 6, 8 ve 10 milyon ton/yıl seçenekleri altında karşılaştırılmıştır. Kapasite arttıkça yıllık net nakit akışı iyileşmiş, 8 ve 10 milyon ton/yıl seçeneklerinde pozitife dönmüştür. Buna karşın kapasiteyle birlikte CAPEX'in yükselmesi ve maden ömrünün kısalması nedeniyle NBD hiçbir kapasite senaryosunda pozitif olmamıştır. Kapasite senaryolarına ait NBD değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

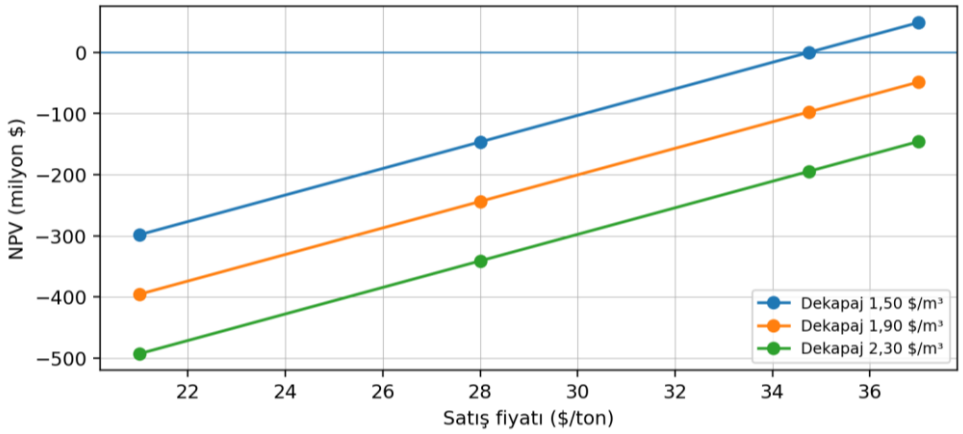


Şekil 2. Üretim kapasitesine göre Net Bugünkü Değer değişimi.

Şekil 2'ye göre NBD açısından en iyi sonuç 8 milyon ton/yıl seçeneğinde -136,67 milyon $ ile elde edilmiştir; ancak bu değer de negatiftir. On milyon ton/yıl kapasitede yıllık NCF 7,93 milyon $'a yükselse de CAPEX'in 173,29 milyon $'a çıkması ve maden ömrünün 5,39 yıla düşmesi NBD'yi -141,43 milyon $ seviyesinde tutmuştur. Dolayısıyla optimum kapasite yalnızca yıllık kârın en yüksek olduğu noktaya göre değil, maden ömrü, sermaye gereksinimi ve iskonto edilmiş proje değeri birlikte değerlendirilerek belirlenmelidir. Üretim kapasitesi ile NBD/throughput kararlarının birlikte ele alınmasının önemi güncel optimizasyon çalışmalarında da gösterilmektedir (Tabesh ve ark., 2023; Khan ve ark., 2024).

3.5. Satış Fiyatı ve Dekapaj Maliyeti Duyarlılığı

Projenin finansal duyarlılığında satış fiyatı ve dekapaj maliyeti birlikte belirleyici olmaktadır. Dört milyon ton/yıl temel üretim kapasitesinde, %75 kazanım ve %10 iskonto oranı sabit tutularak bu iki değişken birlikte değiştirilmiştir. 28 $/ton satış fiyatında dekapaj maliyeti 1,50 $/m^3 iken NBD -146,47 milyon $; 1,90 $/m³ iken -243,70 milyon $; 2,30 $/m^3 iken -340,92 milyon $ olmaktadır. Satış fiyatı-dekapaj maliyeti kombinasyonlarının NBD üzerindeki etkisi Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Satış fiyatı ve dekapaj maliyetine göre NPV duyarlılığı.

Şekil 3, fiyat artışının olumlu etkisinin dekapaj maliyetindeki yükselişle hızla aşınabildiğini göstermektedir. Dekapaj maliyeti 1,50 $/m^3 düzeyinde tutulduğunda yaklaşık 34,75 $/ton satış fiyatı NBD başabaş noktasına karşılık gelmektedir. Satış fiyatı 37 $/ton olduğunda aynı düşük dekapaj maliyetinde NBD 48,75 milyon $ ile pozitife dönmektedir. Ancak dekapaj maliyetinin 1,90 $/m^3'e çıkması bu fiyat düzeyinde dahi NBD'yi -48,48 milyon $'a düşürmektedir. Bu nedenle proje ekonomisi yalnızca daha yüksek satış fiyatına dayandırılamaz; dekapaj hareketi ve maliyet kontrolü de stratejik planın temel bileşenidir (Das ve ark., 2023).

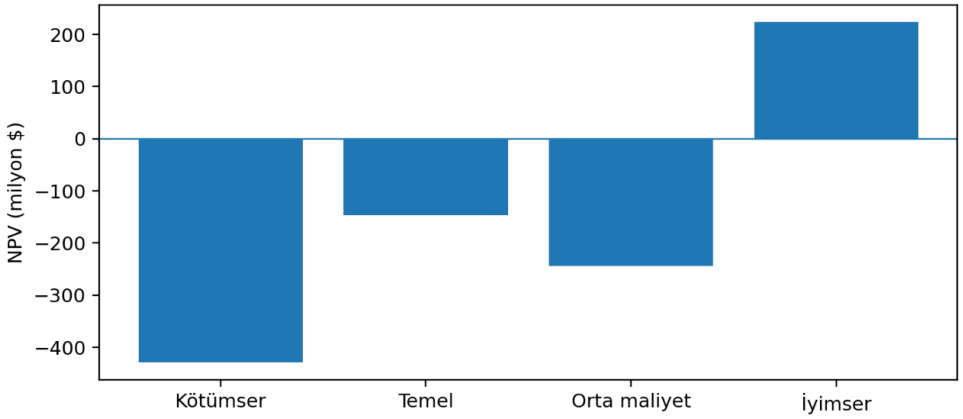
3.6. Genel Finansal Senaryolar

Parametrelerin birlikte değiştiği dört bütüncül senaryo oluşturulmuştur. Kötümser senaryo düşük kapasite, düşük kazanım ve düşük satış fiyatını yüksek dekapaj maliyetiyle; iyimser senaryo ise daha yüksek kapasite ve kazanımı, yüksek satış fiyatı ve düşük dekapaj maliyetiyle birleştirmektedir. Senaryoların girdi ve finansal sonuçları Tablo 2'de karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Genel finansal senaryoların karşılaştırılması.

Senaryo	Kapasite (Mt/y)	Kazanım	Fiyat ($/t)	Dekapaj ($/m^3)	NCF (M$/y)	NPV (M$)
Kötümser	2	%65	21	2,30	-39,36	-429,37
Temel	4	%75	28	1,50	-6,43	-146,47
Orta maliyet	4	%75	28	1,90	-19,87	-243,70
İyimser	6	%85	37	1,50	61,06	223,57

Tablo 2'de görüldüğü üzere kötümser senaryoda NBD -429,37 milyon $'a kadar gerilerken, orta maliyet senaryosunda yalnızca dekapaj maliyetinin 1,50 $/m^3'ten 1,90 $/m^3'e çıkması NBD'nin -146,47 milyon $'dan -243,70 milyon $'a düşmesine neden olmaktadır. Senaryoların NBD açısından görsel karşılaştırması Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Genel finansal senaryoların NPV karşılaştırması.

Şekil 4, yalnızca iyimser senaryonun pozitif proje değeri ürettiğini açıkça göstermektedir. Altı milyon ton/yıl kapasite, %85 kazanım, 37 $/ton satış fiyatı ve 1,50 $/m^3 dekapaj maliyeti içeren bu senaryoda yıllık NCF 61,06 milyon $ ve NBD 223,57 milyon $ olarak hesaplanmıştır. Sonuç, sahanın ekonomik uygulanabilirliğinin tek bir parametrenin iyileştirilmesine değil, kapasite, kazanım, fiyat ve dekapaj maliyetinin eş zamanlı olarak uygun seviyelere gelmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte senaryolar deterministik varsayımlara dayandığından sonuçlar tahmin değil, karar duyarlılığı göstergeleri olarak yorumlanmalıdır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada bir linyit işletmesine ait çalışma sahası için üç boyutlu jeolojik modelleme, rezerv kestirimi, açık ocak tasarımı ve finansal senaryo analizi bütünleşik bir üretim planlama yaklaşımı altında değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 500 kcal/kg üzerindeki üretilebilir tüvenan rezerv 53,87 milyon ton ve genel ortalama kalorifik değer 1042 kcal/kg'dır. Buna karşılık 8,40 m^3/ton düzeyindeki dekapaj oranı, düşük kalorifik değerle birlikte proje ekonomisi üzerinde önemli bir maliyet baskısı oluşturmaktadır. Çalışmanın başlıca sonuçları aşağıda özetlenmiştir:

• Temel senaryoda 4 Mt/y üretim, %75 kazanım ve 28 $/ton satış fiyatı altında yıllık NCF -6,43 milyon $ ve NBD -146,47 milyon $ olup proje ekonomik değildir.

• NBD başabaş satış fiyatı yaklaşık 34,75 $/ton'dur; fiyat artışı dekapaj maliyeti düşük tutulabildiği ölçüde proje değerini iyileştirmektedir.

• Kapasite artışı yıllık nakit akışını iyileştirse de artan CAPEX ve kısalan maden ömrü nedeniyle tek başına pozitif NBD yaratmamaktadır.

• Kalori eşiğinin yükseltilmesi ürün kalitesini artırırken rezervi ciddi biçimde azaltmakta ve birim dekapaj oranını çok yüksek seviyelere çıkarmaktadır; bu nedenle harmanlama daha dengeli bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

• İyimser koşullarda 6 Mt/y kapasite, %85 kazanım, 37 $/ton satış fiyatı ve 1,50 $/m^3 dekapaj maliyetiyle NBD 223,57 milyon $'a çıkmaktadır.

Sonuç olarak düşük kalorili linyit sahalarında teknik olarak üretilebilir rezerv ile ekonomik olarak üretilebilir rezerv aynı kavram değildir. Üretim planlamasında jeolojik model ve rezerv sonuçlarının satış fiyatı, kazanım, üretim kapasitesi, dekapaj maliyeti ve sermaye gereksinimiyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışma, kullanılan deterministik senaryolar kapsamında teknik ve finansal kararların bütünleşik değerlendirilmesinin yatırım kararını daha şeffaf hâle getirebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte çalışma ayrıntılı blok bazlı üretim çizelgelemesi veya stokastik optimizasyon içermemektedir. Gelecek çalışmalarda fiyat ve maliyet belirsizliklerinin olasılıksal olarak modellenmesi, jeolojik belirsizliğin senaryolara aktarılması ve kalite/harmanlama kararlarının üretim çizelgesiyle eş zamanlı optimize edilmesi önerilmektedir

KAYNAKLAR

Cebesoy, T., Gözen, M. (1997). Madencilikte yatırım projelerinin değerlendirilmesi ve seçimi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(1), 267-275.

Das, R., Topal, E., Mardaneh, E. (2023). A review of open pit mine and waste dump schedule planning. Resources Policy, 85, 104064. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104064.

Hustrulid, W. A., Kuchta, M., Martin, R. K. (2013). Open pit mine planning and design (3rd ed.). CRC Press.

Khan, A., Asad, M. W. A., Topal, E. (2024). A heuristic method for production scheduling of an open pit mining operation. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 38(4), 293-305. https://doi.org/10.1080/17480930.2023.2281201.

Köse, H., Kahraman, B. (2014). Maden işletme ekonomisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

Liu, G., Guo, W., Fu, E., Yang, C., Li, J. (2022). Dynamic optimization of open-pit coal mine production scheduling based on ARIMA and fuzzy structured element. Frontiers in Earth Science, 10, 1040464. https://doi.org/10.3389/feart.2022.1040464

Özkan, Y. Z., Akbaba, M. A. (2013). Örneklemeden rapor etmeye adım adım maden kaynak tahmini. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 37(2), 141-158.

Tabesh, M., Moradi Afrapoli, A., Askari-Nasab, H. (2023). A two-stage simultaneous optimization of NPV and throughput in production planning of open pit mines. Resources Policy, 80, 103167. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103167.

Yörükoğlu, M. (2017). Termik santraller için kömür harmanlama. Bilimsel Madencilik Dergisi, 56(3), 109-116.

AKADEMİK HİYERARŞİNİN CİNSİYETİ: TÜRKİYE'DE KADIN AKADEMİSYENLERİN KARİYER VE YÖNETİCİLİK SÜREÇLERİNE İLİŞKİN SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ

GENDER IN ACADEMIC HIERARCHY: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON THE CAREER AND MANAGEMENT PROCESSES OF FEMALE ACADEMICS IN TÜRKİYE

Zeynep KAPTAN (PhD Candidate)
Ankara University, Faculty of Political Sicences, Department of Business Administration, Ankara, Türkiye, ORCİD: ID/0000-0002-4877-430X

Prof. Dr. Özlem ATAY
Ankara University, Faculty of Political Sicences, Department of Business Administration, Ankara, Türkiye, ORCİD: ID/0000-0002-2563-825X

Abstract
This study aims to systematically examine the literature in Türkiye that addresses the academic career development and academic management processes of women academics within the context of gender equality. To this end, publications obtained from searches in the Web of Science, Scopus, and Google Scholar databases were evaluated within the framework of PRISMA, and a total of 45 studies were included in the analysis according to inclusion-exclusion criteria. The examined studies were systematically evaluated in terms of publication type, methodological approach, context level, focus area, key findings, and proposed solutions/policies; then, recurring patterns and dominant thematic clusters in the literature were identified through thematic synthesis. The findings show that the literature on Turkish academic women is particularly concentrated around issues such as academic career advancement and promotion barriers, underrepresentation in academic management, glass ceiling and structural inequalities, work-family conflict, care work and invisible labor, discrimination and patriarchal organizational culture, academic productivity and performance regimes, inequalities deepened during the pandemic, women's solidarity and support networks, and discipline-based inequalities. Literature reveals that while women are relatively visible upon entering academia, their representation in higher academic and managerial positions is significantly reduced; caregiving burdens, gender roles, and organizational barriers limit career development. This study comprehensively maps the literature on Turkish academic women making visible common trends, recurring problem areas, and prominent solution/policy orientations in the field. In this respect, the study both systematically synthesizes the scattered knowledge in the existing literature and provides an analytical basis for future research and university-based gender equality policies.
Keywords: Academic Women, Gender Inequality, Academic Career, Academic Management, Systematic Literature Review, Türkiye

Özet
Bu çalışma, Türkiye'de kadın akademisyenlerin akademik kariyer gelişimi ve akademik yöneticilik süreçlerini toplumsal cinsiyet eşitliği bağlamında ele alan literatürü sistematik olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda Web of Science, Scopus ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilen tarama sonucunda ulaşılan yayınlar PRISMA çerçevesinde değerlendirilmiş ve dahil etme-hariç tutma kriterleri doğrultusunda toplam 45 çalışma analize dahil edilmiştir. İncelenen çalışmalar, yayın türü, yöntemsel yaklaşım, bağlam düzeyi, odak alanı, temel bulgular ve çözüm/politika önerileri bakımından sistematik olarak değerlendirilmiş; ardından tematik sentez yoluyla literatürde tekrar eden örüntüler ve baskın tema kümeleri belirlenmiştir. Bulgular, Türkiye'de kadın akademisyenler literatürünün özellikle akademik kariyer ilerlemesi ve terfi engelleri, akademik yöneticilikte eksik temsil, cam tavan ve yapısal eşitsizlikler, iş-aile çatışması, bakım emeği ve görünmez emek, ayrımcılık ve eril örgüt kültürü, akademik üretkenlik ve performans rejimi, pandemi döneminde derinleşen eşitsizlikler, kadın dayanışması ve destek ağları ile disiplin temelli eşitsizlikler etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Literatür, kadınların akademiye girişte görece görünür olmasına karşın üst akademik kademelerde ve yönetsel pozisyonlarda temsilinin belirgin biçimde azaldığını; bakım

yükü, toplumsal cinsiyet rolleri ve örgütsel bariyerlerin kariyer gelişimini sınırlandırdığını ortaya koymaktadır. Çalışma, Türkiye'de kadın akademisyenler literatürünü bütüncül biçimde haritalandırarak alandaki ortak eğilimleri, tekrar eden sorun alanlarını ve öne çıkan çözüm/politika yönelimlerini görünür kılmaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem mevcut literatürdeki dağınık bilgi birikimini sistematik biçimde sentezlemekte hem de gelecekteki araştırmalar ile üniversite temelli toplumsal cinsiyet eşitliği politikaları için analitik bir zemin sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kadınlar, Toplumsal Cinsiyet Eşitsizliği, Akademik Kariyer, Akademik Yöneticilik, Sistematik Literatür İncelemesi, Türkiye

THE GREEN-DIGITAL LEADERSHIP LANDSCAPE: THEORIES, CAPABILITIES, AND RESEARCH GAPS

İKİZ DÖNÜŞÜMDE YEŞİL-DİJİTAL LİDERLİK: YEŞİL TEKNOLOJİ LİDERLİĞİ KURAMININ BÜTÜNLEŞİK BİR İNCELEMESİ

Erman GOKMEN, Ph.D. (c)
Gebze Technical University, Department of Business Administration
ORCID: 0009-0002-2176-7908

Assoc. Prof. Dr. Busra OZDENIZCI KOSE
Gebze Technical University, Department of Management Information Systems
ORCID: 0000-0002-8414-5252

ABSTRACT
The accelerating convergence of digital transformation and environmental sustainability, widely conceptualized as the "Twin Transition," has increased the need for leadership approaches capable of addressing technological complexity and ecological responsibility simultaneously. However, the relevant literature remains fragmented across partially connected streams, including Digital Leadership, Green Transformational Leadership, Servant Leadership, Sustainable Leadership, and emerging technology-oriented leadership perspectives. This paper provides a state-of-the-art review of the green–digital leadership literature by critically examining its principal theoretical foundations, leadership capabilities, organizational mechanisms, and research gaps. The review synthesizes recent research on the role of leadership in green technology adoption, digital transformation, employee engagement, sustainable innovation, responsible technology use, and environmental performance. It further identifies the core capabilities required at the green-digital nexus, including digital fluency, ecological awareness, ethical stewardship, strategic agility, cross-functional coordination, and the ability to mobilize human and technological resources for sustainable value creation. The analysis reveals that existing studies frequently address digital and environmental leadership capabilities separately, provide inconsistent conceptual boundaries, and offer limited consideration of the environmental and ethical consequences of digital technologies. Additional gaps include the shortage of longitudinal and multilevel research, insufficient empirical validation of integrative leadership constructs, and limited attention to contextual differences across industries, organizational sizes, and institutional environments. Emerging themes such as artificial intelligence, Industry 5.0, green information systems, responsible data governance, Supply Chain 5.0, and hybrid green–digital competencies are also identified as important directions for future research. Based on this synthesis, the paper develops a research agenda to advance the conceptual clarity, empirical measurement, and contextual understanding of leadership at the green–digital nexus. The findings offer implications for scholars, managers, and policymakers seeking to support the Twin Transition through more integrated, responsible, and sustainability-oriented leadership practices.
Keywords: Green–Digital Leadership, Twin Transition, Digital Leadership, Green Leadership, Leadership Capabilities, Sustainable Digital Transformation

ÖZET
Dijital dönüşüm ile çevresel sürdürülebilirliğin giderek hızlanan yakınsaması, literatürde yaygın biçimde "İkiz Dönüşüm" olarak kavramsallaştırılmakta ve teknolojik karmaşıklık ile ekolojik sorumluluğu eş zamanlı olarak yönetebilecek liderlik yaklaşımlarına duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bununla birlikte ilgili literatür; Dijital Liderlik, Yeşil Dönüşümcü Liderlik, Hizmetkâr Liderlik, Sürdürülebilir Liderlik ve gelişmekte olan teknoloji odaklı liderlik yaklaşımları gibi birbiriyle kısmen bağlantılı araştırma alanlarına dağılmış durumdadır. Bu çalışma, yeşil dijital liderlik literatürünün güncel durumunu eleştirel bir bakış açısıyla inceleyerek temel kuramsal dayanakları, liderlik yetkinliklerini, örgütsel mekanizmaları ve araştırma boşluklarını ortaya koymaktadır. İnceleme kapsamında liderliğin yeşil teknoloji benimseme, dijital dönüşüm, çalışan katılımı, sürdürülebilir inovasyon, sorumlu teknoloji kullanımı ve çevresel performans üzerindeki rolünü ele alan güncel çalışmalar sentezlenmektedir.

Ayrıca yeşil dijital kesişimde gerekli olan dijital yetkinlik, ekolojik farkındalık, etik sorumluluk, stratejik çeviklik, işlevler arası koordinasyon ve sürdürülebilir değer yaratmak amacıyla beşerî ve teknolojik kaynakları harekete geçirme becerisi gibi temel liderlik yetkinlikleri belirlenmektedir. Analiz, mevcut çalışmaların dijital ve çevresel liderlik yetkinliklerini çoğunlukla birbirinden ayrı ele aldığını, kavramsal sınırların tutarlı biçimde tanımlanmadığını ve dijital teknolojilerin çevresel ve etik sonuçlarına sınırlı düzeyde odaklanıldığını göstermektedir. Bunun yanı sıra boylamsal ve çok düzeyli araştırmaların yetersizliği, bütünleştirici liderlik yapılarının ampirik olarak yeterince doğrulanmamış olması ve sektörler, örgüt büyüklükleri ile kurumsal çevreler arasındaki bağlamsal farklılıkların sınırlı biçimde incelenmesi önemli araştırma boşlukları olarak öne çıkmaktadır. Yapay zekâ, Endüstri 5.0, yeşil bilgi sistemleri, sorumlu veri yönetişimi, Tedarik Zinciri 5.0 ve hibrit yeşil dijital yetkinlikler ise gelecekteki araştırmalar için önemli gelişim alanları olarak belirlenmektedir. Bu sentez doğrultusunda çalışma, yeşil dijital kesişimde liderliğin kavramsal açıklığını, ampirik ölçümünü ve bağlamsal olarak anlaşılmasını geliştirmeye yönelik bir gelecek araştırma gündemi sunmaktadır. Bulgular, İkiz Dönüşümü daha bütünleşik, sorumlu ve sürdürülebilirlik odaklı liderlik uygulamalarıyla desteklemeyi amaçlayan araştırmacılar, yöneticiler ve politika yapıcılar için çıkarımlar sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yeşil Dijital Liderlik, İkiz Dönüşüm, Dijital Liderlik, Yeşil Liderlik, Liderlik Yetkinlikleri, Sürdürülebilir Dijital Dönüşüm

INTRODUCTION

Contemporary organizations are increasingly confronted with two transformations that were, until recently, treated as separate strategic trajectories: the digitalization of business processes through Industry 4.0 and Industry 5.0 technologies, and the transition toward environmentally sustainable and low-carbon operating models. Recent scholarship has begun to describe this convergence as the "Twin Transition," a synergistic phenomenon in which digital technologies function as the principal enabler of carbon neutrality and circular economy objectives (Marrocu et al., 2026). Rather than treating digitalization as a purely operational efficiency lever, an emerging body of work positions digital technologies as active drivers of "sustainable digitalization" (Zada et al., 2025). This reframing has direct implications for leadership theory and practice, because the capabilities required to manage data-intensive, technologically complex organizations are not necessarily the same capabilities required to manage ecological transformation.

Despite the practical urgency of this convergence, the leadership literature that addresses it remains noticeably fragmented. Research on Digital Leadership has generally emphasized technological agility, data-driven decision-making, and the orchestration of emerging technologies, but has paid comparatively little attention to the environmental externalities that accompany digital growth, including the energy intensity of data infrastructures and the electronic waste generated by rapid hardware cycles. Conversely, research on Green Leadership and Green Transformational Leadership (Chen & Chang, 2013; Zhong et al., 2025) has articulated a strong ecological vision but has often lacked the technical depth necessary to orchestrate advanced digital assets such as the Green Industrial Internet of Things (GIIoT), blockchain-based traceability systems, and Generative Artificial Intelligence (GenAI) (Xu et al., 2025; Wang & Zhang, 2025). A further, largely under-theorized dimension concerns the ethical governance of technology-enabled sustainability, a role for which the literature on Servant Leadership offers a particularly relevant, if underused, theoretical lens (Lusiani et al., 2020; Pasolong et al., 2024).

This paper responds to this fragmentation by conducting a state-of-the-art review of the literature situated at the intersection of digital and environmental leadership, a domain that this study refers to as the green–digital leadership landscape. Rather than proposing a single new leadership style, the objective is analytical: to map how existing streams — Digital Leadership, Green Transformational Leadership, Servant Leadership, and Sustainable Leadership — relate to one another, to identify the theoretical foundations that scholars have used to explain how leadership translates into sustainable digital performance, and to surface the capabilities and organizational mechanisms that recur across this literature.

The review draws substantially on a recent conceptual synthesis of "Green Technology Leadership" (GTL), which explicitly integrates the visionary, technological, and ethical dimensions discussed above, and treats this synthesis as an illustrative case of how an integrative construct can be built from fragmented antecedents.

The remainder of the paper is organized as follows. The Conceptual Framework section situates the review within the Resource-Based View (RBV) and the Ability-Motivation-Opportunity (AMO) theory, examining the principal leadership streams that compose the green–digital landscape before discussing their integration into unified constructs such as GTL. The Methodology section describes the approach adopted for the literature synthesis. The Findings and Discussion section addresses the organizational mechanisms, performance outcomes, and research gaps identified in the reviewed literature. Strategic Implications and Future Research Agenda outlines key managerial and policy insights, and the Conclusion and Discussion section concludes the paper with a comprehensive summary and directions for future research.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

Theoretical Foundations: The Resource-Based View and the AMO Theory

Two theoretical perspectives recur across the literature reviewed for this study and provide the conceptual scaffolding for the remainder of the paper. The first is the Resource-Based View (RBV), which holds that sustained competitive advantage is rooted in resources that are valuable, rare, inimitable, and non-substitutable. Applied to the Twin Transition, several authors argue that physical assets such as renewable-energy infrastructure or high-performance computing clusters are increasingly commoditized and therefore insufficient, on their own, to generate differentiation. Leadership capable of simultaneously orchestrating digital and ecological priorities is instead framed as the rarer, socially complex, and path-dependent resource, since it combines a fluency in digital systems with an fluency in ecological reasoning that is seldom found together in traditional management ranks. Because such leadership is embedded in an organization's history and internal relationships, it is difficult for competitors to observe and replicate, which is precisely the condition of causal ambiguity that RBV associates with sustained advantage.

The second perspective, the Ability-Motivation-Opportunity (AMO) theory, complements RBV by explaining the micro-foundations through which leadership is converted into employee-level performance. Within the reviewed literature, leadership at the green–digital nexus is repeatedly described as shaping all three AMO components. Ability is enhanced when leaders invest in hybrid digital-ecological competencies, such as training employees to use big-data analytics for carbon-footprint monitoring or to apply green coding principles that reduce the energy consumption of software (Xu et al., 2025). Motivation is strengthened when leaders articulate a shared green vision that goes beyond profitability and draw on the ethical grounding associated with Servant Leadership, so that digitalization is experienced as a purposeful contribution to ecological stewardship rather than as a threat to established roles (Dinibutun, 2024). Opportunity is created through structural mechanisms — cross-functional teams, participatory cultures, and Strategic Green Human Resource Management — that dissolve the traditional silos separating information-technology functions from sustainability units (Paillé et al., 2020). Taken together, RBV explains why integrative green–digital leadership is strategically valuable, while AMO explains how that value is realized through the workforce.

Digital Leadership: The Technological Stream

Digital Leadership is generally characterized in the literature as the capacity to manage technological disruption and to treat data as a strategic organizational asset. Leaders operating within this stream are described as fostering a digital-first culture, understanding how big-data analytics can optimize energy consumption, and using digital twins to anticipate and mitigate waste (Xi et al., 2025; Asbeetah et al., 2025). Real-time monitoring and automated reporting are frequently cited as mechanisms that allow firms to shift from reactive to proactive environmental management (Khan et al., 2025). At the same time, the reviewed studies converge on an important limitation: a purely technological orientation risks privileging algorithmic efficiency over ecological or ethical considerations, so that digital transformation optimizes short-term productivity while leaving longer-term social and environmental

externalities unaddressed. This limitation is the principal reason that later syntheses argue for pairing Digital Leadership with an explicit ethical or ecological counterweight.

Green Transformational Leadership: The Visionary Stream

Building on the foundational work of Chen and Chang (2013) and subsequently reinforced by Liu and Yu (2023) and Ahsan (2025), Green Transformational Leadership is described as inspiring employees to transcend narrow self-interest for the collective benefit of the natural environment. Two mechanisms recur throughout this literature. First, leaders use intellectual stimulation to challenge carbon-intensive routines and to encourage employees to propose environmentally friendly alternatives, a process linked to the development of green dynamic capabilities (Nawaz et al., 2025). Second, leaders act as ecological role models, fostering what several studies term "green passion" and reducing employee resistance to sustainability-oriented change (Abourokbah et al., 2024). The consistent limitation identified across this stream is technical: transformational appeals to environmental values are frequently reported to lack the specific "how-to" knowledge required to operationalize advanced Industry 4.0 and 5.0 architectures, leaving a gap between environmental aspiration and technological execution.

Servant Leadership: The Ethical Stream

A smaller but growing body of research positions Servant Leadership as the source of moral direction that a purely technological or purely visionary leadership style cannot supply on its own (Lusiani et al., 2020; Pasolong et al., 2024). Within this stream, leaders are understood to treat technology as a means of service to employees, society, and the natural environment rather than solely as an instrument of profit, an orientation that several authors associate with the development of green organizational trust (Şengüllendi et al., 2024). This ethical emphasis is described as particularly consequential given the environmental costs that are often hidden inside digital infrastructure itself — for instance, the electricity and water demands of training large generative-AI models and operating hyperscale data centers (Sankar et al., 2023; Wang & Zhang, 2025). Servant Leadership is therefore framed less as a stand-alone leadership style for the green–digital context and more as a governing orientation that determines whether digital and ecological capabilities are deployed responsibly.

Toward an Integrative Construct: Green Technology Leadership

Because none of the three streams reviewed above is, by itself, sufficient to address the Twin Transition, recent scholarship has begun to integrate them into unified, multidimensional constructs. The most fully developed example identified in this review is Green Technology Leadership (GTL), which combines the visionary motivation of Green Transformational Leadership, the technical proficiency of Digital Leadership, and the ethical stewardship of Servant Leadership into a single higher-order construct. Within this formulation, the leader is simultaneously a visionary architect, a technological navigator, and an ethical guardian; and, consistent with RBV reasoning, the resulting profile is treated as rare and inimitable because competitors can purchase identical hardware or software but cannot easily replicate the socially embedded combination of technical mastery and altruistic orientation that underlies it. Framed as a dynamic capability rather than a static managerial style, GTL is described as operating through three processes borrowed from the dynamic-capabilities literature: sensing emerging green technologies and regulatory shifts; seizing opportunities by mobilizing the Ability, Motivation, and Opportunity of the workforce; and continuously transforming internal routines so that the firm can pivot toward circularity without losing competitive momentum (Zhong et al., 2025).

Table 1 provides a concise comparison of the primary contributions, key limitations, and research needs associated with the three leadership perspectives examined in this review. Digital Leadership emphasizes technological agility but gives limited attention to environmental consequences. Green Transformational Leadership provides a strong ecological vision but offers limited guidance for complex technological implementation. Servant Leadership contributes ethical stewardship but remains insufficiently connected to strategic digital governance. These complementary strengths and limitations highlight the need for further research on leadership approaches capable of addressing technological, ecological, and ethical priorities simultaneously.

Leadership Capabilities at the Green-Digital Nexus

Across the reviewed studies, six capabilities recur with sufficient frequency to be treated as core requirements for leadership at the green–digital nexus. Digital fluency refers to the capacity to understand and deploy Industry 4.0 and 5.0 technologies, including the GIIoT, big-data analytics, and generative AI, for environmental purposes rather than efficiency purposes alone. Ecological awareness refers to an understanding of carbon accounting, lifecycle assessment, and circular-economy principles sufficient to evaluate whether a digital solution genuinely reduces environmental impact. Ethical stewardship concerns the capacity to subject technological deployments to moral scrutiny, including data-privacy safeguards and the management of electronic waste. Strategic agility concerns the ability to reconfigure organizational resources rapidly in response to shifting regulation or technological opportunity, consistent with the dynamic-capabilities view. Cross-functional coordination concerns the ability to dissolve the silos that traditionally separate information-technology departments from sustainability offices. Finally, the ability to mobilize human and technological resources jointly – rather than sequentially – for sustainable value creation is repeatedly identified as the capability that most clearly distinguishes integrative green–digital leadership from either of its antecedent streams practiced in isolation.

Table 1. Leadership Perspectives at the Green-Digital Nexus

Leadership Perspective	Primary Contribution	Key Limitation	Research Need
Digital Leadership	Technological agility and data-driven transformation	Limited attention to environmental consequences	Responsible and environmentally sensitive digital governance
Green Transformational Leadership	Ecological vision and employee engagement	Limited technological implementation capability	Integration with advanced digital technologies
Servant Leadership	Ethical stewardship and stakeholder well-being	Limited strategic and digital orientation	Application to technology governance

METHODOLOGY

This paper adopts a systematic literature synthesis approach rather than a statistical meta-analysis, reflecting the conceptual and still-emerging nature of the green–digital leadership domain. The review process followed a structured keyword-tracking strategy, searching combinations of terms including “Twin Transition,” “Green Transformational Leadership,” “Digital Leadership,” “Servant Leadership,” “Green Human Resource Management,” and “green innovation,” across the period 2020–2026, in order to capture both the foundational literature and the most recent theoretical developments. Sources were drawn primarily from peer-reviewed journals indexed in mainstream business, management, and sustainability databases, supplemented by recent book-length treatments of the topic where they offered conceptual integration not yet available in journal form.

Screening prioritized studies that (a) explicitly theorized a leadership construct in relation to environmental sustainability, digital transformation, or both; (b) specified at least one underlying mechanism connecting leadership to organizational or employee-level outcomes; and (c) were published in, or after, 2013, the year in which Chen and Chang's foundational work on Green Transformational Leadership appeared. Studies that addressed digital transformation or environmental management without reference to leadership were excluded, as were purely technical studies of Industry 4.0/5.0 technologies that did not engage with organizational behavior. The resulting corpus was analyzed thematically, first to identify the distinct leadership streams described in Section 2, and second to identify recurring organizational mechanisms, outcome variables, and explicitly stated limitations, which form the basis of the discussion of research gaps in Section 4.

FINDINGS AND DISCUSSION

Organizational Mechanisms: Strategic Green HRM and Innovation Culture

A consistent finding across the reviewed literature is that leadership vision, however integrative, does not translate into organizational outcomes without a supporting human-resource architecture. Strategic Green Human Resource Management (GHRM) is repeatedly described as the transmission mechanism that converts leadership intent into workforce behavior, through green recruitment and hybrid-talent acquisition, revised performance-appraisal systems that incorporate environmental metrics alongside financial ones, and reward structures that recognize energy-saving innovation (Paillé et al., 2020; Shahzad et al., 2026). A second mechanism, closely related to GHRM, is the cultivation of a green innovation culture that dismantles the silos separating information-technology functions from sustainability offices, enabling cross-functional knowledge sharing and providing employees with the psychological safety needed to propose disruptive digital-green solutions (Tortorella et al., 2020; Zada et al., 2025). Related evidence indicates that Green HRM practices are more effective when coupled with green transformational leadership and green corporate social responsibility, and when organizational learning paths are already in place to absorb Industry 4.0 adoption (Niazi et al., 2023; Cop et al., 2021). When environment-driven corporate social responsibility initiatives are championed by servant-oriented leaders, they have also been shown to strengthen green dynamic capabilities directly (Yu et al., 2024). Both mechanisms map directly onto the Opportunity component of the AMO framework discussed in Section 2.

Outcomes: Green Innovation, Environmental and Financial Performance

The reviewed studies converge on green innovation — disaggregated into green process innovation and green product innovation — as the principal proximal outcome of integrative green–digital leadership. Green process innovation is generally operationalized through technologies such as AI-driven energy management and predictive maintenance that reduce resource waste (Xu et al., 2025; Xi et al., 2025), while green product innovation is associated with the use of generative AI and big-data lifecycle analysis to design more sustainable products and supply chains (Wang & Zhang, 2025). At the level of firm performance, a recurring theoretical claim is that environmental performance and financial performance are not competing objectives but mutually reinforcing ones, operating through three pathways identified across the literature: operational efficiency gained from resource optimization, risk mitigation through proactive compliance with tightening regulation such as carbon border adjustment mechanisms, and market differentiation through enhanced brand equity and access to green finance (Singh et al., 2020; Marrocu et al., 2026). At the same time, several studies caution against a naive reading of this relationship, drawing attention to the environmental rebound effect, whereby digitally enabled efficiency gains lead to increased production volumes that offset initial carbon savings, and arguing that leadership must extend lifecycle assessment to the digital infrastructure itself rather than only to physical operations. The ethical-servant dimension of integrative leadership is highlighted as particularly relevant here, since environmental servant leadership has been linked to green innovation through corporate environmental ethics as a mediating mechanism (Rafiq, 2025), and green-product-innovation performance more broadly continues to be shaped by the same determinants — environmental strategy, regulatory pressure, and green creativity — identified in earlier, pre-digital studies of green product development (Chang, 2016).

Research Gaps

Several limitations recur across the reviewed literature and constitute the principal research gaps identified by this synthesis. First, digital and environmental leadership capabilities are still frequently studied in isolation, and where integrative constructs such as GTL are proposed, they remain predominantly conceptual, with limited empirical validation of their measurement structure. Second, the literature offers inconsistent conceptual boundaries between related constructs — Green Leadership, Green Transformational Leadership, Sustainable Leadership, and Environmental Leadership are sometimes used interchangeably and sometimes treated as distinct — which complicates cumulative theory building. Third, the environmental and ethical consequences of digital technologies themselves, including the energy and water intensity of large-scale AI systems and the electronic-waste implications

of rapid hardware cycles, receive comparatively little sustained attention relative to the attention paid to the environmental benefits that digital tools can generate. Fourth, longitudinal and multilevel research designs are notably scarce; most reviewed studies rely on single-wave, single-level survey data, which limits the ability to draw causal conclusions about how leadership shapes green innovation and performance over time. Fifth, contextual differences across industries, organizational sizes, and institutional environments — particularly the distinct constraints and opportunities faced by small and medium enterprises (SMEs) relative to large conglomerates — remain under-examined despite their evident practical relevance.

Beyond these methodological and conceptual gaps, several substantive themes are emerging in the literature but remain insufficiently theorized in relation to leadership. These include the governance of artificial intelligence within Industry 5.0 production systems, the design of green information systems and responsible data-governance frameworks, the extension of green-digital thinking to Supply Chain 5.0, and the cultivation of hybrid green–digital competencies within the workforce more broadly. Each of these themes represents a promising direction for extending the conceptual work synthesized in Section 2 into more precisely specified and empirically testable propositions.

STRATEGIC IMPLICATIONS AND FUTURE RESEARCH AGENDA

Implications for Managers and Organizations

For practitioners, the central implication of this review is that digitalization and sustainability should be managed as a single integrated strategic path rather than as parallel initiatives owned by different departments. This requires breaking functional silos through cross-functional task forces in which data scientists, IT architects, and sustainability officers jointly design technological deployments, so that, for example, IoT sensors installed for operational efficiency are simultaneously configured for carbon tracking. It also requires a shift from static, annual ESG reporting toward agile, real-time ESG dashboards that allow managers to adjust resource consumption and logistics dynamically, a capability increasingly necessary to satisfy carbon-accounting mandates such as the European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism.

Implications for Policy and Education

For educational institutions, the reviewed literature suggests that curricula in management, data science, and engineering should embed sustainable-systems thinking as a foundational requirement rather than as an elective addition, so that graduates enter the workforce with the hybrid digital-ecological competencies that integrative leadership requires. For policymakers, particular attention should be directed toward SMEs, which typically face greater resource constraints than large firms but often possess greater agility in adopting disruptive sustainable innovations; targeted R&D incentives, tax credits for projects combining carbon reduction with digital automation, and subsidized access to green cloud computing and standardized ESG reporting APIs are identified across the literature as mechanisms that could accelerate an inclusive green–digital transition (Tariq et al., 2025; Abdelwahed, 2025). Evidence linking technology-leadership readiness to green innovation and environmental performance further suggests that these enabling policies are likely to be most effective when paired with parallel investment in employee-level green work engagement rather than infrastructure alone (Abdelwahed, 2025; Siddiquei et al., 2021).

Future Research Agenda

Building on the gaps identified in Section 4, this review proposes five priorities for future research. Longitudinal studies should examine whether firms exhibiting stronger integrative green–digital leadership demonstrate superior recovery capacity following ecological or economic shocks. Comparative, sector-specific studies should examine whether the technological component of integrative leadership requires different configurations in carbon-intensive manufacturing relative to digital-first service industries. Critical scholarship should more systematically examine the environmental footprint of the digital infrastructure that underlies the Twin Transition itself, including the energy consumption of large language models. Behavioral and psychological research should examine how ethical stewardship and technical vision jointly shape employee green passion and digital

self-efficacy, and how they mitigate change fatigue in high-pressure digital environments. Finally, research conducted in emerging-market and SME contexts should examine how open-source digital tools and cloud-based ESG software can enable green–digital leadership without requiring the heavy capital expenditure available to large multinational firms.

CONCLUSION AND DISCUSSION

This paper has reviewed the fragmented literature situated at the intersection of digital and environmental leadership and has argued that the Twin Transition is, at its core, a leadership challenge rather than a purely technological or purely ecological one. Digital Leadership supplies technological depth but insufficient ecological scope; Green Transformational Leadership supplies ecological vision but insufficient technical grounding; and Servant Leadership supplies ethical direction but has historically remained disconnected from strategic technology deployment. Recent integrative constructs such as Green Technology Leadership demonstrate that these three streams can be synthesized into a higher-order dynamic capability, consistent with the Resource-Based View, and that this capability operates on organizational outcomes through the micro-foundational mechanisms specified by AMO theory and through Strategic Green Human Resource Management.

At the same time, the review has shown that this integrative move is still largely conceptual. Empirical validation of integrative constructs, longitudinal evidence of their organizational consequences, and contextually sensitive research across industries and firm sizes remain scarce. Addressing these gaps, together with closer attention to the environmental and ethical costs embedded within digital technologies themselves, represents the most promising path toward a green–digital leadership literature that is theoretically coherent, empirically grounded, and practically useful for the managers and policymakers who must navigate the Twin Transition in the years ahead.

REFERENCES

Abdelwahed, N. A. A. (2025). The predictive power of technology leadership and green HRM toward green innovation, work engagement and environmental performance. International Journal of Productivity and Performance Management, 74(6), 2159–2182. https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2024-0379

Abourokbah, S., Bajaba, S., & Yaqub, M. Z. (2024). Leading the green wave: How and when green transformational leadership cultivates employee green creativity. Acta Psychologica, 250, 104503. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2024.104503

Ahsan, M. J. (2025). Green leadership and innovation: Catalysts for environmental performance in Italian manufacturing. The International Journal of Organizational Analysis, 33(7), 1646–1669. https://doi.org/10.1108/IJOA-04-2024-4450

Asbeetah, Z., Alzubi, A., Khadem, A., & Iyiola, K. (2025). Harnessing digital transformation for sustainable performance. Sustainability, 17(5), 2285. https://doi.org/10.3390/su17052285

Chang, C. H. (2016). The determinants of green product innovation performance. Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 23(2), 65–76. https://doi.org/10.1002/csr.1361

Chen, Y. S., & Chang, C. H. (2013). The determinants of green product development performance: Green dynamic capabilities, green transformational leadership, and green creativity. Journal of Business Ethics, 116(1), 107–119. https://doi.org/10.1007/s10551-012-1452-x

Cop, S., Olorunsola, V. O., & Alola, U. V. (2021). Achieving environmental sustainability through green transformational leadership policy: Can green team resilience help? Business Strategy and the Environment, 30(1), 671–682. https://doi.org/10.1002/bse.2646

Dinibutun, S. R. (2024). From green inclusive leadership to green creativity: The mediating role of green passion and green absorptive capacity. Journal of Open Innovation, 10(2), 100272. https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100272

Khan, A. N., Khan, N. A., & Mehmood, K. (2025). Management of green innovation: The influence of digital leadership on employee behavior in an empirical investigation. Baltic Journal of Management, 20(5), 675–694. https://doi.org/10.1108/BJM-08-2024-0495

Liu, X., & Yu, X. (2023). Green transformational leadership and employee organizational citizenship behavior for the environment in the manufacturing industry: A social information processing perspective. Frontiers in Psychology, 13, 1097655. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1097655

Lusiani, M., Abidin, Z., Fitrianingsih, D., Yusnita, E., Adiwinata, D., Rachmaniah, D., & Purwanto, A. (2020). Effect of servant, digital and green leadership toward business performance: Evidence from Indonesian manufacturing. Systematic Reviews in Pharmacy, 11.

Marrocu, E., Paci, R., & Serafini, L. (2026). Leveraging the twin transition: The impact of green and digital investment on firms' performance. Economics of Innovation and New Technology, 1–32. https://doi.org/10.1080/10438599.2025.2612614

Nawaz, R., Khan, Z., & Attiya, A. (2025). Corporate environmental performance: Green knowledge management's and green technology innovation's impact. The Asian Bulletin of Green Management and Circular Economy, 5(1), 140–160. https://doi.org/10.62019/abgmce.v5i1.135

Niazi, U. I., Nisar, Q. A., Nasir, N., Naz, S., Haider, S., & Khan, W. (2023). Green HRM, green innovation and environmental performance: The role of green transformational leadership and green corporate social responsibility. Environmental Science and Pollution Research International, 30(15), 45353–45368. https://doi.org/10.1007/s11356-023-25442-6

Paillé, P., Valéau, P., & Renwick, D. W. (2020). Leveraging green human resource practices to achieve environmental sustainability. Journal of Cleaner Production, 260, 121137. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121137

Pasolong, H., Enny, R., Andi, Y., Syamsuddin, S., & Aisyah, A. (2024). The impact of digital, servant, and green leadership on innovation in the manufacturing sector. Evolutionary Studies in Imaginative Culture, 8(2), 860–868. https://doi.org/10.70082/esiculture.vi.740

Rafiq, F. (2025). Environmental servant leadership and green innovation: The mediating role of corporate environmental ethics. Discover Sustainability, 6(1), 474. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01338-y

Sankar, T., Venkata Ramana, R. B., & Balamuralikrishnan, A. (2023). AI-optimized hyperscale data centers: Meeting the rising demands of generative AI workloads. International Journal of Trend in Scientific Research and Development, 7(1), 1504–1514.

Şengüllendi, M. F., Bilgetürk, M., & Afacan Fındıklı, M. (2024). Ethical leadership and green innovation: The mediating role of green organizational culture. Journal of Environmental Planning and Management, 67(8), 1702–1723. https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2180347

Shahzad, M. A., Chen, S., Wang, X., Li, Z., & Iqbal, T. (2026). Impact of GHRM and innovation capabilities on organizational performance: The role of digital transformation and green leadership. Journal of Manufacturing Technology Management, 37(1), 132–159. https://doi.org/10.1108/JMTM-11-2024-0639

Siddiquei, A., Asmi, F., Asadullah, M. A., & Mir, F. (2021). Environmental-specific servant leadership as a strategic tool to accomplish environmental performance: A case of China. International Journal of Manpower, 42(7), 1161–1182. https://doi.org/10.1108/IJM-07-2020-0350

Singh, S. K., Del Giudice, M., Chierici, R., & Graziano, D. (2020). Green innovation and environmental performance: The role of green transformational leadership and green human resource management. Technological Forecasting and Social Change, 150, 119762. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119762

Tariq, M., Elahi, A. R., Zainab, Z., & Ashfaq, F. (2025). Sustainable SME development: Analysis of green pathways through leadership, culture and innovation. International Journal of Ethics and Systems.

Tortorella, G. L., Vergara, A. M. C., Garza-Reyes, J. A., & Sawhney, R. (2020). Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. International Journal of Production Economics, 219, 284–294. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.06.023

Wang, S., & Zhang, H. (2025). Generative artificial intelligence and internationalization green innovation: Roles of supply chain innovations and AI regulation for SMEs. Technology in Society, 82, 102898. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.102898

Xi, Q., Li, Z., Zhao, J., & Ding, J. (2025). How can technology orientation promote green process innovation? The mediating effect of digital capability. Sustainability, 17(9), 4071. https://doi.org/10.3390/su17094071

Xu, N., Shahzad, F., & Hu, R. (2025). Unveiling environmental excellence: The confluence of green Industrial Internet of Things, circular economy practices and dynamic capabilities in manufacturing firms. Journal of Manufacturing Technology Management, 36(2), 479–503. https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2024-0155

Yu, T., Abbas, J., Rizvi, R. A., & Najam, H. (2024). Role of environment-driven CSR, green servant leadership, and green dynamic capabilities in firm green innovation: Evidence from manufacturing industry. Environment, Development and Sustainability, 28(3), 1–27. https://doi.org/10.1007/s10668-024-05201-4

Zada, M., Abdalla, A. A., Contreras-Barraza, N., & Vega-Muñoz, A. (2025). The impact of ecocentric leadership on organizational green innovation examining the serial mediation of green knowledge sharing and ambidexterity. Scientific Reports, 15(1), 35410. https://doi.org/10.1038/s41598-025-07512-6

Zhong, J., Shao, X., Xiao, H., Yang, R., & An, X. (2025). The research on the green leadership: A systematic review and theoretical framework. Environment, Development and Sustainability, 27(1), 377–408. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03960-0

NAVIGATING THE TWIN TRANSFORMATION IN SMES: ENABLERS, BARRIERS, AND LEADERSHIP CAPABILITIES

KOBİ'LERDE İKİZ DÖNÜŞÜMÜN YÖNETİLMESİ: KOLAYLAŞTIRICILAR, ENGELLER VE LİDERLİK YETKİNLİKLERİ

Erman GOKMEN, Ph.D. (c)
Gebze Technical University, Department of Business Administration
ORCID: 0009-0002-2176-7908

Assoc. Prof. Dr. Busra OZDENIZCI KOSE
Gebze Technical University, Department of Management Information Systems
ORCID: 0000-0002-8414-5252

ABSTRACT

The accelerating convergence of digital transformation and environmental sustainability, widely conceptualized as the "Twin Transformation" (TT), has become a strategic imperative for organizations across sectors. Although prior research has examined this dual transition primarily in the context of large enterprises and national policy frameworks, the conditions under which small and medium-sized enterprises (SMEs) navigate TT remain insufficiently understood. SMEs account for the vast majority of businesses and play a substantial role in employment, economic activity, and environmental impact. However, they often face persistent financial, technological, human-capital, and institutional constraints that limit the applicability of generic transformation models. This conceptual paper critically synthesizes recent research on the enablers, barriers, and leadership capabilities associated with TT in SMEs. Drawing on studies of green–digital transformation, digital readiness, Industry 4.0, circular economy integration, and sustainable innovation, the paper identifies five interrelated dimensions that shape TT adoption: corporate culture and strategic alignment, financial capacity, knowledge and operational capabilities, technological readiness, and external and governmental support. The analysis indicates that TT in SMEs is not determined solely by access to digital technologies or environmental solutions. Leadership commitment, organizational learning, employee involvement, cross-functional coordination, and the capacity to align green and digital priorities emerge as critical conditions for successful transformation. At the same time, fragmented strategies, limited investment capacity, shortages of hybrid green–digital skills, uncertainty regarding expected returns, weak data capabilities, and insufficient ecosystem support remain major barriers. The paper further identifies a set of leadership capabilities required to navigate TT in resource-constrained SMEs, including digital fluency, ecological awareness, strategic agility, ethical responsibility, collaborative decision-making, and the ability to mobilize internal and external resources. Based on this synthesis, the study proposes a contextual research agenda emphasizing multilevel and longitudinal analyses, sector-specific readiness models, and closer examination of the interaction between leadership capabilities and ecosystem conditions. The findings provide practical implications for SME managers, policymakers, and ecosystem facilitators seeking to accelerate an inclusive, resilient, and sustainable green–digital transition.

Keywords: Twin Transformation, SMEs, Leadership Capabilities, Digital Readiness, Green Transformation, Industry 4.0, Circular Economy

ÖZET

Dijital dönüşüm ile çevresel sürdürülebilirliğin giderek hızlanan yakınsaması, literatürde yaygın biçimde "İkiz Dönüşüm" olarak kavramsallaştırılmakta ve sektörler genelinde örgütler için stratejik bir gereklilik hâline gelmektedir. Önceki çalışmalar bu ikili dönüşümü ağırlıklı olarak büyük işletmeler ve ulusal politika çerçeveleri bağlamında ele almış olsa da küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin (KOBİ'lerin) İkiz Dönüşümü hangi koşullar altında yönettiği yeterince açıklığa kavuşturulamamıştır. KOBİ'ler işletmelerin büyük çoğunluğunu oluşturmakta; istihdam, ekonomik faaliyet ve çevresel etki açısından önemli bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte bu işletmeler, genel dönüşüm modellerinin doğrudan uygulanabilirliğini sınırlayan finansal, teknolojik, beşerî sermaye ve kurumsal kısıtlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu kavramsal çalışma, KOBİ'lerde İkiz Dönüşümle ilişkili kolaylaştırıcıları, engelleri ve liderlik yetkinliklerini ele alan güncel araştırmaları eleştirel biçimde sentezlemektedir.

Yeşil dijital dönüşüm, dijital olgunluk, Endüstri 4.0, döngüsel ekonomi entegrasyonu ve sürdürülebilir inovasyon çalışmalarından hareketle İkiz Dönüşümün benimsenmesini şekillendiren birbiriyle ilişkili beş boyut belirlenmiştir: örgüt kültürü ve stratejik uyum, finansal kapasite, bilgi ve operasyonel yetkinlikler, teknolojik hazırlık ile dış çevre ve kamu desteği. Analiz, KOBİ'lerde İkiz Dönüşümün yalnızca dijital teknolojilere veya çevresel çözümlere erişimle açıklanamayacağını göstermektedir. Liderlik bağlılığı, örgütsel öğrenme, çalışan katılımı, işlevler arası koordinasyon ve yeşil ile dijital öncelikleri uyumlaştırma kapasitesi, başarılı dönüşümün temel koşulları olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık parçalı stratejiler, sınırlı yatırım kapasitesi, hibrit yeşil dijital beceri eksikliği, beklenen yatırım getirilerine ilişkin belirsizlik, zayıf veri yetkinlikleri ve yetersiz ekosistem desteği başlıca engeller arasında yer almaktadır. Çalışmada ayrıca kaynak kısıtı bulunan KOBİ'lerin İkiz Dönüşümü yönetebilmesi için gerekli olan dijital yetkinlik, ekolojik farkındalık, stratejik çeviklik, etik sorumluluk, katılımcı karar verme ve iç ve dış kaynakları harekete geçirme becerisi gibi liderlik yetkinlikleri belirlenmektedir. Bu sentez doğrultusunda çalışma; çok düzeyli ve boylamsal analizleri, sektöre özgü hazırlık modellerini ve liderlik yetkinlikleri ile ekosistem koşulları arasındaki etkileşimin daha yakından incelenmesini öne çıkaran bağlamsal bir gelecek araştırma gündemi sunmaktadır. Bulgular, kapsayıcı, dayanıklı ve sürdürülebilir bir yeşil dijital dönüşümü hızlandırmayı amaçlayan KOBİ yöneticileri, politika yapıcılar ve ekosistem kolaylaştırıcıları için uygulamaya dönük çıkarımlar sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: İkiz Dönüşüm, KOBİ'ler, Liderlik Yetkinlikleri, Dijital Olgunluk, Yeşil Dönüşüm, Endüstri 4.0, Döngüsel Ekonomi

INTRODUCTION

Since the dawn of the industrial revolutions, global production systems have evolved at an unprecedented pace. In the first quarter of the twenty-first century, two primary engines of this evolution emerged: digitalization and environmental sustainability. Traditionally viewed as independent or occasionally conflicting domains, these two megatrends are now converging under a holistic and strategic paradigm known as the "Twin Transformation" (Ben Youssef, 2025). The twin transformation is defined as a dual-directional strategy that envisions enterprises leveraging digital technologies to optimize processes and enhance productivity, while simultaneously reducing their environmental footprint to achieve sustainability goals (Schumacher et al., 2025). Accordingly, macro-level policy frameworks, such as the European Union's Green Deal and the Digital Decade 2030 targets, have positioned the twin transformation at the core of contemporary industrial strategies (Burinskienė & Nalivaikė, 2024; European Commission, 2020).

Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs), which constitute over 99% of global economic ecosystems and act as the primary engines of employment and value creation, play a pivotal role in the success of the twin transformation. However, a review of the extant literature reveals that the majority of digital and green transformation models are explicitly designed around the structural characteristics and expansive resources of large-scale multinational corporations (Burtscher et al., 2025). Due to chronic constraints such as financial vulnerability, technological infrastructure deficits, limited human capital, and structural inertia, SMEs encounter significant difficulties in directly applying these generic models (Leipziger et al., 2025; Ogrean & Herciu, 2021). Therefore, there is an urgent need for contextualized research that thoroughly considers the unique dynamics, capabilities, and constraints of SMEs.

This study aims to provide a conceptual framework by critically synthesizing recent, high-quality research conducted between 2021 and 2026 in the fields of twin transformation, digital readiness, Industry 4.0, and sustainable innovation within SMEs. Accordingly, the factors shaping the success or failure of the twin transformation in SMEs are examined across five fundamental dimensions: Organizational Culture, Financial Capacity, Knowledge and Operational Capabilities, Technological Readiness, and External Environment and Public Support. The enablers that trigger the process and the barriers that impede it are comparatively analyzed. Furthermore, the micro-level capabilities required by SME leaders operating under resource constraints are conceptualized within the framework of the Dynamic Capabilities theory (Teece, 2007).

FIVE KEY DIMENSIONS SHAPING THE TWIN TRANSFORMATION IN SMES

The twin transformation processes of SMEs exhibit a heterogeneous and multi-layered structure. Through the synthesis of the literature, five fundamental organizational and environmental dimensions that directly determine the success of this transformation have been identified.

Organizational Culture and Strategic Alignment

Organizational culture is the most critical dimension representing the mindset shift necessary for the twin transformation. Empirical studies conducted by Burtscher et al. (2025) demonstrated that internal strategic alignment and an organization culture open to transformation are fundamental instruments in twin transformation pathways. Examinations at the scale of family businesses indicate that corporate social responsibility and sustainability awareness gain momentum during intergenerational transitions, particularly due to the propensity of next-generation (next-gen) managers toward work-life balance (WLB) and digitalization (Colapinto & Masé, 2025). However, the greatest structural barrier encountered in SMEs with traditional management approaches is corporate inertia. Many SME managers view digitalization merely as a technical operation and green transformation as an additional cost element, failing to reach the cultural maturity required to integrate these two strategic foci (Isensee et al., 2020).

Financial Capacity

The limitation of financial resources is the most prevalent barrier to the innovation and transformation capability of SMEs (Leipziger et al., 2025). A large-scale empirical analysis conducted by Schumacher et al. (2025) proved that the positive impact of digital orientation on environmental innovation and product responsibility in SMEs is directly moderated by the level of "financial slack" possessed by the enterprise. Based on the Resource-Based View (RBV) (Barney, 1991), enterprises with high financial slack can absorb the risks associated with digital investments and crown these investments with green solutions. In contrast, SMEs experiencing capital constraints and avoiding uncertainties regarding return on investment (ROI) continuously postpone twin transformation decisions.

Knowledge and Operational Capabilities

The twin transformation demands a "hybrid" accumulation of knowledge that requires mastery of both digital technologies (e.g., artificial intelligence, data analytics, cloud computing) and sustainability methodologies (e.g., life cycle assessment, carbon accounting) (Hein, Münter, & Zimmermann, 2026). SMEs generally struggle to employ specialized human resources possessing both skill sets simultaneously. At the operational level, the existence of interdepartmental silos and the weakness of knowledge-sharing channels lead to a lack of coordination between the Information Technology (IT) department and sustainability or production units. At this point, organizational learning capacity and the absorptive capacity of external knowledge emerge as vital enablers (Ben Youssef, 2025).

Technological Readiness

The level of technological readiness refers to the ability of SMEs' existing infrastructures to integrate with Industry 4.0 and data-driven systems. In their Smart Technology Readiness Assessment (SSTRA) model developed for Digital Twin applications in SMEs, de Larmelina, da Silva, and Risso (2025) emphasized the importance of real-time monitoring, predictive simulation, and system integration. The greatest technological barriers for SMEs are the presence of legacy production lines and data interoperability issues. To overcome this barrier, Kang and Kim (2024) propose hybrid solutions involving low-cost "attachable IoT-based frameworks" that can be retrofitted to existing machinery and public cloud servers. This allows SMEs to transition to the data collection and process optimization phases without engaging in high-cost infrastructure renewals.

External Environment and Public Support

SMEs can only compensate for their internal resource deficits through their ecosystem ties and external support. Innovation Ecosystems (IE), Digital Innovation Hubs (DIH), and university-industry collaborations radically facilitate transformation by providing SMEs with technology transfer, access to

financing, and consulting (Burtscher et al., 2025). Green incentives and regulatory pressures provided by public authorities are also triggering elements. On the other hand, institutional infrastructure deficiencies in developing countries constitute a severe external environmental barrier. For instance, while examining the twin transformation processes of SMEs in South Africa, Leipziger et al. (2025) revealed that fundamental infrastructure crises (such as load shedding) and institutional complexity distract enterprises from digital goals, forcing them into "frugal" innovations aimed merely at day-to-day survival.

CRITICAL SYNTHESIS OF BARRIERS AND ENABLERS

A critical synthesis of the studies in the literature clearly demonstrates that the twin transformation cannot be managed as a linear or fragmented process. The relationship between digitalization and sustainability can sometimes conflict due to the "rebound effect"; for example, the high energy consumption and amount of e-waste brought about by digitalization may contrast with green transformation goals (Ben Youssef, 2025). Therefore, SMEs must conduct both orientations in a coordinated manner. The most fundamental enablers and barriers distilled from the literature are systematized in Table 1.

Table 1. Matrix of enablers and barriers for the twin transformation in SMEs

Dimension	Enablers	Barriers	Key References
Organizational Culture	Leadership commitment, intergenerational visionary leadership, organizational agility.	Corporate inertia, resistance to change, managerial overconfidence.	Burtscher et al. (2025); Colapinto & Masé (2025)
Financial Capacity	Financial slack, green subsidies, joint investment models, R&D grants.	High initial investment costs, lack of capital, ROI uncertainties.	Schumacher et al. (2025); Leipziger et al. (2025)
Knowledge & Operations	Organizational learning, dynamic capabilities, cross-functional collaboration.	Hybrid (green-digital) skill gap, operational silos, knowledge deficits.	Hein et al. (2026); Ben Youssef (2025)
Technological Readiness	Attachable IoT sensors, digital twin simulations, cloud integration.	Legacy hardware, lack of interoperability, poor data quality.	de Larmelina et al. (2025); Kang & Kim (2024); Grieves (2014)
External Environment & Public Support	Innovation ecosystems (IE), DIHs, Global Value Chain (GVC) regulatory pressure.	Digital divide, bureaucracy, regional/infrastructural inadequacies.	Burinskienė & Nalivaikė (2024); Ogrean & Herciu (2021)

An examination of Table 1 clearly shows that for SMEs to achieve a successful twin transformation, they must develop dynamic strategies that mitigate barriers while maximizing enabling factors. In particular, findings suggesting that barriers in the technological readiness dimension can be overcome with low-cost attachable technologies (Kang & Kim, 2024) can serve as leverage for SMEs in managing their financial constraints.

LEADERSHIP CAPABILITIES IN THE TWIN TRANSFORMATION PROCESS: A DYNAMIC CAPABILITIES PERSPECTIVE

In SMEs, which are resource-constrained and sensitive to external shocks, the most fundamental dynamic determining the course of the twin transformation is leadership capabilities. Traditional leadership theories remain insufficient to explain this dual-directional and complex transformation.

In this study, the micro-level capabilities required by SME leaders are conceptualized across three main stages (Sensing, Seizing, Transforming) based on Teece's (2007) "Dynamic Capabilities" theory and further expanded by Warner and Wäger (2019).

Sensing Capabilities

Sensing capabilities represent the SME leader's ability to early recognize and make sense of digital trends in the external environment, technological developments, sustainability regulations, and changing customer expectations (Teece, 2007). In this context, digital fluency and ecological awareness play a key role. The leader must combine these traits to foresee how artificial intelligence or IoT technologies can reduce carbon emissions in their own production processes, and must be able to exercise strategic foresight before legal obligations (such as Scope 3 emission reporting or Digital Product Passports in global value chains) mandate compliance (de Larmelina et al., 2025).

Seizing Capabilities

Following the sensing of opportunities, limited corporate resources must be appropriately channeled toward these opportunities. This stage involves the capabilities of strategic agility and collaborative decision-making. Utilizing the advantage of being free from bureaucratic sluggishness, SME leaders must be able to make rapid decisions and allocate the financial slack within the firm to the twin transformation projects that will produce the highest environmental and economic added value (Schumacher et al., 2025). Furthermore, they should operate a collective reasoning process by involving employees and ecosystem partners in decision-making processes.

Transforming Capabilities

Transforming capabilities involve the process of reconfiguring the corporate structure, processes, and culture in line with new objectives and breaking the resistance to change (Teece, 2007). The greatest responsibility of SME leaders at this stage is to assume ethical responsibility and effectively mobilize internal and external resources (Colapinto & Masé, 2025). Tearing down interdepartmental silos between IT and sustainability teams to establish common eco-KPIs (Key Performance Indicators) and making room for next-generation innovations while preserving the corporate legacy are the most concrete indicators of this capability.

DISCUSSION AND FUTURE RESEARCH AGENDA

The literature synthesis indicates that the twin transformation in SMEs extends beyond technical adaptation and requires coordinated organizational and ecosystem-level change. A central tension emerging from the reviewed studies is that greater digital orientation does not automatically generate green innovation or improved environmental performance. As suggested by Schumacher et al. (2025), financial slack and managerial commitment are important conditions for translating digital investments into sustainability outcomes. Moreover, the contrast between SMEs operating within developed European innovation ecosystems and the resource-constrained, frugal transformation pathways followed by SMEs in developing economies (Leipziger et al., 2025) challenges the applicability of standardized transformation models across different institutional contexts. These findings underscore the need to consider organizational resources, managerial capabilities, sectoral characteristics, and ecosystem conditions jointly when examining the twin transformation of SMEs.

Based on the identified gaps, future research should address three priorities:

- Longitudinal studies should examine how SMEs' digitalization investments affect carbon emissions, resource efficiency, and circularity over time. Data generated through environmental management systems and lifecycle assessment tools could also be used to identify potential rebound effects.
- Sector-specific readiness models should be developed to assess the technological preparedness and twin transformation maturity of SMEs. Such models should reflect the differing priorities of manufacturing, service, and agricultural enterprises.

- Mixed-method and multilevel studies should examine how firm-level leadership capabilities interact with ecosystem conditions, including Digital Innovation Hubs, university–industry collaboration networks, regional infrastructure, and public policy support.

CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

The twin transformation represents a strategic requirement for the long-term resilience and competitiveness of SMEs. This review indicates that its successful management depends on the alignment of organizational culture, financial capacity, operational capabilities, technological readiness, leadership commitment, and ecosystem support. Digital technologies alone are insufficient to generate sustainable outcomes unless they are accompanied by environmental objectives, appropriate organizational capabilities, and supportive institutional conditions. Accordingly, the twin transformation should be understood as a coordinated organizational and ecosystem-level process rather than as a collection of isolated digital or environmental initiatives.

At the organizational level, SME managers should translate the twin transformation into coordinated decisions concerning investment, capability development, and internal governance. In this respect:

- Environmental and social performance indicators should be incorporated into digitalization projects during the design stage rather than being evaluated only after implementation.
- SMEs should prioritize scalable and cost-effective solutions, such as retrofittable IoT sensors and open-source cloud architectures, instead of relying exclusively on costly full-scale infrastructure renewal.
- Organizational silos between technology and sustainability functions should be reduced through shared objectives, while training programs should strengthen employees' hybrid green-digital competencies and adaptability.

Because many of the barriers faced by SMEs cannot be addressed at the firm level alone, policymakers and ecosystem facilitators should also establish coordinated support mechanisms. Accordingly:

- Digitalization and green transformation incentives should be integrated into support packages that encourage SMEs to pursue technological and environmental objectives simultaneously.
- Reliable energy, broadband connectivity, and standardized data infrastructures should be strengthened, particularly for SMEs located in rural and peripheral regions.
- Digital Innovation Hubs, university-industry partnerships, and SME-focused knowledge-sharing networks should be expanded to reduce the cost of accessing external expertise, technology, and innovation resources.

Through the alignment of firm-level capabilities with integrated policy and ecosystem support, SMEs can strengthen their capacity to pursue digital competitiveness and environmental sustainability simultaneously.

REFERENCES

Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. Journal of Management, 17(1), 99-120.

Ben Youssef, A. (2025). Twin Transition: Digital Transformation Pathways for Sustainable Innovation. Sustainability, 17(21), 9491. https://doi.org/10.3390/su17219491

Burinskienė, A., & Nalivaikė, J. (2024). Digital and Sustainable (Twin) Transformations: A Case of SMEs in the European Union. Sustainability, 16(4), 1533. https://doi.org/10.3390/su16041533

Burtscher, J., Leipziger, M., Kanbach, D. K., & Kraus, S. (2025). Pathways to twin transformation in SMEs: the role of innovation ecosystems. European Journal of Innovation Management, 29(2), 464-485.

Colapinto, C., & Masé, S. (2025). Introducing Twin Transitions in Family Businesses: A Triple-Bottom-Line Perspective. Business Ethics, the Environment & Responsibility, 34(1), 165-178.

de Larmelina, S., da Silva, A. L., & Risso, L. A. (2025). A technology readiness assessment approach for Digital Twin implementation in SMEs. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 140, 2777-2796. https://doi.org/10.1007/s00170-025-16370-5

European Commission. (2020). A New Industrial Strategy for Europe; COM/2020/102 Final. European Commission: Brussels, Belgium.

Grieves, M. (2014). Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. White paper, 1(2014), 1-7.

Hein, N., Münter, M. T., & Zimmermann, V. (2026). Green, digital, or twin strategic orientation: What drives environmental sustainability and digitalization in German innovative SMEs? Journal of Innovation & Knowledge, 12, 100896.

Isensee, C., Teuteberg, F., Griese, K. M., & Topi, C. (2020). The relationship between organizational culture, sustainability, and digitalization in SMEs: A systematic review. Journal of Cleaner Production, 275, 122944.

Kang, B. G., & Kim, B. S. (2024). Attachable IoT-based Digital Twin framework specialized for SME production lines. International Journal of Simulation Modelling, 23(3), 471-482. doi:10.2507/IJSIMM23-3-640

Leipziger, M., Siljeur, J., Antonio, J. L., Kanbach, D. K., & Kraus, S. (2025). Twin transformation: a catalyst for African entrepreneurial innovation. International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research, 31(9), 1845-1868.

Ogrean, C., & Herciu, M. (2021). Romania's SMEs on the way to EU's twin transition to digitalization and sustainability. Studies in Business and Economics, 16(2), 160-173. DOI 10.2478/sbe-2021-0040

Schumacher, T., Schmidt, C. V. H., & Flatten, T. (2025). The Twin Transformation: Examining the Impact of Digital Orientation on the Social and Environmental Impact of SMEs. SSRN Preprint, SSRN-5194562.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. Strategic Management Journal, 28(13), 1319-1350.

Warner, K. S., & Wäger, M. (2019). Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. Long Range Planning, 52(3), 326-349.

SÜRDÜRÜLEBILIRLIK İNDEKSLERINDE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI: BIBLIYOMETRIK BIR ANALIZ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN SUSTAINABILITY INDICES: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Dr. Öğr. Üyesi Uğur ARCAGÖK
Muş Alparslan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü
ORCID: 0000-0002-4469-9525

Özet
Sürdürülebilirlik indeksleri, ekonomik, çevresel ve sosyal performansın bütüncül biçimde değerlendirilmesine olanak sağlayan önemli karar destek araçlarıdır. Ancak gösterge seçimi, ağırlıklandırma süreçleri ve veri heterojenliği gibi metodolojik zorluklar, sürdürülebilirlik performansının ölçülmesini güçleştirmektedir. Son yıllarda yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri, sürdürülebilirlik indekslerinin geliştirilmesi, modellenmesi ve tahmin edilmesinde önemli fırsatlar sunmuş ve özellikle ESG değerlendirmeleri alanında yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Buna karşın, yapay zeka uygulamalarının sürdürülebilirlik indeksleri literatüründeki gelişimini bütüncül olarak inceleyen bibliyometrik çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, yapay zeka tekniklerinin sürdürülebilirlik indeksleri ve sürdürülebilirlik performans ölçümlerindeki kullanımını bibliyometrik yöntemler aracılığıyla incelemek ve alanın entelektüel yapısını, tematik gelişimini ve araştırma eğilimlerini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, Web of Science veri tabanından elde edilen ve işletme, finans, ekonomi ve sayısal yöntemler alanlarını kapsayan toplam 360 makale analiz edilmiştir. Bibliyometrik analizler, Bibliometrix paketinin Biblioshiny arayüzü kullanılarak gerçekleştirilmiş; yayın eğilimleri, ortak yazarlık yapıları, ortak atıf ağları ve anahtar kelime ilişkileri değerlendirilmiştir. Bulgular, araştırma alanının özellikle 2023 yılı sonrasında hızlı bir büyüme sürecine girdiğini ve yıllık %42,83'lük büyüme oranına ulaştığını göstermektedir. Çin'in bilimsel üretimde lider konumda olduğu, araştırma alanının yüksek düzeyde uluslararası iş birliği ve disiplinler arası etkileşim içerisinde geliştiği belirlenmiştir. Ayrıca literatürün yapay zeka tabanlı ESG analitiği, kurumsal sürdürülebilirlik ve yönetişim, sürdürülebilir finans ve açıklanabilir yapay zeka ile sürdürülebilir kalkınma olmak üzere dört temel araştırma ekseni etrafında şekillendiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak çalışma, yapay zeka uygulamalarının sürdürülebilirlik değerlendirme süreçlerinde giderek daha merkezi bir rol üstlendiğini ortaya koymakta ve gelecekteki araştırmalar için kapsamlı bir yol haritası sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Sürdürülebilirlik İndeksleri, ESG, Makine Öğrenmesi, Bibliyometrik Analiz.

ABSTRACT
Sustainability indices are important decision-support tools that enable a comprehensive assessment of economic, environmental, and social performance. However, methodological challenges such as indicator selection, weighting procedures, and data heterogeneity complicate the measurement of sustainability performance. In recent years, artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) techniques have offered significant opportunities for the development, modeling, and prediction of sustainability indices and have been increasingly adopted, particularly in Environmental, Social, and Governance (ESG) assessments. Nevertheless, bibliometric studies that comprehensively examine the evolution of AI applications in the sustainability indices literature remain limited. The aim of this study is to investigate the use of AI techniques in sustainability indices and sustainability performance measurement through bibliometric methods and to reveal the intellectual structure, thematic development, and research trends of the field. For this purpose, a total of 360 articles retrieved from the Web of Science database and covering the disciplines of business, finance, economics, and quantitative methods were analyzed. Bibliometric analyses were conducted using the Biblioshiny interface of the Bibliometrix package, and publication trends, co-authorship patterns, co-citation networks, and keyword relationships were examined. The findings indicate that the field has entered a period of rapid growth, particularly since 2023, reaching an annual growth rate of 42.83%.

China emerged as the leading contributor to scientific production, and the field was found to be characterized by a high degree of international collaboration and interdisciplinary interaction. Furthermore, the literature was structured around four major research themes: AI-based ESG analytics, corporate sustainability and governance, sustainable finance and explainable AI, and sustainable development. In conclusion, the study demonstrates that AI applications are assuming an increasingly central role in sustainability assessment processes and provides a comprehensive roadmap for future research.
Keywords: Artificial Intelligence, Sustainability Indices, ESG, Machine Learning, Bibliometric Analysis.

Giriş

Sürdürülebilir kalkınma; ekonomik büyüme, çevresel koruma ve sosyal refah arasında dengeli bir gelişimin sağlanmasını amaçlayan çok boyutlu bir paradigma olarak kabul edilmektedir. Günümüzde sürdürülebilirlik kavramı yalnızca çevresel sorunların yönetimiyle sınırlı olmayıp ekonomik verimlilik, sosyal eşitlik, kurumsal yönetişim ve nesiller arası adalet gibi birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunan çok sayıda boyutu kapsamaktadır (Mensah, 2019). Bu çok boyutlu yapı, sürdürülebilirliğin ölçülmesini ve farklı ülkeler, kurumlar veya sektörler arasında karşılaştırılmasını önemli ölçüde güçleştirmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik göstergeleri ve sürdürülebilirlik indeksleri, sürdürülebilir kalkınma süreçlerinin izlenmesi, değerlendirilmesi ve politika yapım süreçlerinin desteklenmesinde temel araçlar haline gelmiştir (Böhringer & Jochem, 2007; Wilson vd., 2007).

Sürdürülebilirlik indeksleri, ekonomik, çevresel ve sosyal alanlara ilişkin çok sayıda göstergenin tek bir bileşik ölçü altında bir araya getirilmesine olanak sağlayarak karmaşık sürdürülebilirlik süreçlerinin daha anlaşılabilir, izlenebilir ve karşılaştırılabilir hale gelmesine katkı sunmaktadır. Bu indeksler; ülkelerin, işletmelerin ve kurumların sürdürülebilirlik performanslarının zaman içerisinde izlenmesine, politika önceliklerinin belirlenmesine ve kaynak tahsis süreçlerinin yönlendirilmesine olanak tanımaktadır (Arcagök & Arıcıgil Çilan, 2022). Wilson, Tyedmers ve Pelot (2007), sürdürülebilirlik göstergelerinin karmaşık çevresel ve sosyoekonomik süreçleri karar vericiler açısından daha yönetilebilir hale getirdiğini ve politika geliştirme süreçlerinde önemli bilgi araçları olarak işlev gördüğünü belirtmektedir. Bu nedenle sürdürülebilirlik indeksleri günümüzde yalnızca akademik araştırmaların değil, aynı zamanda kamu politikalarının, uluslararası kuruluşların ve özel sektör stratejilerinin de ayrılmaz bileşenleri haline gelmiştir.

Özellikle 2000 yılından sonra sürdürülebilirlik performansının ölçülmesine yönelik ilgi belirgin biçimde artmıştır. Bu süreçte çevresel performans, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve kurumsal sürdürülebilirlik uygulamalarını değerlendirmeye yönelik çok sayıda indeks ve derecelendirme sistemi geliştirilmiştir. Özellikle ESG tabanlı değerlendirme sistemleri; yatırım kararları, risk yönetimi ve kurumsal stratejiler açısından merkezi bir konuma ulaşmıştır (Friede vd., 2015). Bununla birlikte, ESG derecelendirme kuruluşları arasında gözlenen önemli farklılıklar, sürdürülebilirlik performansının ölçülmesinin halen ciddi metodolojik zorluklar içerdiğini göstermektedir. Berg, Koelbel ve Rigobon (2022), ESG derecelendirmeleri arasındaki farklılıkların büyük ölçüde kapsam, ölçüm ve ağırlıklandırma yöntemlerinden kaynaklandığını göstermekte ve sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde metodolojik standardizasyonun önemine dikkat çekmektedir.

Öte yandan, sürdürülebilirlik indekslerinin geliştirilmesi ve uygulanması önemli metodolojik güçlükleri de beraberinde getirmektedir. Gösterge seçimi, ağırlıklandırma yöntemleri, veri eksiklikleri, değişkenler arasındaki karmaşık ilişkiler ve farklı sürdürülebilirlik boyutlarının tek bir bileşik skor altında birleştirilmesi gibi kararlar indeks sonuçlarını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Arcagök, 2024; Böhringer & Jochem, 2007). Benzer şekilde, ekolojik ve sürdürülebilirlik göstergelerinin geliştirilmesinde veri kalitesi, gösterge duyarlılığı ve yorumlanabilirlik gibi sorunların önemli araştırma alanları olduğu vurgulanmaktadır (Dale & Beyeler, 2001). Ayrıca alternatif ağırlıklandırma stratejileri ve toplulaştırma yöntemlerinin ülke sıralamaları ile sürdürülebilirlik performans değerlendirmelerini önemli ölçüde değiştirebildiği gösterilmiştir (Gómez-Limón vd., 2020). Bu durum, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde daha esnek, veri odaklı ve yüksek tahmin performansına sahip analitik yaklaşımlara olan ihtiyacı artırmaktadır.

Son yıllarda yapay zeka ve makine öğrenmesi teknikleri, sürdürülebilirlik performansının ölçülmesi, tahmin edilmesi ve değerlendirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle Random Forest, Support Vector Machine, Extreme Learning Machine ve XGBoost gibi yöntemlerin kurumsal ESG skorlarının tahmininde uygulandığı ve başarılı tahmin sonuçları üretebildiği görülmektedir (Lin & Hsu, 2023). Ayrıca makine öğrenmesi modelleri, ESG derecelendirme kuruluşlarının kullandığı kapalı değerlendirme süreçlerinin yeniden oluşturulması ve bu süreçlerde belirleyici olan faktörlerin açıklanması amacıyla da kullanılmaktadır (Del Vitto vd., 2023). Bununla birlikte, yapay zeka ve sürdürülebilirlik ilişkisini inceleyen çalışmaların sayısı hızla artmasına rağmen, yapay zeka tekniklerinin sürdürülebilirlik indeksleri ve sürdürülebilirlik performans ölçümleri üzerindeki kullanımını bibliyometrik yöntemler aracılığıyla bütüncül biçimde inceleyen araştırmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar çoğunlukla belirli algoritmaların performans karşılaştırmalarına veya belirli indeks türlerine odaklanırken; alanın entelektüel yapısı, iş birliği ağları, tematik gelişimi ve gelecekteki araştırma yönelimleri henüz yeterince ortaya konulamamıştır.
Bu doğrultuda mevcut çalışma, yapay zeka tekniklerinin sürdürülebilirlik indeksleri ve sürdürülebilirlik performans ölçütlerinin geliştirilmesi, modellenmesi, tahmini ve analiz edilmesindeki rolünü bibliyometrik yöntemler kullanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda alanın yıllar içerisindeki yayın eğilimleri, en etkili yazarları, ülkeleri, kurumları ve dergileri belirlenmekte; ortak yazarlık yapıları, atıf ağları ve anahtar kelime ilişkileri analiz edilmekte; ayrıca ortaya çıkan tematik kümeler ve gelecekteki araştırma yönelimleri değerlendirilmektedir. Böylece çalışma, yapay zeka ile sürdürülebilirlik değerlendirmesi literatürünün mevcut durumuna ilişkin kapsamlı bir haritalama sunmayı ve gelecekteki araştırmalar için yol gösterici bir çerçeve oluşturmayı hedeflemektedir.

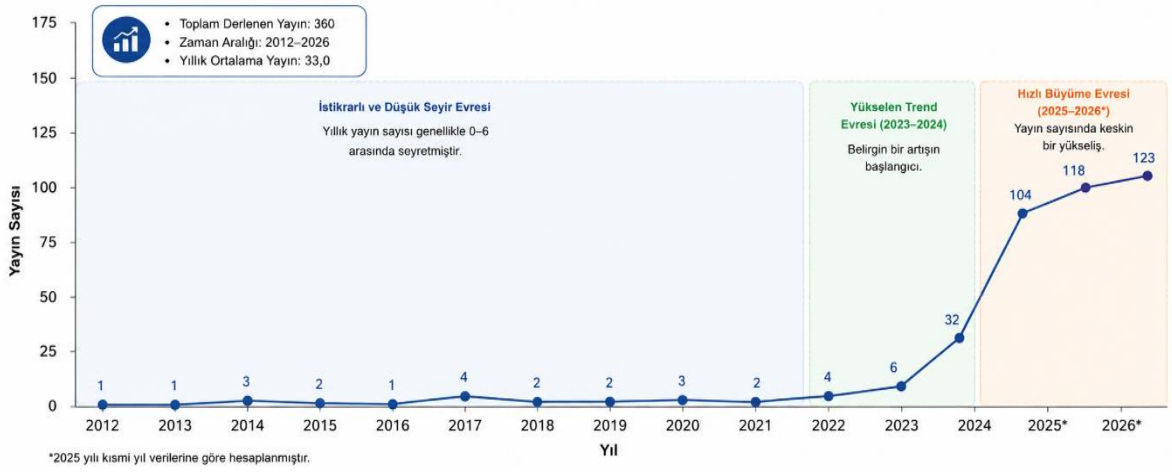
Yöntem

WoS veya Scopus gibi bibliyografik veri tabanlarına dayanan bibliyometrik analiz, belirli bir araştırma alanındaki bilimsel üretimin yapısını, gelişim dinamiklerini ve küresel araştırma eğilimlerini ortaya koymayı amaçlayan sistematik bir araştırma yaklaşımıdır (Alsharif & Baharun, 2020).
Veri madenciliği süreci, Web of Science (WoS) veritabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın araştırma kapsamını, sürdürülebilirlik indeksleri ile yapay zeka uygulamalarının kesişim noktasında yer alan akademik yayınlar oluşturmaktadır. Bu doğrultuda, WoS veritabanında "tüm alanlar" seçeneği kullanılarak sürdürülebilirlik indeksleri ve yapay zeka teknolojilerini temsil eden anahtar kelimeler aracılığıyla kapsamlı bir literatür taraması yürütülmüştür. Ardından, araştırmanın işletme disiplinine odaklanmasını sağlamak amacıyla Web of Science kategorileri arasından Yönetim ve Organizasyon (Management), Finans (Business Finance), Sayısal Yöntemler (Operational Research Management Science), İşletme (Business) ve İşletme Ekonomisi (Economics) alanları seçilmiştir. Yayın başlangıç tarihi açısından herhangi bir zaman kısıtı uygulanmamış ve arama tarihi itibarıyla erişilebilen ilgili tüm çalışmalar veri setine dahil edilmiştir. Bibliyometrik analizlerde veri kalitesinin artırılması amacıyla yinelenen kayıtlar, konu dışı çalışmalar ve analiz kapsamıyla doğrudan ilişkili olmayan yayınlar veri setinden çıkarılmıştır. Gerçekleştirilen arama sonucunda toplam 360 yayına ulaşılmıştır. Nihai veri seti, yapay zeka tekniklerinin sürdürülebilirlik indekslerinin geliştirilmesi, modellenmesi, tahmin edilmesi ve değerlendirilmesindeki kullanımına odaklanan çalışmalardan oluşmaktadır.
Elde edilen bibliyografik veriler daha sonra analiz edilmek üzere dışa aktarılmıştır. Analiz sürecinde yayın sayısı, toplam atıf sayısı, h-indeksi, yıllık yayın eğilimleri, ülke ve kurum katkıları, ortak yazarlık yapıları, atıf ağları ve anahtar kelime ilişkileri gibi bibliyometrik göstergeler kullanılmıştır. Ayrıca alanın entelektüel yapısını ve tematik gelişimini ortaya koymak amacıyla ortak atıf, birlikte kelime kullanımı ve iş birliği ağı analizleri gerçekleştirilmiştir. Böylece yapay zeka uygulamalarının sürdürülebilirlik indeksleri literatüründeki gelişim süreci, araştırma eğilimleri ve gelecekteki çalışma alanları kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir.
Araştırma kapsamında elde edilen veri seti, bibliyometrik analiz yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Analiz sürecinde, Aria ve Cuccurullo (2017) tarafından geliştirilen Bibliometrix paketinin görsel kullanıcı arayüzü olan Biblioshiny, RStudio yazılım ortamında kullanılmıştır.

Analiz

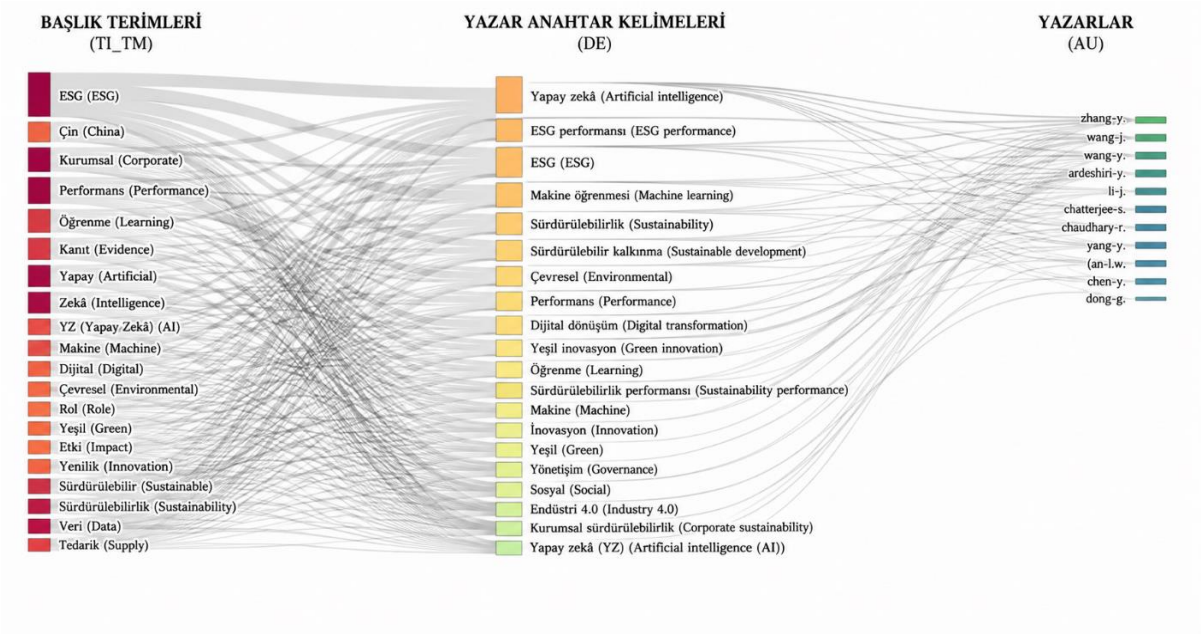
Bibliyometrik analiz sonuçları, yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri alanının son yıllarda hızlı bir gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. 2012–2026 döneminde yayımlanan 360 çalışmanın yıllık büyüme oranının %42,83 olması, araştırma alanının yükselen bir bilimsel ilgiye sahip olduğunu göstermektedir. Literatürün 159 farklı kaynakta yayımlanmış olması disiplinler arası yapıyı desteklerken, makale başına ortalama 3,52 ortak yazar ve %37,22 uluslararası iş birliği oranı alanın güçlü bir küresel araştırma ağı tarafından şekillendirildiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte, dokümanların ortalama yaşının yalnızca 1,07 yıl olması ve ortalama atıf sayısının 13'e ulaşması, alanın hem güncel hem de akademik etkisi yüksek bir araştırma gündemine sahip olduğunu göstermektedir.

Şekil 1'de yıllık bilimsel üretim grafiği, araştırma alanının gelişim sürecinde belirgin bir hızlanma eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. 2012–2022 döneminde sınırlı sayıda çalışmanın yayımlandığı görülürken, 2023 yılından itibaren yayın üretiminde keskin bir artış meydana gelmiştir. Özellikle 2024 sonrasında gözlenen hızlı yükseliş, yapay zeka uygulamalarının sürdürülebilirlik indeksleri, ESG değerlendirmeleri ve çevresel performans ölçümlerinde giderek daha fazla kullanılmaya başlanmasının bir yansıması olarak değerlendirilebilir. 2025 ve 2026 yıllarında ulaşılan yayın sayıları, araştırma alanının olgunlaşma aşamasından ziyade halen hızlı büyüme evresinde bulunduğunu göstermektedir.



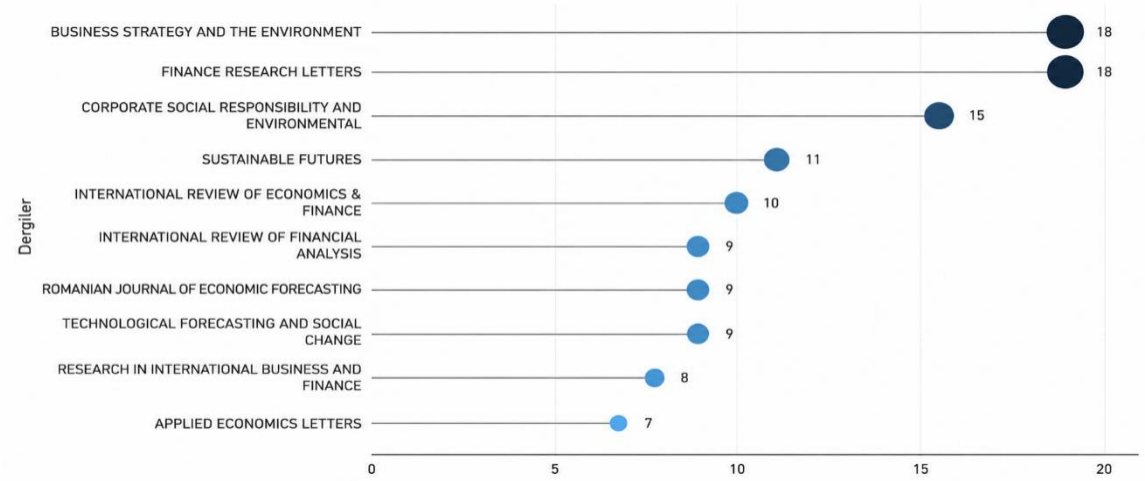
Şekil 1: Yapay Zeka ve Sürdürülebilirlik İndeksleri Literatüründe Yıllık Bilimsel Üretim Eğilimi (2012–2026)

Şekil 2'de sunulan üç alan grafiği, yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri literatüründeki başlık terimleri, yazar anahtar kelimeleri ve araştırmacılar arasındaki ilişkileri göstermektedir. Analiz sonuçları, literatürün ağırlıklı olarak yapay zeka, ESG performansı, ESG ve makine öğrenmesi kavramları etrafında şekillendiğini ortaya koymaktadır. Başlık terimlerinde kurumsal performans ve sürdürülebilirlik vurgusunun ön plana çıkması, araştırmaların işletmelerin sürdürülebilirlik performanslarının yapay zeka tabanlı yöntemlerle değerlendirilmesine odaklandığını göstermektedir. Ayrıca dijital dönüşüm, yeşil inovasyon ve kurumsal sürdürülebilirlik gibi kavramların varlığı, araştırma alanının teknolojik dönüşüm ve sürdürülebilir rekabet avantajı perspektifleriyle de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil 2: Yapay Zeka ve Sürdürülebilirlik İndeksleri Literatüründe Başlık Terimleri, Yazar Anahtar Kelimeleri ve Yazarlar Arasındaki İlişkiler

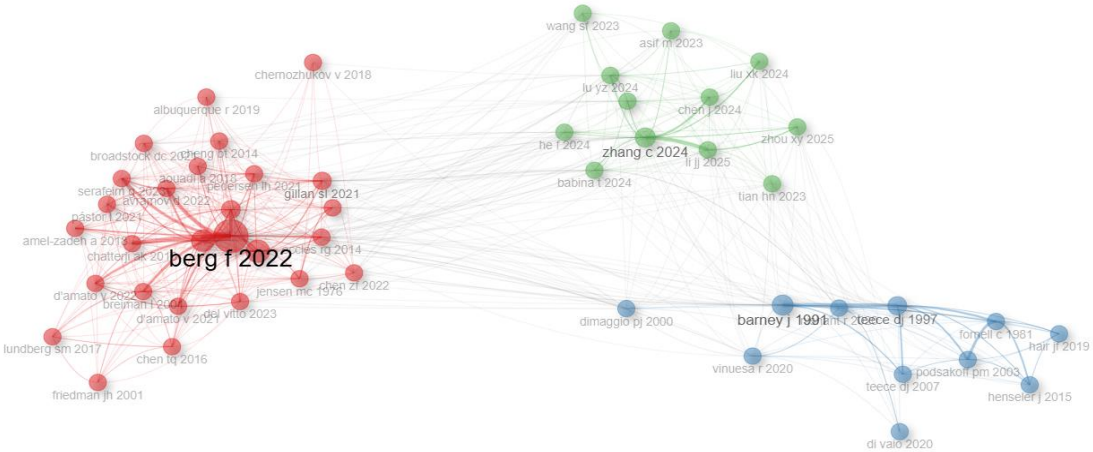
Şekil 3'te yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri literatüründe en fazla yayın üreten dergiler sunulmaktadır. Bulgular, bilimsel üretimin özellikle Business Strategy and the Environment, Finance Research Letters ve Corporate Social Responsibility and Environmental Management dergileri etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Sürdürülebilirlik, kurumsal sosyal sorumluluk ve finans odaklı dergilerin ön plana çıkması, araştırma alanının ESG performansı, sürdürülebilirlik yönetimi ve yapay zeka destekli finansal analizler ekseninde geliştiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca teknoloji ve inovasyon odaklı dergilerin varlığı, alanın disiplinler arası niteliğini ve giderek genişleyen uygulama alanlarını yansıtmaktadır.



Şekil 3: Zaman İçinde Öne Çıkan Dergiler

Şekil 4, yazarların ülke bağlantılarının toplam frekansını göstermektedir. Bilimsel üretimin büyük ölçüde Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yoğunlaştığı görülmektedir. Çin, 558 ülke-yazar katkısıyla açık ara ilk sırada yer almaktadır. Bu bulgu, Çin'in yapay zekâ ve sürdürülebilirlik alanındaki güçlü akademik üretimini ve uluslararası araştırma ağlarındaki merkezi konumunu yansıtmaktadır. İtalya 90, ABD 86 ve Türkiye 61 ülke-yazar katkısıyla öne çıkan diğer ülkelerdir. Bu değerlerin tekil yayın sayılarını değil, yayınlardaki yazarların ülke bağlantılarının toplam frekanslarını temsil ettiği dikkate alınmalıdır.

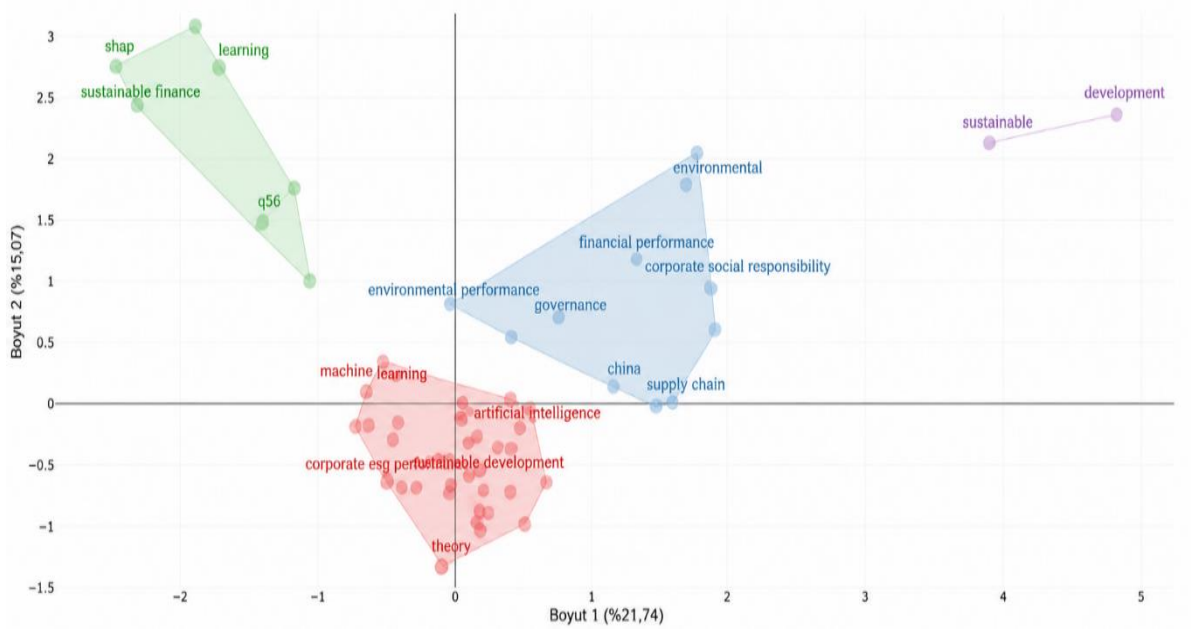
Şekil 4: Yapay Zeka ve Sürdürülebilirlik İndeksleri Literatürünün Küresel Coğrafi Dağılımı



Şekil 5: Yapay Zeka ve Sürdürülebilirlik İndeksleri Literatürünün Ortak Atıf Ağı Yapısı

Şekil 5'te sunulan ortak atıf ağı analizi, yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri literatürünün üç temel entelektüel yapı etrafında şekillendiğini göstermektedir. Ağ yapısında düğüm büyüklükleri çalışmaların ortak atıf sıklığını, bağlantılar ise çalışmalar arasındaki entelektüel yakınlığı ifade etmektedir. İlk ve en yoğun küme, merkezinde Berg vd. (2022) çalışmasının bulunduğu ESG derecelendirmeleri ve sürdürülebilirlik performans ölçümlerine ilişkin metodolojik araştırmalardan oluşmaktadır. Bu durum, ESG puanlarının güvenilirliği, karşılaştırılabilirliği ve ölçüm yöntemlerinin literatürde temel tartışma alanlarından biri olduğunu göstermektedir. İkinci küme, büyük ölçüde 2023 sonrasında yayımlanan çalışmaları içermekte olup yapay zeka, makine öğrenmesi ve açıklanabilir yapay zeka yöntemlerinin sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde kullanımına odaklanmaktadır. Özellikle Zhang vd. (2024) etrafında yoğunlaşan bu yapı, alanın güncel araştırma yönelimlerini ve hızlı metodolojik dönüşümünü yansıtmaktadır. Üçüncü küme ise Barney (1991) ve Teece (2014) gibi stratejik yönetim literatürünün öncü çalışmalarını içermekte ve yapay zekanın işletmelere sürdürülebilir rekabet avantajı sağlayan stratejik bir kaynak olarak ele alındığını göstermektedir. Genel olarak ortak atıf ağı, araştırma alanının ESG değerlendirmeleri, yapay zeka uygulamaları ve stratejik yönetim teorileri arasında güçlü bir disiplinler arası etkileşim üzerine inşa edildiğini ortaya koymaktadır.

Faktöriyel analiz sonuçları (Şekil 6), yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri literatürünün dört temel araştırma ekseni etrafında şekillendiğini göstermektedir. Daha yüksek küme sayılarında tematik parçalanma artarken, daha düşük küme sayılarında kavramsal olarak farklı araştırma alanlarının aynı kümede birleştiği gözlenmiştir. Bu nedenle literatürün yorumlanmasında dört kümelik çözüm tercih edilmiştir. Faktöriyel analiz sonuçları, yapay zeka ve sürdürülebilirlik indeksleri literatürünün dört temel araştırma ekseni etrafında şekillendiğini göstermektedir. İlk küme, yapay zeka ve makine öğrenmesi tekniklerinin ESG performansının ölçülmesi, tahmin edilmesi ve değerlendirilmesinde kullanımına odaklanan çalışmaları kapsamaktadır. Bu küme, özellikle yapay zeka destekli ESG analitiği ve sürdürülebilirlik performansının nicel olarak modellenmesine yönelik araştırmaların literatürde merkezi bir konuma sahip olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci küme ise kurumsal sosyal sorumluluk, yönetişim mekanizmaları, çevresel performans ve sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi arasındaki ilişkileri inceleyen çalışmalardan oluşmaktadır. Bu bulgu, sürdürülebilirlik uygulamalarının giderek daha fazla kurumsal yönetişim ve işletme performansı perspektifiyle ele alındığını göstermektedir. Üçüncü küme, sürdürülebilir finans uygulamaları ile açıklanabilir yapay zeka yöntemlerinin finansal karar alma süreçlerine entegrasyonunu konu alan araştırmaları içermektedir. Özellikle SHAP gibi açıklanabilir yapay zeka yaklaşımlarının sürdürülebilir finans alanında artan kullanımının, yapay zeka modellerinin şeffaflığı ve yorumlanabilirliğine yönelik akademik ilginin güçlendiğine işaret ettiği söylenebilir. Son olarak dördüncü küme, sürdürülebilir kalkınma hedefleri ve çevresel dönüşüm süreçlerine odaklanan daha makro düzeydeki çalışmaları temsil etmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, elde edilen tematik yapı literatürün yalnızca teknolojik gelişmelere değil, aynı zamanda kurumsal sürdürülebilirlik, finansal sistemler ve sürdürülebilir kalkınma politikaları gibi çok boyutlu araştırma alanlarına doğru genişlediğini ortaya koymaktadır.



Şekil 6: Yapay Zeka ve Sürdürülebilirlik İndeksleri Araştırmalarının Tematik Kümelenme Yapısı

Sonuç

Bu çalışma, yapay zeka uygulamalarının sürdürülebilirlik indeksleri ve sürdürülebilirlik performans ölçümlerindeki kullanımını bibliyometrik yöntemler aracılığıyla kapsamlı biçimde incelemeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, araştırma alanının özellikle son yıllarda dikkat çekici bir büyüme gösterdiğini ve yapay zeka ile sürdürülebilirlik arasındaki etkileşimin giderek daha güçlü bir araştırma gündemi oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle 2023 yılından itibaren gözlenen yayın artışı, yapay zeka tabanlı yöntemlerin ESG değerlendirmeleri, sürdürülebilirlik performans ölçümleri ve çevresel karar destek sistemleri gibi alanlarda yaygın biçimde kullanılmaya başlandığını göstermektedir. Bibliyometrik göstergeler, araştırma alanının yüksek düzeyde uluslararası iş birliği ve disiplinler arası etkileşim içerisinde geliştiğini ortaya koymaktadır.

Çin'in açık ara lider konumda bulunması, yapay zeka ve sürdürülebilirlik alanındaki stratejik yatırımların akademik üretime güçlü biçimde yansıdığını göstermektedir. Bununla birlikte Avrupa ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve Türkiye gibi gelişmekte olan ekonomilerin de literatüre önemli katkılar sunduğu görülmektedir. Faktöriyel analiz sonuçları ise literatürün dört temel araştırma ekseni etrafında şekillendiğini göstermektedir. Bu eksenler sırasıyla yapay zeka tabanlı ESG analitiği ve performans tahmini, kurumsal sürdürülebilirlik ve yönetişim uygulamaları, sürdürülebilir finans ve açıklanabilir yapay zeka yöntemleri ile sürdürülebilir kalkınma ve çevresel dönüşüm süreçlerinden oluşmaktadır. Bu durum, araştırma alanının yalnızca teknolojik yeniliklere değil, aynı zamanda kurumsal yönetim, finansal sistemler ve sürdürülebilir kalkınma politikalarına da giderek daha fazla entegre olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, yapay zekanın sürdürülebilirlik indekslerinin geliştirilmesi, tahmin edilmesi ve yorumlanmasında önemli fırsatlar sunduğu görülmektedir. Gelecekteki araştırmaların özellikle açıklanabilir yapay zeka, gerçek zamanlı sürdürülebilirlik izleme sistemleri ve standartlaştırılmış ESG değerlendirme modelleri üzerine yoğunlaşmasının, alanın teorik ve uygulamalı gelişimine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Alsharif, A. H., & Baharun, R. (2020). RESEARCH TRENDS OF NEUROMARKETING: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 98(15), 2948-2962.*

Arcagök, U. (2024). Review of the Environmental Performance Index (EPI): Methods, Constraints and Recommendations. *Istanbul Management Journal*, *0*(96), 59–73. https://doi.org/10.26650/imj.2024.96.1403313

Arcagök, U., & Arıcıgil Çilan, Ç. (2022). A New Institutional Sustainability Index Regarding Local Governments: The Case of Istanbul. *Siyasal: Journal of Political Sciences*, *31*(2), 281–303. https://doi.org/10.26650/siyasal.2022.31.1100849

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, *11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, *17*(1), 99–120. https://doi.org/10.1177/014920639101700108

Berg, F., Kölbel, J. F., & Rigobon, R. (2022). Aggregate Confusion: The Divergence of ESG Ratings. *Review of Finance*, *26*(6), 1315–1344. https://doi.org/10.1093/rof/rfac033

Böhringer, C., & Jochem, P. E. P. (2007). Measuring the immeasurable — A survey of sustainability indices. *Ecological Economics*, *63*(1), 1–8. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008

Dale, V. H., & Beyeler, S. C. (2001). Challenges in the development and use of ecological indicators. *Ecological Indicators*, *1*(1), 3–10. https://doi.org/10.1016/S1470-160X(01)00003-6

Del Vitto, A., Marazzina, D., & Stocco, D. (2023). ESG ratings explainability through machine learning techniques. *Annals of Operations Research*. https://doi.org/10.1007/s10479-023-05514-z

Friede, G., Busch, T., & Bassen, A. (2015). ESG and financial performance: aggregated evidence from more than 2000 empirical studies. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, *5*(4), 210–233. https://doi.org/10.1080/20430795.2015.1118917

Gómez-Limón, J., Arriaza, M., & Guerrero-Baena, M. (2020). Building a Composite Indicator to Measure Environmental Sustainability Using Alternative Weighting Methods. *Sustainability*, *12*(11), 4398. https://doi.org/10.3390/su12114398

Lin, H.-Y., & Hsu, B.-W. (2023). Empirical Study of ESG Score Prediction through Machine Learning—A Case of Non-Financial Companies in Taiwan. *Sustainability*, *15*(19), 14106. https://doi.org/10.3390/su151914106

Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, *5*(1). https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531

Teece, D. J. (2014). The Foundations of Enterprise Performance: Dynamic and Ordinary Capabilities in an (Economic) Theory of Firms. *Academy of Management Perspectives*, *28*(4), 328–352. https://doi.org/10.5465/amp.2013.0116

Wilson, J., Tyedmers, P., & Pelot, R. (2007). Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. *Ecological Indicators*, *7*(2), 299–314. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.009

Zhang, F., Lai, X., & Guo, C. (2024). ESG disclosure and investment-financing maturity mismatch: Evidence from China. *Research in International Business and Finance*, *70*, 102312. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102312

SINIRDA KARBON DÜZENLEME MEKANİZMASI İLE KURUMSAL MARKA İTİBARI ARASINDAKİ İLİŞKİ: GÜNCEL LİTERATÜR TEMELLİ BİR İNCELEME

THE EFFECTS OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM ON CORPORATE BRAND REPUTATION: A REVIEW BASED ON CURRENT LITERATURE[1]

Lect. İlyas Temel ŞAFAK
Düzce University, Kaynaşlı Vocational School, Management and Organisation Department, Düzce, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-0219-8298,

Asst. Prof. Serhat ATA
Düzce University, Business Administration Faculty, International Trade and Finance Department, Düzce, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-5423-5118,

ABSTRACT

Developed by the European Union within the scope of climate change mitigation policies, the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) establishes a new regulatory framework regarding international trade, production processes, and corporate strategies. The objective of the study is to examine the relationship between the measurement, reporting, and verification obligations introduced by CBAM and corporate brand reputation within the framework of current literature. The research was conducted using the structured narrative literature review method; the obtained findings were evaluated within the framework of Signaling Theory and Legitimacy Theory. Within the scope of the review, 32 sources consisting of fundamental conceptual texts, academic studies published in the 2019-2026 period, official regulations, and corporate reports were analyzed thematically.

Findings indicate that the transparent and verifiable carbon data required under CBAM is significant not only in terms of cost and regulatory compliance but also as an information source regarding the environmental reliability of enterprises. Consistency between sustainability disclosures and actual environmental performance is associated with stakeholder trust and corporate legitimacy. Inconsistencies between green brand discourse and verified emission data create an evaluation area in terms of greenwashing perception and corporate reputation risk.

The study reveals that CBAM cannot be considered merely as a border regulation yielding economic consequences; the mechanism also holds significance in terms of environmental data management, corporate communication, and stakeholder evaluations. For exporting enterprises operating in carbon-intensive sectors in Türkiye, generating emission data reliably, basing environmental disclosures on verifiable performance, and supporting sustainability discourses with actual decarbonization investments are crucial for maintaining competitiveness and corporate brand reputation.

Keywords: Carbon Border Adjustment Mechanism, corporate brand reputation, sustainability communication, environmental transparency, greenwashing

ÖZET[2]

İklim değişikliğiyle mücadele politikaları kapsamında Avrupa Birliği tarafından geliştirilen Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), uluslararası ticaret, üretim süreçleri ve işletme stratejileri bakımından yeni bir düzenleyici çerçeve oluşturmaktadır. Çalışmanın amacı, SKDM'nin getirdiği ölçüm, raporlama ve doğrulama yükümlülükleri ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkiyi güncel literatür çerçevesinde incelemektir. Araştırma, yapılandırılmış anlatısal literatür incelemesi yöntemiyle yürütülmüş; elde edilen bulgular Sinyal Teorisi ve Meşruiyet Teorisi çerçevesinde değerlendirilmiştir.

[1] This study is derived from İlyas Temel ŞAFAK's ongoing Master's thesis entitled 'The Effects of Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on Brand Reputation of Businesses: A Qualitative Research', conducted within the Graduate Education Institute of Düzce University.

[2] Bu çalışma, İlyas Temel ŞAFAK'ın Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yürütmekte olduğu ' Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasının (SKDM) İşletmelerin Marka İtibarı Üzerindeki Etkileri: Nitel Bir Araştırma' başlıklı, devam eden Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

İnceleme kapsamında temel kavramsal metinler ile 2019-2026 döneminde yayımlanan akademik çalışmalar, resmî düzenlemeler ve kurumsal raporlardan oluşan 32 kaynak tematik olarak analiz edilmiştir.
Bulgular, SKDM kapsamında talep edilen şeffaf ve doğrulanabilir karbon verilerinin yalnızca maliyet ve düzenleyici uyum bakımından değil, işletmelerin çevresel güvenilirliğine ilişkin bir bilgi kaynağı olarak da önem taşıdığını göstermektedir. Sürdürülebilirlik açıklamaları ile fiilî çevresel performans arasındaki tutarlılık, paydaş güveni ve kurumsal meşruiyetle ilişkilendirilmektedir. Çevreci marka söylemi ile doğrulanmış emisyon verileri arasındaki uyumsuzluklar ise yeşil aklama (greenwashing) algısı ve kurumsal itibar riski bakımından değerlendirme alanı oluşturmaktadır.
Çalışma, SKDM'nin yalnızca ekonomik sonuçlar doğuran bir sınır düzenlemesi olarak ele alınamayacağını; çevresel veri yönetimi, kurumsal iletişim ve paydaş değerlendirmeleri bakımından da önem taşıdığını ortaya koymaktadır. Türkiye'de karbon yoğun sektörlerde faaliyet gösteren ihracatçı işletmeler açısından emisyon verilerinin güvenilir biçimde üretilmesi, çevresel açıklamaların doğrulanabilir performansa dayandırılması ve sürdürülebilirlik söylemlerinin gerçek karbonsuzlaşma yatırımlarıyla desteklenmesi, rekabet gücü ile kurumsal marka itibarının korunması bakımından önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması, kurumsal marka itibarı, sürdürülebilirlik iletişimi, çevresel şeffaflık, greenwashing

GİRİŞ

İklim değişikliğiyle mücadele, çevre politikalarının sınırlarını aşarak uluslararası ticaret, rekabet politikaları ve işletme stratejileriyle kesişen çok katmanlı bir dönüşüm alanı oluşturmaktadır. Avrupa Birliği (AB), Avrupa Yeşil Mutabakatı doğrultusunda 2050 yılına kadar iklim nötr bir ekonomik yapıya ulaşma hedefini benimsemiş; karbon kaçağının sınırlandırılması ve AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) kapsamındaki karbon maliyetinin ithal ürünlere yansıtılması amacıyla Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasını (SKDM) geliştirmiştir (European Commission, 2019; European Parliament & Council of the European Union [EP & CEU], 2023). 2023/956 sayılı Tüzük ile kurulan düzenleyici çerçeve, 2025/2083 sayılı Tüzük ile sadeleştirilmiş ve güçlendirilmiştir. 1 Ekim 2023–31 Aralık 2025 tarihleri arasındaki geçiş döneminin ardından mali yükümlülük dönemi 1 Ocak 2026 tarihinde başlamıştır. Düzenleme, demir-çelik, alüminyum, çimento, gübre, elektrik ve hidrojen sektörlerindeki belirli ürün gruplarını kapsamaktadır (EP & CEU, 2025; T.C. Ticaret Bakanlığı, 2026a).
SKDM, AB dışından ithal edilen ürünlerin üretim sürecinde ortaya çıkan gömülü emisyonları ölçüm, raporlama, doğrulama ve karbon fiyatlandırmasıyla ilişkilendirmektedir. Düzenleyici yapı, karbon yoğunluğunu yalnızca çevresel performans göstergesi olarak değil, pazar erişimi ve ticari yükümlülüklerle bağlantılı kurumsal veri niteliğinde ele almaktadır. İşletme düzeyindeki karbon hesaplamalarında yöntem ve kapsam farklılıklarının sürmesi, açıklanan çevresel verilerin karşılaştırılabilirliği ve güvenilirliği açısından literatürde tartışılmaktadır (Klaaßen & Stoll, 2021). SKDM kapsamındaki doğrulanmış emisyon verisi gerekliliği ise çevresel beyanlar ile üretim süreçleri arasındaki ilişkinin düzenleyici denetime konu edildiği yeni bir raporlama zemini oluşturmaktadır.
Türkiye'nin AB ile yoğun dış ticaret ilişkisi, SKDM'nin Türkiye'deki ihracatçı işletmeler bakımından taşıdığı önemi artırmaktadır. Ticaret Bakanlığının geçiş dönemi verilerine göre Türkiye, 2023–2025 döneminde kütle bakımından AB'ye en fazla SKDM ürünü ihraç eden ikinci ülke konumunda yer almış; toplam ihracat 18,34 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Aynı ürünlerin gömülü emisyonu yaklaşık 42 milyon ton CO_2 eşdeğeri düzeyindedir (T.C. Ticaret Bakanlığı, 2026b). Türkiye odaklı araştırmalar, düzenlemenin ihracat maliyetleri, üretim yapısı, sektörel rekabet gücü ve karbonsuzlaşma politikalarıyla ilişkisini farklı modeller üzerinden incelemektedir (Acar vd., 2022; Eken & Yazıcı, 2024). Bayat vd. (2025), ithalat talep esnekliği üzerinden sektörlerin ihracat kırılganlıklarını değerlendirirken Seyfert ve Ozcan (2025), Türkiye–Almanya ticaretinde özellikle demir-çelik ve alüminyum sektörlerine yönelen maliyet ve rekabet baskılarını ele almaktadır. Literatürde SKDM'nin ekonomik, ticari ve sektörel sonuçlarına odaklanan çalışmaların öne çıktığı görülmektedir.
Çevresel düzenlemelerin işletmeler üzerindeki yansımaları, maliyet ve dış ticaret göstergeleriyle sınırlı değildir. Çevresel performansın niteliği, sürdürülebilirlik açıklamalarının güvenilirliği ve kurumsal söylem ile fiilî uygulamalar arasındaki uyum, paydaş değerlendirmeleri ve kurumsal itibar açısından

önem taşımaktadır. Kurumsal itibar, farklı paydaş gruplarının işletmeye ilişkin zaman içinde geliştirdiği kolektif değerlendirmelerle bağlantılı maddi olmayan bir kurumsal değer olarak ele alınmaktadır (Fombrun, 1996). Walker (2010), kurumsal itibarı paydaşların işletmenin geçmiş performansı, mevcut davranışları ve gelecekteki beklentilerine ilişkin değerlendirmelerinin bütünleşik bir sonucu olarak açıklamakta ve kavramın çok boyutlu yapısına dikkat çekmektedir. Kurumsal marka ile kurumsal itibar birbiriyle ilişkili olmakla birlikte özdeş kavramlar değildir. Kurumsal marka yönetimi ile kurumsal itibarın oluşumu arasında kurumsal kimlik, iletişim ve paydaş değerlendirmeleri üzerinden bağlantı kurulmaktadır (Abratt & Kleyn, 2012). Hatch ve Schultz (2003), kurumsal markanın stratejik vizyon, örgüt kültürü ve paydaşlarda oluşan kurumsal imaj arasındaki etkileşim üzerinden şekillendiğini belirtmektedir. Pajuelo-Moreno vd. (2024), sürdürülebilirlik açıklamaları ile kurumsal itibar arasındaki ilişkiyi inceleyen meta-analizlerinde pozitif yönlü bir ilişki raporlamış; açıklama kalitesi ile paydaş değerlendirmeleri arasındaki bağın literatürdeki önemini ortaya koymuştur. Çevresel açıklamalar, bilgi asimetrisinin azaltılması bakımından Sinyal Teorisi (Bernini & La Rosa, 2024); işletmenin toplumsal normlar ve paydaş beklentileriyle ilişkisi bakımından ise Meşruiyet Teorisi (Cormier & Magnan, 2015) çerçevesinde değerlendirilmektedir. Çalışmada kurumsal marka itibarı, işletmenin marka kimliği, sürdürülebilirlik performansı ve paydaş algılarının bütünleşik sonucu olarak ele alınmaktadır.

SKDM'nin işletmeler üzerindeki etkileri, maliyetler ve ticari yükümlülüklerin yanı sıra karbon verilerinin ölçümü, raporlanması, doğrulanması, güvenilirliği ve karşılaştırılabilirliğiyle ilişkilendirilmektedir. Karbon verilerinin standartlaştırılması ve doğrulanması, çevresel performans açıklamalarının güvenilirliğine ilişkin değerlendirmelerde dikkate alınan unsurlar arasında yer almaktadır (Klaaßen & Stoll, 2021). Çevresel performansa ilişkin doğrulanabilir bilgiler, işletmelerin sürdürülebilirlik söylemleri ile uygulamaları arasındaki uyumun paydaşlar tarafından değerlendirilmesinde veri temeli oluşturmakta ve bilgi asimetrisinin azaltılması bağlamında ele alınmaktadır (Bernini & La Rosa, 2024). Paydaşlar tarafından güvenilir bulunan çevresel açıklamalar ise kurumsal meşruiyet ve kurumsal itibarla ilişkilendirilmektedir (Cormier & Magnan, 2015; Pajuelo-Moreno vd., 2024). Öte yandan çevresel performans ile kurumsal iletişim arasındaki uyumsuzluklar, literatürde yeşil aklama (greenwashing) algısı ve kurumsal itibara yönelik olumsuz değerlendirmelerle ilişkilendirilmektedir (Delmas & Burbano, 2011; Bernini & La Rosa, 2024; Fu vd., 2025). SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin şeffaflık, doğrulanabilirlik ve söylem-performans uyumu çerçevesinde incelenmesi, ilgili literatürdeki tartışmalarla uyumlu bir değerlendirme alanı sunmaktadır. İncelenen literatürün ağırlığı SKDM'nin dış ticaret, maliyetler, rekabet gücü ve karbon azaltım politikalarıyla ilişkisi üzerinde toplanmaktadır. Çevresel şeffaflık, paydaş güveni ve kurumsal marka itibarı eksenindeki değerlendirmeler ise incelenen çalışmalar içerisinde sınırlı bir görünüm sergilemektedir. SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin literatür temelli olarak incelenmesi, mevcut tartışmaları farklı kavramsal boyutlar üzerinden bir araya getirmektedir.

Çalışmanın amacı, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkiyi temel ve güncel literatür çerçevesinde incelemektir. İnceleme; SKDM'nin düzenleyici yapısı, sürdürülebilirlik açıklamaları, çevresel şeffaflık, Sinyal Teorisi, Meşruiyet Teorisi, paydaş güveni ve greenwashing eksenlerinde yürütülmektedir. Temel araştırma sorusu, "SKDM'nin ölçüm, raporlama ve doğrulama yükümlülükleri ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişki hangi kavramsal boyutlar üzerinden açıklanmaktadır?" şeklinde belirlenmiştir. Çalışma, temel ve güncel akademik yayınlar ile AB ve Türkiye'deki resmî düzenleme ve raporlara dayanan literatür temelli bir inceleme niteliğindedir. Türkiye'nin SKDM kapsamındaki ihracat yoğunluğu, değerlendirmeye ülke ve sektör bağlamı kazandırmaktadır.

YÖNTEM

Araştırma, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkiyi farklı literatür alanları üzerinden değerlendiren yapılandırılmış anlatısal literatür incelemesi olarak tasarlanmıştır. Yapılandırılmış anlatısal inceleme, belirli bir araştırma sorusu doğrultusunda farklı yöntem ve disiplinlerden gelen çalışmaların karşılaştırılmasına, sınıflandırılmasına ve kavramsal olarak bütünleştirilmesine dayanmaktadır (Snyder, 2019). Araştırma, sistematik derleme veya meta-analiz niteliği taşımamakla birlikte kaynak arama, seçme ve değerlendirme süreçlerinde şeffaflık ve izlenebilirlik ilkelerini esas almaktadır (Tranfield vd., 2003).

Literatür taraması, Web of Science, Scopus ve TR Dizin veri tabanları ile Google Scholar akademik arama motoru ve DergiPark platformunda Türkçe ve İngilizce anahtar kelimeler kullanılarak yürütülmüştür. Avrupa Birliği mevzuatı ve SKDM'nin güncel uygulama yapısına ilişkin bilgiler EUR-Lex, Avrupa Komisyonu ve T.C. Ticaret Bakanlığı kaynaklarından; uluslararası ticaret ve tedarik zinciri değerlendirmeleri ise OECD tarafından yayımlanan raporlardan elde edilmiştir. Tarama sürecinde "Carbon Border Adjustment Mechanism", "CBAM", "Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması", "SKDM", "corporate reputation", "corporate brand reputation", "sustainability disclosure", "environmental disclosure", "greenwashing", "stakeholder trust", "signaling theory" ve "legitimacy theory" ifadeleri tek başına ve farklı birleşimler hâlinde kullanılmıştır. Türkiye odaklı araştırmalara erişmek amacıyla arama dizilerine "Türkiye", "Turkey", "Turkish firms", "export" ve "carbon-intensive sectors" ifadeleri eklenmiştir. Literatür taramasının son güncellemesi 30 Temmuz 2026 tarihinde gerçekleştirilmiştir.

SKDM'ye ilişkin güncel çalışmalar için 2019–2026 dönemi temel zaman aralığı olarak belirlenmiştir. Kurumsal itibar, kurumsal marka, çevresel açıklama, Sinyal Teorisi, Meşruiyet Teorisi ve greenwashing alanlarının kuramsal temellerini oluşturan 2019 öncesi çalışmalar ile yöntem kaynakları tarih sınırından istisna edilmiştir. Fombrun (1996), Hatch ve Schultz (2003), Walker (2010), Delmas ve Burbano (2011), Abratt ve Kleyn (2012), Cormier ve Magnan (2015) ile Lyon ve Montgomery (2015), araştırmanın kavramsal çerçevesine doğrudan katkıları nedeniyle incelemeye dâhil edilmiştir. Kaynakların seçiminde dört temel ölçüt kullanılmıştır. İlk olarak hakemli akademik makaleler, sistematik literatür incelemeleri, meta-analizler, resmî düzenlemeler ve kurumsal raporlar değerlendirmeye alınmıştır. İkinci olarak çalışmaların SKDM, karbon açıklamaları, çevresel şeffaflık, kurumsal itibar, kurumsal marka, paydaş güveni veya greenwashing konularından en az biriyle doğrudan ilişkili olması aranmıştır. Üçüncü olarak bibliyografik bilgileri doğrulanabilen ve tam metnine erişilebilen yayınlar**a** öncelik verilmiştir. Son olarak Türkiye'nin AB ile ticari ilişkilerini ve karbon yoğun sektörlerdeki konumunu ele alan araştırmalar ülke bağlamının oluşturulması amacıyla ayrıca incelenmiştir. Yinelenen kayıtlar, yalnızca genel iklim politikalarını ele alan yayınlar, araştırma sorusuyla doğrudan ilişkisi bulunmayan çalışmalar, bilimsel dayanağı sınırlı görüş yazıları ve bibliyografik bilgileri doğrulanamayan kaynaklar inceleme dışında bırakılmıştır.

Seçilen kaynaklar yayın yılı, araştırma amacı, yöntem, ülke veya sektör kapsamı, temel bulgular ve çalışmanın araştırma sorusuyla ilişkisi bakımından değerlendirilmiştir. Literatürün analizinde nitel tematik sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Kaynaklar dört tematik başlık altında sınıflandırılmıştır: SKDM literatürünün gelişimi ve temel yönelimleri, Türkiye odaklı SKDM araştırmaları, sürdürülebilirlik açıklamaları ve kurumsal marka itibarı ile greenwashing ve kurumsal itibar riski. Son aşamada temalar birlikte değerlendirilerek literatürdeki araştırma boşluğu belirlenmiştir. Düzenleyici hükümlere ilişkin değerlendirmelerde resmî AB mevzuatı ve Ticaret Bakanlığı kaynakları esas alınmış; akademik çalışmalar ekonomik, sektörel ve kurumsal sonuçların yorumlanmasında kullanılmıştır. Belirlenen ölçütler doğrultusunda nihai değerlendirmeye 32 kaynak dâhil edilmiştir.

LİTERATÜR TARAMASI

SKDM Literatürünün Gelişimi ve Temel Yönelimleri

İncelenen SKDM literatüründe mekanizmanın politika tasarımı ile ekonomik ve çevresel sonuçlarına ilişkin tartışmalar öne çıkmaktadır. Zhong ve Pei (2024), sınırda karbon düzenlemelerine ilişkin çalışmaları sistematik biçimde inceleyerek politika tartışmalarının rekabetin korunması, karbon kaçağının azaltılması ve refah etkilerinin yönetilmesi şeklinde üç temel amaç etrafında geliştiğini belirtmektedir. Çetin (2026) ise Ocak 2020–Temmuz 2024 döneminde yayımlanan 32 akademik çalışma ve kurumsal raporu değerlendirmiş; uluslararası ticaret literatüründe ekonomik, hukuki ve dağıtımsal risklerin çevresel etkinlik tartışmalarına göre daha geniş yer tuttuğunu raporlamıştır. Her iki inceleme, mekanizmanın sonuçlarının ürün ve sektör kapsamı, karbon içeriğinin hesaplanması, fiyatlandırma yöntemi, elde edilen gelirin kullanımı ve ülkelerin üretim yapıları doğrultusunda farklılaştığını ortaya koymaktadır (Çetin, 2026; Zhong & Pei, 2024).

Makroekonomik ve sektörel modellemeler, SKDM'nin ticaret akımları ve karbon kaçağı üzerindeki etkilerini inceleyen başlıca araştırma alanını oluşturmaktadır. Bellora ve Fontagné (2023), farklı politika tasarımlarını karşılaştırdıkları çalışmalarında karbon kaçağının sınırlandırılması ile ihracat rekabeti, ücretsiz tahsisatların kaldırılması ve aşağı akış sektörlerinde oluşan maliyetler arasında bir denge sorunu bulunduğunu belirtmektedir. OECD bünyesinde hazırlanan tedarik zinciri analizinde ise doğrudan kapsama giren sektörlerde oluşan maliyetlerin ara girdi bağlantıları üzerinden diğer sektörlere taşındığı ve temel metallerin kapsanan ticaret ile gömülü emisyonlar içerisindeki ağırlığının yüksek olduğu raporlanmıştır (Dechezleprêtre vd., 2025). Bulgular, SKDM'nin yalnızca sınırda uygulanan bir maliyet unsuru olarak değil, tedarik zinciri boyunca veri, fiyat ve uyum gereksinimleri oluşturan düzenleyici bir yapı olarak ele alındığını göstermektedir.

Literatürün işletme düzeyine yönelen yeni kolu, SKDM'nin işletme değeri, stratejik kapasite ve çevresel yatırım kararlarıyla ilişkisine odaklanmaktadır. Jia vd. (2025), Çin'de yüksek kirlilik düzeyine sahip halka açık işletmeleri olay çalışması yöntemiyle incelemiş; SKDM duyurularını kapsanan sektörler ile tedarik zincirinin yukarı akışında yer alan ve dolaylı biçimde etkilenen sektörlerde negatif anormal getirilerle ilişkilendirmiştir. Tedarik zinciri risk yönetimi ve uluslararasılaşma kabiliyetleri, piyasa değerindeki olumsuz tepkilerin sınırlanmasıyla bağlantılı bulunmuştur. Chen vd. (2026) ise ihracat odaklı üretim işletmelerinin SKDM'ye verdikleri yanıtları maliyet yönetimi, teknolojik dönüşüm, veri altyapısı, tedarikçi koordinasyonu ve kamu politikalarıyla etkileşim üzerinden sınıflandırmaktadır. İşletme düzeyindeki çalışmalar, SKDM literatürünün makroekonomik analizlerden kurumsal strateji ve örgütsel kapasite tartışmalarına doğru genişlediğine işaret etmektedir.

Türkiye Odaklı SKDM Araştırmaları

Türkiye üzerine yürütülen çalışmaların önemli bölümü makroekonomik maliyetler, sektörel kırılganlık, ihracat hacmi ve karbonsuzlaşma politikaları üzerinde yoğunlaşmaktadır. Acar vd. (2022), hesaplanabilir genel denge modeli üzerinden SKDM'nin Türkiye ekonomisindeki üretim, millî gelir, ihracat ve emisyon göstergeleriyle ilişkisini incelemiş; iklim politikalarının üretim ve enerji dönüşümüyle birlikte ele alındığı senaryoları mevcut politika yapısıyla karşılaştırmıştır. Eken ve Yazıcı (2024), Türkiye imalat sanayisinin karbon göstergelerini AB ülkeleri ve rakip ihracatçılarla karşılaştırarak sektörler arasında farklılaşan rekabet koşullarını değerlendirmiştir. Bayat vd. (2025) ise çimento, gübre, demir-çelik ve alüminyum sektörlerini ithalat talep esnekliği üzerinden incelemiş; demir-çelik sektörünün fiyat ve ihracat baskısı bakımından öne çıktığını raporlamıştır. Seyfert ve Ozcan (2025) tarafından Türkiye–Almanya ticareti üzerine yürütülen çalışma da demir-çelik ve alüminyum sektörlerini karbon maliyeti, fiyat rekabeti ve ikili ticaret ilişkileri üzerinden ele almaktadır.

Türkiye literatüründe raporlama kapasitesi ve işletme düzeyindeki çevresel açıklamalar da araştırma konusu hâline gelmiştir. Ensari Alpay ve Gökmen (2023), Borsa İstanbul'da işlem gören ve SKDM kapsamındaki karbon yoğun sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin karbon salımı açıklamalarını incelemiş; raporlama düzeyinin ve raporlar aracılığıyla yapılan açıklamaların sınırlı kaldığını belirlemiştir. Tüfenk (2026), Türkiye'nin sektörel konumunu ihracat yönelimi, emisyon yoğunluğu ve gerçek emisyon verisi raporlama oranı üzerinden karşılaştırmıştır. Araştırmada alüminyum sektörü yüksek AB pazar bağımlılığı, yüksek emisyon yoğunluğu ve görece düşük raporlama performansıyla; demir-çelik sektörü ise daha güçlü raporlama performansı ve daha dengeli pazar yapısıyla tanımlanmıştır. Bayrak ve Esmeray (2026) tarafından SKDM kapsamındaki sektörlerde faaliyet gösteren BİST şirketleri üzerine yürütülen çalışma ise sürdürülebilirlik endeksi üyeliği ile finansal performans arasındaki ilişkiye yönelmiştir.

Türkiye odaklı araştırmalar, işletmelerin SKDM karşısındaki konumunu ağırlıklı olarak maliyet, ihracat, karbon yoğunluğu, raporlama ve finansal performans değişkenleri üzerinden değerlendirmektedir. Kurumsal marka itibarı, paydaş güveni, çevresel iletişim ve greenwashing riski ise temel analiz değişkenleri arasında sınırlı yer tutmaktadır. Söz konusu sınırlılık, SKDM'nin işletmeler üzerindeki etkilerinin paydaş algıları ve kurumsal iletişim süreçleri bakımından incelenmesine yönelik bir araştırma alanı ortaya koymaktadır. Sektörel kırılganlık ile çevresel açıklama kalitesinin birlikte ele alınması, kurumsal itibar perspektifi açısından doğrudan bir geçiş alanı oluşturmaktadır.

Sürdürülebilirlik Açıklamaları ve Kurumsal Marka İtibarı

Kurumsal itibar literatürü, işletmenin ekonomik sonuçlarının yanında çevresel ve toplumsal davranışlarına ilişkin paydaş değerlendirmelerini de kapsamaktadır. Fombrun (1996) ile Walker (2010), kurumsal itibarı işletmenin geçmiş faaliyetleri, mevcut davranışları ve geleceğe yönelik beklentileri hakkında paydaşlar arasında oluşan değerlendirmelerle ilişkilendirmektedir. Abratt ve Kleyn (2012), kurumsal kimlik, kurumsal marka ve kurumsal itibar arasındaki bağlantıyı bütünleşik bir yapı içinde ele almaktadır. Hatch ve Schultz (2003) ise kurumsal markayı stratejik vizyon, örgüt kültürü ve paydaşlarda oluşan kurumsal imaj arasındaki etkileşim üzerinden açıklamaktadır.

Çevresel açıklamalar, işletme ile paydaşlar arasındaki bilgi asimetrisinin azaltılması ve kurumsal meşruiyetin değerlendirilmesi bakımından önem taşımaktadır. Cormier ve Magnan (2015), çevresel açıklamaların sermaye piyasasındaki bilgi ortamı ve kurumsal meşruiyetle ilişkisini incelemiştir. Sürdürülebilirlik performansına ilişkin açıklamaların paydaşlar tarafından nasıl değerlendirildiği, kurumsal itibarın oluşumuyla ilişkilendirilmektedir. Pajuelo-Moreno vd. (2024), 92 ampirik araştırmaya dayanan meta-analizlerinde sürdürülebilirlik açıklamaları ile kurumsal itibar arasında pozitif yönlü bir ilişki raporlamıştır.

İlişkinin gücü kullanılan itibar ölçütü, ülke bağlamı ve araştırma yöntemi doğrultusunda farklılaşmaktadır. Literatürde açıklama miktarının yanında veri kalitesi, karşılaştırılabilirlik, tutarlılık ve doğrulanabilirlik de paydaş değerlendirmelerinin temel unsurları arasında ele alınmaktadır. SKDM kapsamında gömülü emisyon verilerinin tesis ve ürün düzeyinde hesaplanması, raporlanması ve doğrulanması, sürdürülebilirlik açıklamaları literatüründeki veri kalitesi tartışmalarıyla kesişmektedir. Mekanizmanın doğrudan amacı kurumsal marka itibarı yönetimi değildir. Emisyon verilerinin düzenleyici bir metodolojiye bağlanması ise çevresel performans açıklamalarının dayandığı veri altyapısını paydaşlar açısından daha görünür hâle getirmektedir. Sinyal Teorisi açısından doğrulanabilir karbon verileri, işletmenin çevresel risk yönetimine ilişkin bilgi taşımaktadır (Bernini & La Rosa, 2024). Meşruiyet Teorisi açısından ise söz konusu veriler, işletme faaliyetleri ile toplumsal beklentiler arasındaki uyumun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır (Cormier & Magnan, 2015).

Greenwashing ve Kurumsal İtibar Riski

Greenwashing literatürü, çevresel iletişim ile fiilî çevresel performans arasındaki uyumsuzluğa odaklanmaktadır. Delmas ve Burbano (2011), greenwashing davranışını dışsal baskılar, örgütsel özellikler ve bireysel karar süreçleri üzerinden açıklamaktadır. Lyon ve Montgomery (2015), seçici açıklama, eksik bilgi, sembolik uygulama ve yanıltıcı çevresel iletişim biçimlerini daha geniş bir greenwashing çerçevesi içerisinde değerlendirmektedir. Bernini ve La Rosa (2024), ilgili literatürü Sinyal Teorisi, Meşruiyet Teorisi, Paydaş Teorisi ve Kurumsal Kuram eksenlerinde sınıflandırmış; bilgi asimetrisi ile itibari ve ilişkisel sermaye arasındaki bağlantıya dikkat çekmiştir. Fu vd. (2025) tarafından yürütülen ampirik araştırmada greenwashing ile kurumsal itibar arasında negatif yönlü bir ilişki raporlanmıştır.

SKDM ile greenwashing arasındaki bağlantıyı doğrudan ele alan Yuan vd. (2026), SKDM'ye ilişkin politika sinyalinin Çin'deki ihracatçı işletmelerin çevresel açıklamalarındaki artışla ilişkisini incelemiştir. Araştırmada açıklama artışının yeşil yenilik yatırımlarıyla aynı düzeyde ilerlemediği durumlar, çevresel söylem ile uygulama arasındaki ayrışma çerçevesinde değerlendirilmiştir. "Sembolik uyum" kavramı, düzenleyici baskıya düşük maliyetli bir yanıt biçimi olarak ele alınmıştır. Chen vd. (2026) ise işletme yanıtlarının yalnızca raporlama ve maliyet yönetimine indirgenemeyeceğini; teknolojik yatırım, enerji dönüşümü, tedarik zinciri koordinasyonu ve kurumsal kapasitenin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir.

SKDM, işletmelerin genel çevresel reklamlarını veya bütün sürdürülebilirlik iddialarını denetleyen bir greenwashing düzenlemesi değildir. Kurumsal itibar literatürüyle kurulan bağlantı, kapsama giren ürünlerin gömülü emisyonlarına ilişkin beyanların ölçüm, raporlama ve doğrulama kurallarına bağlanmasına dayanmaktadır. Çevreci marka söylemi ile doğrulanmış emisyon verileri arasındaki uyum paydaş güveni ve kurumsal meşruiyetle; açıklamalar ile fiilî çevresel yatırımlar arasındaki ayrışma ise greenwashing algısı ve itibar riskiyle ilişkilendirilmektedir.

Literatürün Değerlendirilmesi ve Araştırma Boşluğu

Dört tematik başlık altında incelenen çalışmaların kuramsal içeriği üç ana literatür alanında kümelenmektedir. İlk alan, SKDM'nin karbon kaçağı, uluslararası ticaret, rekabet ve refah etkilerini değerlendirmektedir. İkinci alan, sürdürülebilirlik açıklamaları, çevresel performans ve kurumsal itibar arasındaki ilişkiye odaklanmaktadır. Üçüncü alan ise çevresel söylem ile performans arasındaki uyumsuzluğu greenwashing, bilgi asimetrisi ve paydaş güveni çerçevesinde ele almaktadır.

SKDM ile kurumsal marka itibarını birlikte ele alan çalışmalar, incelenen literatürde sınırlı bir görünüm sergilemektedir. SKDM çalışmalarında marka itibarı ve paydaş algısı temel değişkenler arasında yer almazken kurumsal itibar çalışmalarında sınırda karbon düzenlemeleri özel bir düzenleyici bağlam olarak sınırlı biçimde ele alınmaktadır. 2025–2026 döneminde yayımlanan işletme düzeyi çalışmalar piyasa değeri, stratejik kapasite, çevresel yatırım ve sembolik uyum konularını tartışmaya açmıştır. Türkiye literatüründe ise raporlama performansı ve sektörel kırılganlık üzerine güncel çalışmalar bulunmasına rağmen SKDM, kurumsal marka itibarı, paydaş güveni ve greenwashing arasındaki ilişkileri birlikte ele alan çalışmalar sınırlı görünmektedir. Literatürdeki ayrışma, SKDM'nin ölçüm, raporlama ve doğrulama yükümlülükleri ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin ortak bir kavramsal çerçevede değerlendirilmesi için araştırma zemini oluşturmaktadır. Çalışmada söz konusu ilişki; emisyon verilerinin güvenilirliği, çevresel şeffaflık, söylem-performans uyumu, paydaş güveni ve greenwashing algısı üzerinden ele alınmaktadır. Böylece SKDM literatüründeki ekonomik ve düzenleyici yönelim, kurumsal marka itibarı literatüründeki paydaş temelli yaklaşımla bir araya getirilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılandırılmış anlatısal literatür incelemesinden elde edilen bulgular, SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin doğrudan ve tek yönlü bir etki biçiminde açıklanamayacağını göstermektedir. Söz konusu ilişkinin çok boyutlu yapısı emisyon verilerinin ölçülmesi ve doğrulanması, çevresel açıklamaların güvenilirliği, paydaş değerlendirmeleri, kurumsal meşruiyet ve greenwashing algısı üzerinden şekillenmektedir. İncelenen çalışmalar doğrultusunda bulgular çevresel veri altyapısı, paydaş güveni ve kurumsal meşruiyet, greenwashing riski ve Türkiye'deki ihracatçı işletmelerin konumu başlıkları altında değerlendirilmiştir.

Ölçüm, Raporlama ve Doğrulamanın Çevresel Şeffaflığa Etkisi

SKDM'nin işletmeler açısından en belirgin sonuçlarından biri, gömülü emisyonlara ilişkin verilerin düzenleyici bir metodoloji çerçevesinde ölçülmesi, raporlanması ve doğrulanmasıdır. Kurumsal karbon hesaplamalarında kullanılan yöntemlerin farklılaşması, açıklanan verilerin karşılaştırılabilirliği ve güvenilirliği açısından temel sorunlardan biri olarak değerlendirilmektedir (Klaaßen & Stoll, 2021). SKDM kapsamında tesis ve ürün düzeyinde emisyon verilerinin belirli kurallara bağlanması, çevresel açıklamaların dayandığı veri altyapısını daha görünür hâle getirmektedir.

Doğrulama yükümlülüğü, işletmelerin çevresel performansına ilişkin açıklamalar ile üretim süreçlerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkinin incelenmesine imkân tanımaktadır. Düzenleyici raporlama, işletmenin bütün sürdürülebilirlik faaliyetlerini kapsayan genel bir değerlendirme niteliği taşımamaktadır. Ayrıca, kapsama giren ürünlere ilişkin karbon verilerinin doğrulanabilir hâle gelmesi, çevresel iletişimin belirli bir bölümünü nesnel verilerle karşılaştırılabilir duruma getirmektedir (EP & CEU, 2023, 2025).

Literatür bulguları, çevresel şeffaflığın yalnızca açıklanan bilgi miktarıyla sınırlı olmadığını göstermektedir. Verilerin kapsamı, hesaplama yöntemi, tutarlılığı, karşılaştırılabilirliği ve bağımsız biçimde doğrulanması açıklama kalitesinin temel unsurları arasında yer almaktadır (Cormier & Magnan, 2015; Pajuelo-Moreno vd., 2024). Dolayısıyla SKDM'ye biçimsel uyum sağlanması, tek başına kurumsal marka itibarı açısından olumlu bir sonuç anlamına gelmemektedir. İtibarla ilişkili değerlendirmeler, açıklanan verilerin güvenilirliği ve işletmenin genel sürdürülebilirlik performansıyla uyumu üzerinden şekillenmektedir.

Paydaş Güveni ve Kurumsal Meşruiyet

Kurumsal marka itibarı, farklı paydaş gruplarının işletmenin geçmiş davranışları, mevcut performansı ve geleceğe yönelik taahhütleri hakkında oluşturdukları değerlendirmelerin bütünleşik sonucudur (Fombrun, 1996; Walker, 2010). SKDM kapsamında üretilen karbon verileri, işletmenin çevresel riskleri yönetme kapasitesine ilişkin paydaşlara sunulan bilgi kaynaklarından biri hâline gelmektedir.

Sinyal Teorisi açısından doğrulanmış emisyon verileri, işletmenin çevresel performansı ve raporlama kapasitesi hakkında bilgi taşıyan bir sinyal niteliğindedir (Bernini & La Rosa, 2024). Sinyalin güvenilirliği, açıklamaların doğrulanabilirliği ve işletmenin fiilî uygulamalarıyla desteklenmesiyle bağlantılıdır. Yalnızca düzenleyici yükümlülüklerin yerine getirildiğinin duyurulması, paydaş güveninin oluşması açısından yeterli görülmemektedir. Karbon azaltım hedefleri, teknolojik yatırımlar, enerji dönüşümü ve tedarik zinciri uygulamalarıyla desteklenen açıklamalar daha tutarlı bir kurumsal iletişim yapısı oluşturmaktadır.

Meşruiyet Teorisi bakımından işletmelerin çevresel faaliyetleri, toplumsal normlar ve paydaş beklentileriyle uyum üzerinden değerlendirilmektedir (Cormier & Magnan, 2015). SKDM, özellikle AB pazarına ihracat yapan işletmeler açısından çevresel performansı ticari ilişkilerin bir parçası hâline getirmektedir. İthalatçılar, yatırımcılar, finans kuruluşları, müşteriler ve diğer tedarik zinciri paydaşları açısından karbon verilerinin doğruluğu, işletmenin düzenleyici uyumu ve çevresel sorumluluk anlayışı hakkında değerlendirme zemini oluşturmaktadır.

Kurumsal marka itibarı bakımından belirleyici olan unsur, işletmenin düzenlemeye uyum sağladığını açıklamasından çok, sürdürülebilirlik söylemi ile doğrulanmış çevresel performansı arasındaki tutarlılıktır. Açıklamaların güvenilir bulunması paydaş güveni ve kurumsal meşruiyetle ilişkilendirilirken tutarsızlıklar kurumsal iletişimin inandırıcılığını zayıflatmaktadır.

Greenwashing ve Sembolik Uyum Riski

Greenwashing, işletmenin çevresel performansı hakkında gerçekte olduğundan daha olumlu bir algı oluşturan seçici, eksik veya yanıltıcı iletişim uygulamalarıyla ilişkilendirilmektedir (Delmas & Burbano, 2011; Lyon & Montgomery, 2015). SKDM'nin doğrudan amacı greenwashing davranışlarını denetlemek değildir. Ayrıca, emisyon verilerinin ölçüm ve doğrulama kurallarına bağlanması, çevresel söylem ile belirli performans göstergeleri arasındaki uyumsuzlukların görünürlüğünü artırmaktadır.

Yuan vd. (2026), SKDM'ye ilişkin düzenleyici sinyaller sonrasında işletmelerin çevresel açıklamalarındaki artışın yeşil yenilik yatırımlarıyla aynı düzeyde ilerlemediği durumları sembolik uyum çerçevesinde değerlendirmiştir. Bulgular, işletmelerin düzenleyici baskılara yalnızca açıklama miktarını artırarak yanıt vermelerinin çevresel dönüşümün gerçekleştiğini göstermediğine işaret etmektedir. Chen vd. (2026) tarafından ele alınan maliyet yönetimi, teknolojik dönüşüm, veri altyapısı ve tedarikçi koordinasyonu gibi unsurlar, biçimsel raporlama ile gerçek kurumsal dönüşüm arasındaki ayrımın değerlendirilmesinde önem taşımaktadır.

Greenwashing algısının kurumsal itibara yönelik olumsuz değerlendirmelerle ilişkili olduğu farklı çalışmalarda ortaya konulmuştur (Bernini & La Rosa, 2024; Fu vd., 2025). SKDM bağlamında söz konusu risk, işletmenin çevreci marka söylemi ile doğrulanmış karbon verileri veya fiilî karbonsuzlaşma uygulamaları arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır. Düşük karbonlu üretim iddialarının doğrulanabilir verilerle desteklenmemesi, düzenleyici uyumun olduğundan daha kapsamlı bir çevresel başarı biçiminde sunulması veya yalnızca olumlu göstergelerin açıklanması paydaşlar tarafından greenwashing çerçevesinde değerlendirilebilmektedir.

Dolayısıyla SKDM, greenwashing riskini kendiliğinden ortadan kaldıran bir düzenleme değildir. Mekanizmanın kurumsal marka itibarı bakımından önemi, çevresel iletişimin belirli unsurlarını doğrulanabilir karbon verileriyle karşılaştırılabilir hâle getirmesinden kaynaklanmaktadır. İşletmelerin açıklama stratejileri ile üretim, yatırım ve tedarik zinciri uygulamaları arasındaki uyum, itibar sonuçlarının temel belirleyicileri arasında yer almaktadır.

Türkiye'deki İhracatçı İşletmeler Açısından Değerlendirme

Türkiye'nin AB'ye yönelik SKDM kapsamındaki ihracat yoğunluğu, düzenlemenin işletmeler üzerindeki etkilerini ülke bağlamında önemli hâle getirmektedir. Türkiye odaklı çalışmalar, özellikle demir-çelik, alüminyum, çimento ve gübre sektörlerinde karbon maliyeti, fiyat rekabeti, ihracat

kırılganlığı ve raporlama kapasitesi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Acar vd., 2022; Bayat vd., 2025; Eken & Yazıcı, 2024; Seyfert & Ozcan, 2025).

Sektörler arasında emisyon yoğunluğu, AB pazarına bağımlılık ve raporlama kapasitesi bakımından farklılıklar bulunmaktadır. Tüfenk (2026), alüminyum sektöründe yüksek pazar bağımlılığı ve görece düşük raporlama performansına dikkat çekerken demir-çelik sektöründe daha güçlü raporlama kapasitesi bulunduğunu belirtmektedir. Ensari Alpay ve Gökmen (2023) tarafından ortaya konulan sınırlı karbon açıklaması düzeyi ise işletmelerin yalnızca emisyon azaltımı bakımından değil, veri üretme ve açıklama kapasitesi açısından da uyum baskısıyla karşı karşıya bulunduğunu göstermektedir.

Türkiye'deki ihracatçı işletmeler açısından SKDM uyumu, AB'deki alıcılarla ve diğer tedarik zinciri paydaşlarıyla sürdürülen ilişkilerin parçası hâline gelmektedir. Emisyon verilerinin zamanında, karşılaştırılabilir ve doğrulanabilir biçimde sunulması, tedarikçi koordinasyonu, tedarik zinciri risk yönetimi ve kurumsal uyum süreçleriyle bağlantılıdır. Özellikle kurumsal markasını çevresel sorumluluk ve düşük karbonlu üretim söylemi üzerine konumlandıran işletmeler açısından doğrulanmış performans verileri daha belirgin bir önem taşımaktadır (Dechezleprêtre vd., 2025; Jia vd., 2025; Chen vd., 2026).

Sektörel kırılganlığın yüksek, raporlama kapasitesinin düşük olduğu işletmelerde uyum sorunu yalnızca maliyet artışıyla sınırlı kalmamaktadır. Eksik veya güvenilirliği tartışmalı veriler, paydaş güveni ve kurumsal meşruiyet üzerinde de değerlendirme alanı oluşturmaktadır. Öte yandan karbon verilerini kurumsal yönetim, üretim planlaması ve tedarik zinciri kararlarıyla bütünleştiren işletmeler, düzenleyici uyumu daha tutarlı bir çevresel iletişim yapısıyla ilişkilendirmektedir.

Genel Değerlendirme

Literatürden elde edilen bulgular, SKDM'nin kurumsal marka itibarı üzerindeki etkisinin doğrudan bir maliyet–itibar ilişkisine indirgenemeyeceğini göstermektedir. Mekanizma ile kurumsal marka itibarı arasındaki bağlantı, emisyon verilerinin ölçülmesi ve doğrulanmasıyla başlayan; çevresel şeffaflık, söylem-performans uyumu, paydaş güveni ve greenwashing algısı üzerinden ilerleyen bir değerlendirme süreci oluşturmaktadır.

Doğrulanmış emisyon verileri, işletmenin çevresel performansına ilişkin daha güvenilir bir bilgi zemini sağlamakla birlikte olumlu kurumsal itibarın kendiliğinden oluşmasını garanti etmemektedir. Kurumsal marka itibarı düzenleyici uyumun, gerçek çevresel yatırımların ve tutarlı kurumsal iletişimin birlikte değerlendirilmesi sonucunda şekillenmektedir. Açıklamalar ile fiilî uygulamalar arasındaki uyum paydaş güveni ve kurumsal meşruiyetle; aralarındaki ayrışma ise greenwashing algısı ve itibar riskiyle ilişkilendirilmektedir.

Çalışmanın temel bulgusu, SKDM'nin kurumsal marka itibarı bakımından yalnızca karbon maliyeti yaratan bir ticaret düzenlemesi olmadığıdır. Mekanizma aynı zamanda işletmelerin çevresel verilerinin niteliğini, açıklama stratejilerini ve paydaşlarla kurduğu iletişimi etkileyen bir düzenleyici bağlam oluşturmaktadır. Türkiye'deki ihracatçı işletmeler açısından söz konusu bağlam, sektörel rekabet gücü ile kurumsal güvenilirliğin birlikte değerlendirilmesini gerektiren yeni bir yönetim alanına işaret etmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç

Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması, karbon yoğun ürünlerin Avrupa Birliği pazarına girişini emisyon ölçümü, raporlama, doğrulama ve karbon fiyatlandırmasıyla ilişkilendiren düzenleyici bir yapı oluşturmaktadır. Mekanizmanın işletmeler üzerindeki etkileri çoğunlukla maliyet, ihracat, rekabet gücü ve karbonsuzlaşma politikaları üzerinden değerlendirilmekle birlikte çevresel verilerin niteliği, kurumsal iletişim ve paydaş algıları da söz konusu etkilerin önemli bir boyutunu oluşturmaktadır.

Çalışmada, SKDM'nin ölçüm, raporlama ve doğrulama yükümlülükleri ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin hangi kavramsal boyutlar üzerinden açıklanabileceği incelenmiştir. Literatürden elde edilen bulgular, ilişkinin doğrudan ve tek yönlü bir etki biçiminde ele alınamayacağını göstermektedir. SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki bağlantı; emisyon verilerinin güvenilirliği, çevresel şeffaflık, söylem-performans uyumu, paydaş güveni, kurumsal meşruiyet ve greenwashing algısı üzerinden şekillenmektedir.

SKDM kapsamında karbon verilerinin belirli yöntemlere göre hesaplanması ve doğrulanması, işletmelerin çevresel açıklamalarının dayandığı veri altyapısını daha görünür hâle getirmektedir. Doğrulanmış emisyon verileri, bilgi asimetrisinin azaltılmasına katkı sağlayan bir unsur olmakla birlikte olumlu kurumsal itibarın kendiliğinden oluşmasını sağlamamaktadır. Paydaş değerlendirmeleri, açıklanan bilgilerin yalnızca varlığına değil; verilerin tutarlılığına, karşılaştırılabilirliğine ve işletmenin fiilî çevresel uygulamalarıyla uyumuna bağlı olarak şekillenmektedir.

Sinyal Teorisi açısından doğrulanabilir karbon verileri, işletmenin çevresel risk yönetimi ve raporlama kapasitesi hakkında bilgi taşımaktadır. Meşruiyet Teorisi açısından ise işletmenin faaliyetleri ile toplumsal beklentiler arasındaki uyumun değerlendirilmesine katkıda bulunmaktadır. Kurumsal marka itibarı bakımından belirleyici unsur, işletmenin düzenleyici yükümlülükleri yerine getirdiğini açıklamasından çok, çevresel söylemini teknolojik yatırım, enerji dönüşümü, emisyon azaltımı ve tedarik zinciri uygulamalarıyla desteklemesidir.

Greenwashing riski, çevresel açıklamalar ile fiilî performans arasında uyumsuzluk ortaya çıktığında belirginleşmektedir. SKDM, işletmelerin bütün sürdürülebilirlik iddialarını denetleyen bir greenwashing düzenlemesi değildir. Ayrıca, kapsama giren ürünlere ait emisyon verilerinin doğrulanması, çevreci marka söylemi ile ölçülebilir performans arasındaki farklılıkların görünürlüğünü artırmaktadır. Düzenleyici uyumun olduğundan daha kapsamlı bir çevresel başarı olarak sunulması veya açıklamaların gerçek çevresel yatırımlarla desteklenmemesi, sembolik uyum ve itibar riskiyle ilişkilendirilmektedir.

Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne yönelik SKDM kapsamındaki ihracat yoğunluğu, düzenlemenin ülke açısından taşıdığı önemi artırmaktadır. Türkiye'deki işletmeler bakımından uyum süreci yalnızca karbon maliyetlerinin yönetilmesiyle sınırlı değildir. Emisyon verilerinin üretilmesi, tedarikçilerden veri toplanması, raporlama altyapısının geliştirilmesi ve çevresel iletişimin doğrulanabilir performansla desteklenmesi de sürecin temel unsurları arasında yer almaktadır. Sektörel kırılganlığı yüksek ve raporlama kapasitesi sınırlı işletmeler açısından söz konusu gereklilikler daha belirgin bir yönetim sorunu oluşturmaktadır.

Araştırmanın temel sonucu, SKDM'nin kurumsal marka itibarı bakımından yalnızca maliyet yaratan bir dış ticaret düzenlemesi olarak değerlendirilemeyeceğidir. Mekanizma, çevresel veri yönetimi ile kurumsal iletişim arasındaki ilişkiyi güçlendiren ve işletmeler üzerinde sürdürülebilirlik söylemlerini ölçülebilir performansla destekleme yönündeki baskıyı artıran bir düzenleyici bağlam oluşturmaktadır.

İşletmelere Yönelik Öneriler

İşletmelerin SKDM uyumunu yalnızca mali işler, dış ticaret veya çevre birimlerinin sorumluluğunda bulunan teknik bir raporlama süreci olarak değerlendirmemesi gerekmektedir. Emisyon verilerinin üretim, satın alma, lojistik, finans, sürdürülebilirlik ve kurumsal iletişim birimleri arasında bütünleşik biçimde yönetilmesi önem taşımaktadır.

Karbon verilerinin tesis ve ürün düzeyinde düzenli olarak ölçülmesi, kullanılan hesaplama yöntemlerinin kurumsal prosedürlere bağlanması ve verilerin bağımsız doğrulamaya hazır hâle getirilmesi gerekmektedir. Tedarikçilerden elde edilen emisyon bilgilerinin doğruluğu ve karşılaştırılabilirliği de işletmenin SKDM raporlamasını doğrudan etkilediğinden tedarikçi seçimi ve değerlendirme süreçlerine karbon verisi üretme kapasitesi dâhil edilmelidir.

Sürdürülebilirlik iletişiminde yalnızca olumlu çevresel göstergelere yer verilmemeli; hedefler, gerçekleşen performans, karşılaşılan güçlükler ve iyileştirme alanları dengeli biçimde açıklanmalıdır. Çevresel iddiaların doğrulanabilir verilere dayandırılması ve düzenleyici uyumun genel çevresel başarıyla özdeşleştirilmemesi greenwashing riskinin sınırlandırılması açısından önem taşımaktadır.

Karbon azaltım hedeflerinin teknolojik yatırım, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kullanımı, üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve düşük karbonlu tedarikçi seçimiyle desteklenmesi gerekmektedir. Kurumsal marka iletişimi, söz konusu uygulamalar sonucunda ortaya çıkan doğrulanmış performans verileri üzerine kurulmalıdır.

Kamu Kurumları ve Sektörel Kuruluşlara Yönelik Öneriler

Kamu kurumları tarafından sektör ve işletme ölçeğine göre farklılaştırılmış SKDM rehberlerinin hazırlanması, özellikle küçük ve orta büyüklükteki işletmelerin teknik uyum kapasitesini destekleyebilir. Karbon hesaplama, raporlama ve doğrulama süreçlerine ilişkin eğitimlerin

yaygınlaştırılması, işletmeler arasındaki bilgi ve kapasite farklılıklarının azaltılmasına katkıda bulunabilir.

Sektörel kuruluşlar ve ihracatçı birlikleri, ortak veri altyapıları, örnek hesaplama modelleri ve doğrulama rehberleri geliştirebilir. Karbon yoğun sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerin tedarik zinciri boyunca veri toplama süreçlerinde karşılaştığı sorunların ortak platformlarda değerlendirilmesi, raporlama kalitesinin geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Finansal destek ve teşvik mekanizmalarının yalnızca raporlama sistemlerinin kurulmasına değil, gerçek emisyon azaltımı sağlayan teknolojik dönüşüm yatırımlarına da yönlendirilmesi gerekmektedir. Desteklerin ölçülebilir performans göstergeleriyle ilişkilendirilmesi, sembolik uyum yerine fiilî karbonsuzlaşmanın teşvik edilmesine katkı sağlayabilir.

Araştırmanın Sınırlılıkları ve Gelecek Araştırmalar

Araştırma, yapılandırılmış anlatısal literatür incelemesine dayanmaktadır. Bulgular, incelenen akademik yayınlar, resmî düzenlemeler ve kurumsal raporların kapsamıyla sınırlıdır. SKDM'nin mali yükümlülük döneminin 1 Ocak 2026 tarihinde başlamış olması nedeniyle işletme uygulamalarına ve kurumsal itibar sonuçlarına ilişkin uzun dönemli ampirik kanıtlar henüz sınırlıdır.

Gelecek araştırmalarda SKDM kapsamındaki Türk işletmelerinin yöneticileri, ihracat müşterileri, yatırımcıları ve diğer tedarik zinciri paydaşlarıyla görüşmeler yapılabilir. İşletmelerin SKDM öncesi ve sonrası sürdürülebilirlik raporları karşılaştırılarak çevresel açıklama düzeyi, veri kalitesi ve söylem-performans uyumundaki değişim incelenebilir. Kurumsal itibarın anketler, medya görünürlüğü, yatırımcı tepkileri veya müşteri değerlendirmeleri üzerinden ölçüldüğü ampirik çalışmalar, literatürde belirlenen kavramsal ilişkinin sınanmasına katkı sağlayabilir.

Demir-çelik, alüminyum, çimento ve gübre sektörlerinin emisyon yoğunluğu, pazar bağımlılığı ve raporlama kapasitesi bakımından karşılaştırılması da Türkiye bağlamındaki sektörel farklılıkların açıklanmasına destek olabilir. Gelecek çalışmaların düzenleyici uyum ile gerçek karbonsuzlaşma yatırımları arasındaki ayrımı dikkate alması, greenwashing ve sembolik uyum risklerinin daha sağlıklı değerlendirilmesini sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Abratt, R., & Kleyn, N. (2012). Corporate identity, corporate branding and corporate reputations: Reconciliation and integration. *European Journal of Marketing, 46*(7/8), 1048–1063. https://doi.org/10.1108/03090561211230197

Acar, S., Aşıcı, A. A., & Yeldan, A. E. (2022). Potential effects of the EU's carbon border adjustment mechanism on the Turkish economy. *Environment, Development and Sustainability, 24*(6), 8162–8194. https://doi.org/10.1007/s10668-021-01779-1

Bayat, T., Ozsalman, E., & Derindag, O. F. (2025). Evaluating export vulnerability through import demand elasticity in carbon border adjustment contexts: A focus on Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research, 32*(5), 2238–2250. https://doi.org/10.1007/s11356-024-35861-8

Bayrak, R., & Esmeray, M. (2026). İşletmelerin BİST sürdürülebilirlik endeksinde yer almalarının finansal performansları üzerindeki etkisi: AB sınırda karbon düzenleme mekanizması kapsamındaki sektörlerin analizi. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 73*, 181–188. https://doi.org/10.18070/erciyesiibd.1833821

Bellora, C., & Fontagné, L. (2023). EU in search of a carbon border adjustment mechanism. *Energy Economics, 123*, Article 106673. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106673

Bernini, F., & La Rosa, F. (2024). Research in the greenwashing field: Concepts, theories, and potential impacts on economic and social value. *Journal of Management and Governance, 28*(2), 405–444. https://doi.org/10.1007/s10997-023-09686-5

Chen, Y.-T., Yang, P.-Y., & Ko, C.-H. (2026). Corporate responses to the carbon border adjustment mechanism: Impacts, policy interactions, and strategic pathways. *Journal of Cleaner Production, 560*, Article 148373. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.148373

Cormier, D., & Magnan, M. (2015). The economic relevance of environmental disclosure and its impact on corporate legitimacy: An empirical investigation. *Business Strategy and the Environment, 24*(6), 431–450. https://doi.org/10.1002/bse.1829

Çetin, R. (2026). A systematic literature review on the effects of the EU Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on international trade. *ESAM Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7*(1), 1–21. https://doi.org/10.53662/esamdergisi.1811863

Dechezleprêtre, A., Haramboure, A., Kögel, C., Lalanne, G., & Yamano, N. (2025). *Carbon border adjustments: The potential effects of the EU CBAM along the supply chain* (OECD Science, Technology and Industry Working Papers No. 2025/02). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/e8c3d060-en

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. *California Management Review, 54*(1), 64–87. https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64

Eken, A. A., & Yazıcı, D. (2024). Sınırda Karbon Düzenlemesi Mekanizmasının Türkiye'nin AB ihracatına olası etkileri. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi, 8*(1), 1–15. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jcsci/issue/84073/1378834

Ensari Alpay, E., & Gökmen, M. K. (2023). Sınırda karbon düzenleme (SKD) mekanizması çerçevesinde karbon salınımı açıklamalarının incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16*(4), 970–986. https://doi.org/10.25287/ohuiibf.1288775

European Commission. (2019). *The European Green Deal* (COM(2019) 640 final). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN

European Parliament & Council of the European Union. (2023). Regulation (EU) 2023/956 of the European Parliament and of the Council of 10 May 2023 establishing a carbon border adjustment mechanism. Official Journal of the European Union, L 130, 52–104. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/956/oj

European Parliament & Council of the European Union. (2025). Regulation (EU) 2025/2083 of the European Parliament and of the Council of 8 October 2025 amending Regulation (EU) 2023/956 as regards simplifying and strengthening the carbon border adjustment mechanism. Official Journal of the European Union, L 2025/2083. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2025/2083/oj

Fombrun, C. J. (1996). *Reputation: Realizing value from the corporate image*. Harvard Business School Press.

Fu, Y., Wang, S., Wang, S., Chen, S., & Jiang, B. (2025). The green fog: The negative fallout of greenwashing on corporate reputation. *Social Responsibility Journal, 21*(10), 2217–2232. https://doi.org/10.1108/SRJ-02-2025-0128

Hatch, M. J., & Schultz, M. (2003). Bringing the corporation into corporate branding. *European Journal of Marketing, 37*(7/8), 1041–1064. https://doi.org/10.1108/03090560310477654

Jia, F., Hu, S., & Chen, L. (2025). Impact of carbon border adjustment mechanism on the stock market value of high-polluting firms in China: The role of supply chain risk management and internationalization capabilities. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 197*, Article 104041. https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.104041

Klaaßen, L., & Stoll, C. (2021). Harmonizing corporate carbon footprints. *Nature Communications, 12*, Article 6149. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26349-x

Lyon, T. P., & Montgomery, A. W. (2015). The means and end of greenwash. *Organization & Environment, 28*(2), 223–249. https://doi.org/10.1177/1086026615575332

Pajuelo-Moreno, M. L., Barroso-Méndez, M. J., & Gallardo-Vázquez, D. (2024). Relationship between sustainability disclosure and corporate reputation: Evidence from a meta-analysis. *Business Strategy and the Environment, 33*(8), 8593–8615. https://doi.org/10.1002/bse.3933

Seyfert, P. S., & Ozcan, Y. (2025). Potential effects of the carbon border adjustment mechanism on trade between Germany and Türkiye. *International Journal of Energy Studies, 10*(3), 827–883. https://doi.org/10.58559/ijes.1717921

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2026a). *AB SKDM hakkında genel bilgiler ve uygulama mevzuatı*. 30 Temmuz 2026 tarihinde https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi/ab-skdm-hakkinda-genel-bilgiler-ve-uygulama-mevzuati adresinden erişildi.

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2026b). *SKDM geçiş dönemi gözden geçirme raporu*. 30 Temmuz 2026 tarihinde https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat/ab-sinirda-karbon-duzenleme-mekanizmasi/skdm-gecis-donemi-gozden-gecirme-raporu adresinden erişildi.

Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, *14*(3), 207–222. https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375

Tüfenk, M. B. (2026). Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması kapsamında Türkiye'nin sektörel konumu. *Akademi Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*(2), 171–184. https://doi.org/10.65083/asbider.1850748

Walker, K. (2010). A systematic review of the corporate reputation literature: Definition, measurement, and theory. *Corporate Reputation Review*, *12*(4), 357–387. https://doi.org/10.1057/crr.2009.26

Yuan, Q., Li, T., Mi, T., & Jin, Y. (2026). Going green or green-washing: The impact of CBAM on Chinese firms' strategic environmental behaviors. *International Review of Economics & Finance*, *110*, Article 105565. *https://doi.org/10.1016/j.iref.2026.105565*

Zhong, J., & Pei, J. (2024). Carbon border adjustment mechanism: A systematic literature review of the latest developments. *Climate Policy*, *24*(2), 228–242. *https://doi.org/10.1080/14693062.2023.2190074*

YEŞİL SÖYLEMDEN DOĞRULANMIŞ PERFORMANSA: GREENWASHING RİSKİ, SINIRDA KARBON DÜZENLEME MEKANİZMASI VE KURUMSAL MARKA İTİBARINA İLİŞKİN KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

FROM GREEN DISCOURSE TO VERIFIED PERFORMANCE: A CONCEPTUAL ASSESSMENT OF GREENWASHING RISK, THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM, AND CORPORATE BRAND REPUTATION

Lect. İlyas Temel ŞAFAK
Düzce University, Kaynaşlı Vocational School, Management and Organisation Department, Düzce, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-0219-8298

Asst. Prof. Serhat ATA
Düzce University, Business Administration Faculty, International Trade and Finance Department, Düzce, Türkiye
ORCID: ID/0000-0002-5423-5118

ABSTRACT[1]

The proliferation of environmental performance regulations introduced as part of efforts to combat climate change has brought corporate sustainability claims under greater scrutiny. In this context, greenwashing, understood as a discrepancy between environmental communication and actual environmental performance, poses a significant reputational risk to businesses. The European Union's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) establishes requirements for the measurement, reporting, and verification of embedded carbon emissions, thereby contributing to a more transparent assessment of carbon performance.

This study aims to conceptually examine the relationships among greenwashing, CBAM, and corporate brand reputation and to assess the potential role of verifiable carbon performance in mitigating greenwashing risk. A structured narrative literature review was employed. The literature synthesis indicates that discrepancies between environmental claims and actual performance may undermine stakeholder trust and corporate brand reputation. Conversely, measurable, verifiable, and transparently disclosed carbon performance may help reduce perceptions of greenwashing and strengthen stakeholder trust.

The study argues that CBAM does not constitute a mechanism that directly eliminates greenwashing. Nevertheless, its measurement, reporting, and verification requirements may create conditions conducive to mitigating greenwashing risk. Accordingly, the study proposes a conceptual model explaining the relationships among CBAM compliance, verifiable carbon performance, disclosure quality, greenwashing risk, stakeholder trust, and corporate brand reputation.

Keywords: Greenwashing, Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), corporate brand reputation, sustainability communication, verifiable carbon performance.

ÖZET[2]

İklim değişikliğiyle mücadele kapsamında çevresel performansa ilişkin düzenlemelerin yaygınlaşması, işletmelerin sürdürülebilirlik iddialarını daha görünür hâle getirmiştir. Güncel süreçte çevresel performans ile çevresel iletişim arasındaki uyumsuzluk olarak tanımlanan greenwashing olgusu, işletmeler açısından önemli bir itibar riski yaratmaktadır. Avrupa Birliği tarafından uygulamaya konulan Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), ürünlerin gömülü karbon emisyonlarının ölçülmesini, raporlanmasını ve doğrulanmasını zorunlu kılarak çevresel performansın daha şeffaf

[1] This study is derived from İlyas Temel ŞAFAK's ongoing Master's thesis entitled 'The Effects of Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on Brand Reputation of Businesses: A Qualitative Research', conducted within the Graduate Education Institute of Düzce University.

[2] Bu çalışma, İlyas Temel ŞAFAK'ın Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde yürütmekte olduğu ' Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizmasının (SKDM) İşletmelerin Marka İtibarı Üzerindeki Etkileri: Nitel Bir Araştırma' başlıklı, devam eden Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.
Çalışmanın amacı, greenwashing, SKDM ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkiyi kavramsal olarak incelemek ve doğrulanabilir çevresel performansın greenwashing riskinin azaltılmasındaki olası rolünü değerlendirmektir. Çalışmada literatür incelemesine dayalı kavramsal araştırma yöntemi kullanılmıştır. Değerlendirmeler, çevresel söylem ile gerçek performans arasındaki uyumsuzluğun paydaş güvenini ve kurumsal marka itibarını zayıflatabildiğini göstermekle birlikte ölçülebilir, doğrulanabilir ve şeffaf biçimde açıklanan çevresel performansın greenwashing algısının azaltılmasına ve kurumsal güvenin güçlenmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.
Çalışma sonucunda SKDM'nin greenwashing'i doğrudan ortadan kaldıran bir mekanizma olmadığı; ancak ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçleri aracılığıyla greenwashing riskinin azaltılmasına zemin hazırlayabileceği ileri sürülmektedir. Çalışmada SKDM uyumu, doğrulanabilir çevresel performans, bilgi açıklama kalitesi, greenwashing riski, paydaş güveni ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkileri açıklayan kavramsal bir model önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Greenwashing, SKDM, CBAM, kurumsal marka itibarı, sürdürülebilirlik iletişimi, çevresel performans.

GİRİŞ

İklim değişikliği, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve düşük karbonlu ekonomik dönüşüm hedefleri, işletmelerin çevresel performanslarını stratejik yönetim gündeminin önemli unsurlarından biri hâline getirmiştir. Günümüzde işletmelerden yalnızca finansal performanslarını değil, aynı zamanda çevresel etkilerini, karbon emisyonlarını ve sürdürülebilirlik hedeflerine yönelik ilerlemelerini de paydaşlarıyla paylaşmaları beklenmektedir. Yatırımcılar, tüketiciler, düzenleyici kurumlar ve iş ortakları tarafından artan şeffaflık talepleri, çevresel performansın kurumsal güven, rekabet avantajı ve marka itibarıyla daha yakın ilişkilendirilmesine yol açmıştır (Laufer, 2003; Delmas & Burbano, 2011; Lyon & Montgomery, 2015; Forliano vd., 2025). Çevresel sürdürülebilirliğe yönelik ilginin artması, işletmelerin iletişim faaliyetlerinde çevre dostu üretim, düşük karbonlu dönüşüm, karbon nötrlüğü, net sıfır emisyon ve döngüsel ekonomi gibi kavramlara daha fazla yer vermelerini beraberinde getirmiştir. Kurumsal iletişimde çevresel temaların yaygınlaşması ise çevresel söylemler ile fiili performans arasındaki ilişkinin daha yoğun biçimde sorgulanmasına neden olmuştur. İlgili sorgulamanın merkezinde yer alan greenwashing kavramı, işletmelerin çevresel performanslarını gerçekte olduğundan daha olumlu gösteren ya da çevresel etkilerine ilişkin eksik, seçici veya yanıltıcı bilgi sunan uygulamaları ifade etmektedir (Laufer, 2003; Delmas & Burbano, 2011; Seele & Gatti, 2017).
Greenwashing literatürü incelendiğinde, çevresel iletişim ile çevresel performans arasındaki uyumsuzluğun temel tartışma alanlarından biri olduğu görülmektedir. Seçici bilgi açıklamaları, belirsiz çevresel ifadeler, doğrulanmamış iddialar ve geleceğe yönelik çevresel hedeflerin mevcut performansın önüne geçirilmesi, literatürde sıklıkla vurgulanan greenwashing biçimleri arasında yer almaktadır (Lyon & Montgomery, 2015; Montgomery vd., 2023). Paydaşların çevresel konulara ilişkin bilgi düzeyindeki artış, çevresel iddiaların güvenilirliğini kurumsal itibarın önemli bileşenlerinden biri hâline getirmiştir. Aynı nedenle greenwashing yalnızca pazarlama iletişimiyle ilgili etik bir sorun olarak değil; kurumsal yönetişim, veri yönetimi, performans ölçümü, bilgi açıklama kalitesi ve itibar yönetimiyle bağlantılı çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilmektedir (Walker & Wan, 2012; Santos vd., 2023; Forliano vd., 2025). Araştırmalar, çevresel performans ile çevresel iletişim arasındaki tutarsızlıkların tüketici güveni, müşteri memnuniyeti ve kurumsal itibar üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabildiğine işaret etmektedir (Walker & Wan, 2012; Ioannou vd., 2022; Fu vd., 2025). Ayrıca, çevresel performansa ilişkin güvenilir, açık ve doğrulanabilir bilgi sunulmasının söz konusu olumsuz etkilerin sınırlandırılmasına katkı sağlayabileceği yönünde bulgular da bulunmaktadır. İlgili değerlendirmeler, greenwashing tartışmalarında çevresel performansın nasıl ölçüldüğü ve nasıl doğrulandığı sorularını ön plana çıkarmaktadır.
Son yıllarda çevresel performansın ölçülmesi ve raporlanmasına yönelik düzenleyici uygulamalar, greenwashing literatürüne yeni bir boyut kazandırmıştır. Avrupa Birliği tarafından yürürlüğe konulan Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), karbon yoğun sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler açısından çevresel performansın daha sistematik biçimde ölçülmesini ve raporlanmasını teşvik eden düzenlemeler arasında yer almaktadır (Durán, 2021; Shin & An, 2024; Erdoğdu, 2025).

Ürün bazında gömülü emisyonların hesaplanmasına, raporlanmasına ve belirli koşullar altında doğrulanmasına dayanan yaklaşım, çevresel performansın daha görünür ve karşılaştırılabilir hâle gelmesine katkı sağlayabilecek niteliktedir. Söz konusu gelişmeler, SKDM ile greenwashing arasındaki ilişkinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Ölçüm, raporlama ve doğrulama yükümlülüklerinin çevresel iletişimin güvenilirliğini artırabileceği düşünülmekle birlikte, mekanizmaların greenwashing riskini hangi ölçüde etkileyebileceği konusunda kesin yargılara ulaşmak mümkün görünmemektedir. İşletmelerin veri altyapıları, bilgi açıklama düzeyleri, yönetişim yapıları ve iletişim stratejileri gibi değişkenler, ortaya çıkabilecek sonuçların farklılaşmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla temel tartışma noktası, SKDM'nin greenwashing'i ortadan kaldırıp kaldırmadığı değil; greenwashing riskinin azaltılmasına hangi koşullar altında katkı sağlayabileceğidir.

Diğer taraftan çevresel performansın ölçülmesi ve doğrulanmasına yönelik uygulamalar, kurumsal marka itibarı açısından da önem taşımaktadır. Paydaşlar tarafından güvenilir bulunan çevresel performans verilerinin kurumsal güveni destekleyebileceği; çevresel iletişim ile performans arasındaki uyumsuzlukların görünür hâle gelmesinin ise itibar riski yaratabileceği değerlendirilmektedir (Walker & Wan, 2012; Ioannou vd., 2022; Fu vd., 2025). İlgili nedenle çevresel performansın doğrulanabilirliği ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin incelenmesi, yalnızca sürdürülebilirlik literatürü açısından değil, işletme ve yönetim alanı açısından da önem arz etmektedir. Literatürde greenwashing, SKDM ve kurumsal marka itibarı konularını birlikte değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle SKDM kapsamında ortaya çıkan ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçlerinin greenwashing riski ile nasıl ilişkilendirilebileceğini ve ilişkinin kurumsal marka itibarı açısından ne tür sonuçlar doğurabileceğini bütüncül biçimde ele alan kavramsal çalışmaların yeterli düzeyde olmadığı değerlendirilmektedir.

Araştırmanın amacı, greenwashing, SKDM ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkiyi kavramsal açıdan incelemek ve doğrulanabilir çevresel performansın greenwashing riski ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkideki olası rolünü değerlendirmektir. İlgili amaç doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorusuna yanıt aranmıştır:

"SKDM kapsamında ortaya çıkan ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçleri, greenwashing riskinin azaltılmasıyla nasıl ilişkilendirilebilir ve doğrulanabilir çevresel performansın kurumsal marka itibarına yansıması hangi mekanizmalar aracılığıyla açıklanabilir?"

Araştırmanın literatüre üç temel katkı sunması beklenmektedir. İlk olarak greenwashing olgusu, yalnızca pazarlama iletişimi perspektifinden değil, çevresel performansın ölçülmesi, raporlanması ve doğrulanması süreçleri çerçevesinde ele alınmaktadır. İkinci olarak SKDM'nin greenwashing riskiyle ilişkisi kurumsal marka itibarı perspektifinden değerlendirilmektedir. Üçüncü olarak SKDM uyumu, doğrulanabilir çevresel performans, bilgi açıklama kalitesi, greenwashing riski, paydaş güveni ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkileri açıklamaya yönelik bir kavramsal çerçeve önerilmektedir.

YÖNTEM

Araştırmada greenwashing, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM) ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkileri kavramsal düzeyde incelemek amacıyla yapılandırılmış anlatısal literatür incelemesi yöntemi benimsenmiştir. Yapılandırılmış anlatısal inceleme, farklı araştırma alanlarında üretilen kuramsal ve ampirik çalışmaların belirli bir araştırma sorusu çerçevesinde sınıflandırılmasına, karşılaştırılmasına ve yorumlayıcı biçimde sentezlenmesine imkân vermektedir (Snyder, 2019). Yöntem tercihi, greenwashing literatürü ile SKDM'nin düzenleyici yapısına ve kurumsal marka itibarına ilişkin çalışmaların ortak bir kavramsal çerçevede ele alınması gereksinimine dayanmaktadır. Literatür taraması 20 Temmuz-10 Ağustos 2026 tarihleri arasında Web of Science, Scopus ve ScienceDirect veri tabanları ile Google Scholar akademik arama motorunda gerçekleştirilmiştir. Taramanın temel yayın aralığı 2015-2026 olarak belirlenmiş; greenwashing kavramının gelişimini açıklayan ve alana yön veren daha eski çalışmalar tarih sınırlamasının dışında tutulmuştur. Türkçe ve İngilizce aramalarda "greenwashing", "yeşil aklama", "perceived greenwashing", "algılanan greenwashing", "selective disclosure", "environmental claims", "sustainability communication", "corporate reputation", "corporate brand reputation", "stakeholder trust", "carbon reporting", "carbon transparency", "emission verification", "Carbon Border Adjustment Mechanism", "CBAM" ve "SKDM" terimleri tekil olarak ve farklı birleşimlerle kullanılmıştır. Akademik yayınların yanı sıra EUR-Lex, Avrupa Komisyonu ve

Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı tarafından yayımlanan düzenlemeler ve resmî belgeler incelenmiştir.

Araştırma sorusuyla doğrudan ilişkili, tam metnine erişilebilen, Türkçe veya İngilizce yayımlanmış hakemli makaleler ve bilimsel kitap bölümleri ile alanın kavramsal gelişiminde belirleyici olan temel çalışmalar incelemeye dâhil edilmiştir. Greenwashing, karbon performansı, paydaş güveni veya kurumsal marka itibarıyla doğrudan ilişki kurmayan genel sürdürülebilirlik yayınları; yinelenen kayıtlar ve bilimsel ya da kurumsal dayanağı bulunmayan içerikler kapsam dışında bırakılmıştır. Belirlenen ölçütleri karşılayan 21 akademik çalışma nihai inceleme kümesine alınmıştır. SKDM'nin hukuki kapsamını, ürün bazlı gömülü sera gazı emisyonlarının ölçüm, raporlama ve doğrulama yapısını ve uygulama sürecini açıklayan birincil düzenlemeler ile resmî belgeler, akademik inceleme kümesinden ayrı tutularak düzenleyici bağlamın oluşturulmasında tamamlayıcı kaynaklar olarak kullanılmıştır. Seçilen akademik çalışmalar karşılaştırmalı biçimde incelenerek greenwashing'in kavramsal gelişimi ve uygulama biçimleri, çevresel söylem-karbon performansı uyumu, SKDM'nin ölçüm-raporlama-doğrulama işlevi, algılanan greenwashing ve paydaş güveni ile kurumsal marka itibarı olmak üzere beş tema altında sınıflandırılmıştır. Temalar arasındaki ilişkiler araştırma sorusu doğrultusunda yorumlayıcı sentez yoluyla çözümlenmiştir. Akademik literatürde ortaya konulan kavramsal ilişkiler ile resmî belgelerin tanımladığı düzenleyici yapı birlikte ele alınmış; doğrulamanın çevresel söylem ile karbon performansı arasındaki uyumu destekleyebilmesi veya mevcut uyumsuzluğu görünür hâle getirebilmesi ihtimalleri dikkate alınarak araştırma soruları ve kavramsal model geliştirilmiştir.

GREENWASHİNG KAVRAMI VE SÖYLEM-PERFORMANS UYUMSUZLUĞU

Çevresel sürdürülebilirlik konusundaki paydaş beklentilerinin artması, işletmelerin çevresel performanslarına ilişkin iletişim faaliyetlerini önemli ölçüde artırmıştır. Sürdürülebilirlik, düşük karbonlu üretim, çevre dostu ürünler ve net sıfır emisyon hedefleri gibi kavramlar kurumsal iletişimin yaygın unsurları hâline gelmiştir. Ancak çevresel söylemlerin yaygınlaşması, söz konusu söylemlerin işletmelerin gerçek performansını ne ölçüde yansıttığı konusundaki tartışmaları da beraberinde getirmiştir. Greenwashing kavramı tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Greenwashing genel olarak işletmelerin çevresel performanslarını gerçekte olduğundan daha olumlu gösterecek veya çevresel etkilerine ilişkin eksik, seçici ya da yanıltıcı bilgi sunacak biçimde iletişim kurmaları olarak tanımlanmaktadır (Laufer, 2003; Delmas & Burbano, 2011; Seele & Gatti, 2017). Literatürde yer alan güncel çalışmalar, greenwashing'in yalnızca yanıltıcı reklam faaliyetlerinden ibaret olmadığını, aynı zamanda kurumsal yönetişim, sürdürülebilirlik raporlaması, veri yönetimi ve bilgi açıklama süreçleriyle ilişkili çok boyutlu bir olgu olduğunu göstermektedir (Lyon & Montgomery, 2015; Forliano vd., 2025). Greenwashing tartışmalarının temelinde çevresel söylem ile çevresel performans arasındaki uyumsuzluk yer almaktadır. İşletmeler tarafından kamuoyuna aktarılan çevresel iddiaların somut performans göstergeleriyle yeterince desteklenmemesi, çevresel iletişimin güvenilirliğini zayıflatabilmektedir. Özellikle sürdürülebilir üretim, çevre dostu ürün, düşük karbonlu faaliyet veya iklim nötrlüğü gibi ifadelerin kapsamı açık biçimde tanımlanmadığında paydaşların işletmenin gerçek çevresel performansını değerlendirmesi güçleşebilmektedir. Literatürde greenwashing çoğu zaman performans eksikliğinden ziyade performansın nasıl temsil edildiğiyle ilişkilendirilmektedir (Lyon & Montgomery, 2015).

İlgili uyumsuzluk farklı biçimlerde ortaya çıkabilmektedir. En yaygın örneklerden biri, işletmelerin çevresel açıdan olumlu sonuçlar doğuran belirli faaliyetlerini öne çıkarırken diğer çevresel etkilerini geri planda bırakmalarıdır. Seçici bilgi açıklaması olarak değerlendirilen yaklaşımda sunulan bilgiler teknik olarak doğru olsa bile ortaya çıkan genel algı yanıltıcı olabilmektedir. Benzer şekilde çevresel performansa ilişkin belirsiz kavramların kullanılması veya çevresel iddiaların ölçülebilir göstergelerle desteklenmemesi de greenwashing riskini artırabilmektedir. Son yıllarda literatürde dikkat çeken bir diğer eğilim ise geleceğe yönelik çevresel vaatlerdir. Net sıfır emisyon, karbon nötrlüğü veya iklim pozitif işletme hedefleri gibi uzun vadeli taahhütlerin mevcut performansın önüne geçirilmesi, "future-washing" olarak adlandırılan yeni bir risk alanı ortaya çıkarmıştır. Geleceğe ilişkin hedeflerin açıklanması tek başına bir sorun oluşturmamakla birlikte, hedeflere ulaşılmasını sağlayacak yol haritalarının ve performans göstergelerinin yeterince açıklanmaması paydaşlar açısından yanlış değerlendirmelere yol açabilmektedir (Montgomery vd., 2023). Literatürde tartışılan bir başka kavram

ise brownwashing'dir. Brownwashing, işletmelerin çevresel alanda gerçekleştirdikleri olumlu uygulamaları yeterince açıklamamaları veya çevresel performanslarını olduğundan düşük göstermeleri şeklinde ortaya çıkmaktadır. İlgili yaklaşım, aşırı çevresel iletişim kadar yetersiz çevresel iletişimin de işletmeler açısından stratejik sonuçlar doğurabileceğine işaret etmektedir (Testa vd., 2018). Çevresel performansın ölçülmesi ve raporlanmasına yönelik düzenlemelerin yaygınlaşmasıyla birlikte greenwashing tartışmaları yeni boyutlar kazanmaktadır. Özellikle karbon emisyonlarının görünürlüğünün artması, işletmelerin doğrulanabilir karbon performanslarını öne çıkarmalarına imkân sağlamaktadır. Yalnızca karbon performansına odaklanılması, su kullanımı, atık yönetimi, biyolojik çeşitlilik veya sosyal sürdürülebilirlik gibi diğer alanların geri planda kalmasına neden olabilmektedir. Böyle bir eğilim, çevresel performansın belirli bir bölümünün öne çıkarıldığı ve diğer boyutlarının yeterince dikkate alınmadığı yeni greenwashing risklerinin ortaya çıkmasına zemin hazırlayabilmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde greenwashing, yalnızca iletişim kaynaklı bir sorun olarak görülmemelidir. Çevresel performansın ölçülmesi, veri kalitesi, bilgi açıklama düzeyi ve doğrulama süreçleriyle yakından ilişkili olan greenwashing, paydaşların işletmelere yönelik güvenini etkileyebilen önemli bir yönetim ve itibar riski niteliği taşımaktadır. İlgili nedenle çevresel iletişimin değerlendirilmesinde yalnızca çevresel söylemlere değil, söylemleri destekleyen performans göstergelerine ve doğrulama mekanizmalarına da odaklanılması gerekmektedir.

GREENWASHİNG VE KURUMSAL MARKA İTİBARI

Kurumsal marka itibarı, paydaşların işletmenin güvenilirliği, yetkinliği, sorumluluğu ve gelecekteki davranışlarına ilişkin genel değerlendirmelerini ifade etmektedir. Geleneksel olarak ürün kalitesi, finansal performans ve müşteri memnuniyeti gibi unsurlarla ilişkilendirilen kurumsal itibar, sürdürülebilirlik ve çevresel performans konularının önem kazanmasıyla birlikte farklı bir boyut kazanmıştır. Günümüzde yatırımcılar, müşteriler, çalışanlar ve düzenleyici kurumlar işletmeleri yalnızca ekonomik başarılarına göre değil, çevresel ve sosyal sorumluluklarına göre de değerlendirmektedir (Walker & Wan, 2012; Santos vd., 2023). Çevresel sürdürülebilirlik alanındaki gelişmeler, işletmelerin çevresel performanslarını kurumsal marka değerinin önemli bileşenlerinden biri olarak kullanmalarına yol açmıştır. Çevresel etkilerin azaltılmasına yönelik uygulamalar, düşük karbonlu üretim sistemleri ve sürdürülebilirlik yatırımları, paydaşlar tarafından olumlu değerlendirilebilecek unsurlar arasında yer almaktadır. Ancak çevresel iletişim ile gerçek performans arasında ortaya çıkan uyumsuzluklar, beklenen olumlu etkilerin tersine dönmesine neden olabilmektedir. Greenwashing tartışmalarının kurumsal itibarla ilişkilendirilmesinin temel nedeni de çevresel söylemler ile fiili uygulamalar arasındaki tutarsızlıkların güven kaybı yaratabilme potansiyelidir. Literatürde yer alan araştırmalar, greenwashing algısının paydaşların işletmelere yönelik değerlendirmelerini olumsuz etkileyebildiğini göstermektedir. Paydaşların çevresel iddiaların doğruluğuna ilişkin şüphe duymaları, yalnızca çevresel açıklamanın değil, işletmenin genel güvenilirliğinin de sorgulanmasına yol açabilmektedir. Özellikle çevresel performansın yüksek düzeyde vurgulandığı durumlarda ortaya çıkan söylem-performans uyumsuzluklarının, kurumsal itibar üzerindeki olumsuz etkilerinin daha belirgin hâle gelebildiği belirtilmektedir (Walker & Wan, 2012; Fu vd., 2025).

Greenwashing algısının etkileri yalnızca tüketicilerle sınırlı değildir. Yatırımcılar açısından çevresel performansa ilişkin yanıltıcı veya eksik bilgi açıklamaları işletmenin sürdürülebilirlik risklerinin yanlış değerlendirilmesine neden olabilmektedir. Çalışanlar açısından kurumsal değerler ile uygulamalar arasındaki tutarsızlıklar örgütsel bağlılığı olumsuz etkileyebilmektedir. Tedarikçiler ve iş ortakları açısından ise çevresel performansa ilişkin belirsizliklerin ilişki maliyetlerini artırabileceği değerlendirilmektedir. Dolayısıyla greenwashing riski, farklı paydaş gruplarını etkileyebilen çok yönlü bir itibar riski niteliği taşımaktadır (Santos vd., 2023). Araştırmalar, çevresel performans kadar çevresel performansın nasıl açıklandığının da önem taşıdığını göstermektedir. Bilgi açıklama kalitesi, şeffaflık düzeyi ve doğrulanabilirlik unsurlarının paydaşların değerlendirmelerini etkileyebildiği ifade edilmektedir. Çevresel performansa ilişkin bilgilerin açık, tutarlı ve doğrulanabilir biçimde sunulmasının güven oluşumuna katkı sağlayabileceği; eksik veya belirsiz iletişimin ise greenwashing algısını güçlendirebileceği değerlendirilmektedir (Fu vd., 2025; Free vd., 2024).

İlgili değerlendirmeler birlikte ele alındığında, kurumsal marka itibarının çevresel söylemlerin yoğunluğundan çok çevresel performansın güvenilirliğiyle ilişkili olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle paydaşlar açısından belirleyici unsur, işletmelerin sürdürülebilirlik hakkında ne kadar konuştuğundan ziyade söz konusu açıklamaların hangi performans göstergeleriyle desteklendiğidir. Çevresel performansın ölçülmesi, raporlanması ve doğrulanmasına yönelik mekanizmaların önem kazanmasının temel nedenlerinden biri de güven ihtiyacıdır. Kurumsal itibar ile greenwashing arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılabilmesi için çevresel performansın nasıl ölçüldüğü, nasıl raporlandığı ve hangi mekanizmalar aracılığıyla doğrulandığının incelenmesi gerekmektedir. İlgili noktada SKDM kapsamında ortaya çıkan ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçleri, çevresel performansın güvenilirliği ve greenwashing riski arasındaki ilişkiyi değerlendirmek açısından dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır.

SKDM VE DOĞRULANABİLİR ÇEVRESEL PERFORMANS

Avrupa Birliği tarafından uygulamaya konulan Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (SKDM), karbon kaçağı riskinin azaltılması ve karbon maliyetlerinin uluslararası ticaret süreçlerine daha etkin biçimde yansıtılması amacıyla geliştirilmiştir. Mekanizma kapsamında belirli sektörlerde faaliyet gösteren işletmelerden ürün bazında gömülü karbon emisyonlarını ölçmeleri, raporlamaları ve düzenlemelere uygun şekilde beyan etmeleri beklenmektedir. İlgili yaklaşım, çevresel performansın yalnızca gönüllü sürdürülebilirlik açıklamalarına dayalı olarak değerlendirilmesi yerine ölçülebilir göstergeler aracılığıyla ortaya konulmasını teşvik etmektedir (Durán, 2021; Shin & An, 2024; Vriz vd., 2026). SKDM'nin greenwashing literatürü açısından önem taşıyan yönü, çevresel performansın görünürlüğünü artırabilecek bir veri ve raporlama altyapısını teşvik etmesidir. Geleneksel sürdürülebilirlik iletişiminde işletmelerin çevresel iddialarını hangi performans göstergelerine dayandırdığı her zaman açık biçimde görülemeyebilmektedir. SKDM kapsamında ise ürün ve tesis düzeyinde emisyon verilerinin hesaplanması, kayıt altına alınması ve raporlanması gerekmektedir. Böylece çevresel performansın daha sistematik biçimde izlenmesine yönelik bir yapı ortaya çıkmaktadır. Karbon yoğunluğu, enerji kullanımı ve gömülü emisyon düzeyi gibi göstergeler, çevresel performansın somut veriler üzerinden değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek unsurlar arasında yer almaktadır. Ölçüm ve raporlama süreçlerinin standartlaşması, çevresel performansa ilişkin bilgilerin farklı işletmeler arasında daha karşılaştırılabilir hâle gelmesine de yardımcı olabilmektedir. Ortak metodolojilerin kullanılması, çevresel performansın değerlendirilmesinde ortaya çıkabilecek belirsizlikleri azaltabilir ve paydaşların karar alma süreçlerini kolaylaştırabilir. Literatürde çevresel bilgilerin standartlaştırılmış yöntemlerle raporlanmasının bilgi asimetrisinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği ve açıklanan bilgilerin güvenilirliğini artırabileceği belirtilmektedir (Durán, 2021; Erdoğdu, 2025).

Çevresel performansın doğrulanabilirliği, greenwashing tartışmalarında kritik öneme sahip bir diğer boyutu oluşturmaktadır. Greenwashing ile ilgili çalışmaların önemli bir kısmı, çevresel iddiaların doğruluğunun paydaşlar tarafından çoğu zaman bağımsız şekilde değerlendirilememesine dikkat çekmektedir. Ölçüm sonuçlarının belirli standartlar çerçevesinde raporlanması ve doğrulama süreçlerinden geçirilmesi, çevresel açıklamaların güvenilirliğini destekleyebilecek mekanizmalar arasında görülmektedir. Sürdürülebilirlik güvencesi ve bağımsız doğrulama uygulamalarına ilişkin araştırmalar da doğrulanmış çevresel bilgilerin paydaşlar tarafından daha güvenilir algılanabildiğini ortaya koymaktadır (Free vd., 2024). SKDM'nin greenwashing sorununu tek başına çözebileceğini ileri sürmek güçtür. Mekanizma, öncelikli olarak karbon emisyonlarına odaklanmaktadır. Oysa sürdürülebilirlik performansı yalnızca karbon göstergelerinden oluşmamaktadır. Su kullanımı, atık yönetimi, kaynak verimliliği, biyolojik çeşitlilik ve sosyal sürdürülebilirlik gibi alanlar da işletmelerin genel sürdürülebilirlik performansının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Karbon verilerinin daha görünür hâle gelmesi olumlu bir gelişme olmakla birlikte, diğer performans alanlarının ikinci planda kalabilmesi yeni tartışmaları beraberinde getirebilmektedir.

Literatürde çevresel performans ölçümü ve raporlaması üzerine yapılan çalışmalar, belirli sürdürülebilirlik göstergelerinin öne çıkarılıp diğerlerinin gizlenmesinin (seçici bilgi açıklaması) greenwashing pratiklerine zemin hazırlayabileceğini göstermektedir (Marquis vd., 2016; Janik ve Ryszko, 2025). Karbon performansının güçlü olduğu alanların vurgulanmasına karşın diğer çevresel

etkilerin sınırlı biçimde açıklanması, çevresel performansın bütüncül değerlendirilmesini zorlaştırabilmektedir. İlgili risk, araştırma kapsamında karbon merkezli greenwashing olasılığıyla ilişkilendirilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde SKDM, greenwashing'i doğrudan önleyen bir düzenleme olarak değil, çevresel performansın ölçülmesi, raporlanması ve doğrulanmasına yönelik kurumsal süreçleri güçlendirebilecek bir mekanizma olarak ele alınabilir. Ölçülebilir ve doğrulanabilir çevresel performans göstergelerinin yaygınlaşması, çevresel söylem ile fiili performans arasındaki ilişkinin daha görünür hâle gelmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca ortaya çıkabilecek etkinin büyüklüğü; veri kalitesi, bilgi açıklama düzeyi, kurumsal yönetişim uygulamaları ve iletişim stratejileri gibi faktörlere bağlı olarak farklılaşabilmektedir (Montgomery vd., 2023; Erdoğdu, 2025).

Literatürde yer alan değerlendirmeler birlikte ele alındığında, çevresel performansın yalnızca ölçülmesinin yeterli olmadığı, söz konusu performansın paydaşlar tarafından güvenilir bulunabilecek şekilde açıklanmasının da önemli olduğu görülmektedir. İlgili nedenle SKDM, doğrulanabilir çevresel performansın geliştirilmesine katkı sağlayabilecek bir düzenleyici çerçeve olarak değerlendirilebilir. Greenwashing riski, paydaş güveni ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkilerin daha sistematik biçimde açıklanabilmesi amacıyla bir sonraki bölümde önerilen kavramsal model ele alınmaktadır.

GREENWASHING RİSKİ, DOĞRULANABİLİR ÇEVRESEL PERFORMANS VE KURUMSAL MARKA İTİBARI: KAVRAMSAL MODEL

Greenwashing literatüründe çevresel iletişim ile çevresel performans arasındaki uyumsuzluk temel tartışma alanlarından birini oluşturmaktadır. Buna karşılık sürdürülebilirlik alanındaki güncel düzenlemeler, çevresel performansın yalnızca iletişim faaliyetleri üzerinden değil, ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçleri üzerinden de değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Özellikle SKDM kapsamında ortaya çıkan yükümlülükler, çevresel performansın daha sistematik biçimde izlenmesine ve kayıt altına alınmasına katkı sağlayabilecek bir yapı ortaya koymaktadır. Literatürde çevresel performansın görünürlüğünün artmasının greenwashing riskini otomatik olarak ortadan kaldırdığı yönünde kesin bir görüş bulunmamakta, ölçülebilir, doğrulanabilir ve karşılaştırılabilir çevresel verilerin yaygınlaşmasının, çevresel söylemler ile fiili performans arasındaki ilişkinin daha şeffaf biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabileceği belirtilmektedir. İlgili durum, çevresel performansın yalnızca yönetimsel bir gösterge değil, aynı zamanda kurumsal güven ve itibarla ilişkilendirilebilecek stratejik bir unsur olarak değerlendirilmesine imkân vermektedir.

Araştırma kapsamında geliştirilen kavramsal model, SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin doğrudan değil, çeşitli ara süreçler üzerinden şekillendiği varsayımına dayanmaktadır. Modelde SKDM uyum düzeyi başlangıç değişkeni olarak ele alınmaktadır. Ölçüm, raporlama ve doğrulama gereklilikleri, işletmeleri çevresel performans verilerini daha sistematik biçimde üretmeye yönlendirebilmektedir. Veri üretim süreçlerinin gelişmesi ise doğrulanabilir çevresel performansın ortaya çıkmasına katkı sağlayabilmektedir. Doğrulanabilir çevresel performansın tek başına yeterli olmadığı düşünülmektedir. Üretilen bilgilerin paydaşlara nasıl aktarıldığının da önem taşıması nedeniyle model içerisinde bilgi açıklama kalitesi kritik bir ara değişken olarak değerlendirilmektedir. Çevresel performansın açık, tutarlı, anlaşılabilir ve doğrulanabilir şekilde paylaşılması, çevresel iddiaların güvenilirliğini artırabilecek unsurlar arasında yer almaktadır.

Bilgi açıklama kalitesindeki artışın greenwashing riskinin azaltılmasına katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Çevresel performans göstergeleri ile çevresel iletişim arasındaki uyum güçlendikçe, paydaşların yanıltıcı veya abartılı çevresel iddialara ilişkin algılarının azalabileceği öngörülmektedir. Greenwashing riskindeki azalmanın ise paydaş güvenini destekleyebileceği düşünülmektedir. Kurumsal marka itibarı üzerindeki etkilerin de büyük ölçüde paydaş güveni aracılığıyla ortaya çıkabileceği değerlendirilmektedir.

Araştırma kapsamında önerilen kavramsal model Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1. SKDM Bağlamında Greenwashing Riski ve Kurumsal Marka İtibarı Arasındaki İlişkiye Yönelik Kavramsal Model

Şekil 1, SKDM uyum düzeyinden başlayan ve kurumsal marka itibarına uzanan süreçte doğrulanabilir çevresel performans, bilgi açıklama kalitesi, greenwashing riski ve paydaş güveni arasındaki ilişkileri göstermektedir.

Önerilen model, çevresel performansın kurumsal marka itibarına doğrudan yansımadığı; ilgili ilişkinin veri kalitesi, doğrulanabilirlik, bilgi açıklama süreçleri ve paydaş güveni gibi ara mekanizmalar tarafından şekillendiği varsayımına dayanmaktadır. Aynı zamanda model, greenwashing riskinin yalnızca iletişim faaliyetlerinden değil, ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçlerinden de etkilenebileceğini ileri sürmektedir.

Model doğrultusunda aşağıdaki araştırma soruları geliştirilmiştir:

AS1: SKDM kapsamında yürütülen ölçüm ve raporlama faaliyetleri, ürün bazlı gömülü emisyonlara ilişkin karbon performansı verilerinin sistematik biçimde üretilmesini nasıl etkilemektedir?

AS2: Karbon performansı verilerinin doğrulanabilirlik düzeyi, bilgi açıklama kalitesini nasıl etkilemektedir?

AS3: Çevresel söylem ve bilgi açıklamaları ile doğrulanmış karbon performansı arasındaki uyum veya uyumsuzluk, greenwashing algısını ve greenwashing'in tespit edilebilirliğini nasıl etkilemektedir?

AS4: Algılanan greenwashing düzeyi ile paydaş güveni arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?

AS5: Paydaş güveni, kurumsal marka itibarını nasıl etkilemektedir?

AS6: SKDM'nin ölçüm, raporlama ve doğrulama gereklilikleri ile greenwashing algısı ve tespit edilebilirliği arasındaki ilişki; veri kalitesi, doğrulama düzeyi ve bilgi açıklama uygulamalarına bağlı olarak nasıl farklılaşmaktadır?

Literatürde yer alan değerlendirmeler birlikte ele alındığında, çevresel performansın doğrulanabilir hâle gelmesinin greenwashing riskinin azaltılması açısından önemli fırsatlar sunabileceği görülmektedir. Ortaya çıkabilecek sonuçların işletmelerin uygulamalarına, veri yönetimi kapasitelerine ve iletişim stratejilerine bağlı olarak değişebileceği de dikkate alınmalı, önerilen model, kesin nedensel ilişkilerden ziyade açıklayıcı bir kavramsal çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

TÜRKİYE AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Avrupa Birliği, Türkiye'nin en önemli ihracat pazarlarından biri konumundadır. Özellikle demir-çelik, çimento, alüminyum, gübre ve enerji yoğun üretim gerçekleştiren sektörlerin Avrupa Birliği ile olan ticari ilişkileri dikkate alındığında, SKDM kapsamında ortaya çıkan yükümlülüklerin Türk işletmeleri açısından önemli sonuçlar doğurabileceği değerlendirilmektedir. Karbon emisyonlarına ilişkin ölçüm, raporlama ve doğrulama gereklilikleri, çevresel performansın yalnızca sürdürülebilirlik politikalarının değil, aynı zamanda ihracat stratejilerinin de önemli bir unsuru hâline gelmesine yol açmaktadır. Türkiye üzerine gerçekleştirilen araştırmalar, SKDM'nin sektörler üzerindeki etkilerinin farklılaşabileceğine

işaret etmektedir. Teknoloji düzeyi, enerji kaynaklarının yapısı, karbon yoğunluğu ve ihracat bağımlılığı gibi faktörler, işletmelerin uyum süreçlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Özellikle karbon yoğun üretim yapan sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler açısından emisyon verilerinin güvenilir biçimde üretilmesi ve yönetilmesi rekabet gücü bakımından önem kazanmaktadır (Çimen, 2024; Akkaya, 2024). Greenwashing perspektifinden bakıldığında ise temel mesele yalnızca çevresel performansın iyileştirilmesi değildir. Çevresel performansın güvenilir biçimde ölçülmesi, doğrulanması ve paydaşlara tutarlı şekilde aktarılması da önem taşımaktadır. Avrupa Birliği pazarında faaliyet gösteren işletmeler açısından çevresel iddiaların doğrulanabilir verilerle desteklenmemesi, ticari risklerin yanı sıra kurumsal güven ve marka itibarı açısından da olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle ihracat ilişkilerinin uzun dönemli iş birliklerine dayandığı sektörlerde çevresel performansın güvenilirliği stratejik önem taşımaktadır. Türkiye'deki birçok işletme açısından değerlendirildiğinde, SKDM uyum sürecinin aynı zamanda bir veri yönetimi ve kurumsal kapasite geliştirme süreci olduğu görülmektedir. Emisyon ölçüm sistemlerinin kurulması, ürün bazlı karbon hesaplamalarının yapılması, tedarik zincirinden veri toplanması ve raporlama süreçlerinin standardize edilmesi önemli kurumsal yatırımlar gerektirmektedir. Büyük ölçekli işletmeler söz konusu dönüşüme daha hızlı uyum sağlayabilme potansiyeline sahip görünürken, küçük ve orta ölçekli işletmeler açısından teknik ve finansal kısıtlar daha belirgin hâle gelebilmektedir (Erdoğdu, 2025; Polat, 2025).

İhracatçı işletmeler açısından çevresel performansın güvenilirliği giderek daha görünür bir rekabet unsuru hâline gelmektedir. İlgili nedenle çevresel iletişimin yalnızca pazarlama ve halkla ilişkiler faaliyetleri kapsamında değerlendirilmemesi gerekmektedir. Çevresel iddiaların; sürdürülebilirlik, üretim, muhasebe, dış ticaret ve üst yönetim süreçleriyle bütünleşik şekilde ele alınması daha sağlıklı sonuçlar ortaya koyabilir. Ölçülebilir ve doğrulanabilir performans göstergelerine dayanmayan çevresel iletişim faaliyetlerinin ise greenwashing riskini artırabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Genel değerlendirme, Türkiye açısından SKDM'nin yalnızca düzenleyici bir yükümlülük olarak görülmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Ölçüm, raporlama ve doğrulama altyapısının geliştirilmesi; çevresel performansın daha güvenilir biçimde yönetilmesine, greenwashing riskinin azaltılmasına ve kurumsal marka itibarının desteklenmesine katkı sağlayabilecek unsurlar arasında değerlendirilebilir. Ancak ortaya çıkabilecek sonuçların sektörler, işletme ölçekleri ve kurumsal kapasite düzeyleri bakımından farklılaşabileceği de dikkate alınmalıdır.

TARTIŞMA

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen değerlendirmeler, greenwashing olgusunun yalnızca çevresel iletişim faaliyetleri çerçevesinde açıklanmasının yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Literatürde greenwashing çoğu zaman yanıltıcı çevresel iddialar veya pazarlama uygulamaları üzerinden tartışılsa da çevresel performansın nasıl ölçüldüğü, nasıl raporlandığı ve hangi mekanizmalar aracılığıyla doğrulandığı gibi unsurların da söz konusu olgunun anlaşılmasında önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Özellikle sürdürülebilirlik performansına ilişkin beklentilerin artması, çevresel söylemler kadar çevresel performansı destekleyen verilerin güvenilirliğini de ön plana çıkarmaktadır. Araştırmada önerilen kavramsal model, greenwashing riskinin yalnızca iletişim faaliyetlerinden kaynaklanmadığını, aynı zamanda veri kalitesi, doğrulanabilirlik ve bilgi açıklama uygulamalarıyla da ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Çevresel performansa ilişkin ölçülebilir ve doğrulanabilir verilerin artması, çevresel iletişim ile fiili performans arasındaki ilişkinin daha görünür hâle gelmesine katkı sağlayabilmektedir. İlgili gelişmenin tek başına greenwashing riskini ortadan kaldıracağı yönünde bir değerlendirme yapmak mümkün görünmemektedir. Çevresel performansın nasıl yorumlandığı ve nasıl sunulduğu, ortaya çıkabilecek sonuçlar üzerinde belirleyici olmaya devam etmektedir.

SKDM'nin önem taşıyan yönlerinden biri, çevresel performansın daha sistematik biçimde ölçülmesini ve raporlanmasını teşvik etmesidir. Ölçüm ve doğrulama süreçlerinin yaygınlaşması, çevresel iddiaların somut performans göstergeleriyle ilişkilendirilebilmesine katkı sağlayabilir. Ancak mekanizmanın çevresel iletişimin tüm boyutlarını kapsadığı söylenemez. Karbon emisyonlarına ilişkin verilerin daha görünür hâle gelmesi, çevresel performansın belirli bir kısmının daha ayrıntılı değerlendirilmesini mümkün kılarken, sürdürülebilirliğin diğer boyutlarının ikinci planda kalması ihtimali de bulunmaktadır. Araştırma kapsamında dikkat çekilen konulardan biri de karbon merkezli greenwashing olasılığıdır. Literatürde sınırlı düzeyde ele alınan söz konusu risk, sürdürülebilirlik performansının

yalnızca karbon göstergeleri üzerinden değerlendirilmesinin yol açabileceği yeni bir seçici açıklama biçimi olarak değerlendirilebilir. Karbon emisyonlarına ilişkin doğrulanmış verilerin ön plana çıkması, işletmeler açısından önemli bir avantaj yaratabilir. Yalnızca karbon performansına odaklanılması; su kullanımı, atık yönetimi, kaynak verimliliği, biyolojik çeşitlilik veya sosyal sürdürülebilirlik gibi alanların görece geri planda kalmasına neden olabilir. Böyle bir durumda paydaşlar işletmenin genel sürdürülebilirlik performansı hakkında eksik bir değerlendirme yapabilir. Dolayısıyla gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda çevresel performansın farklı boyutları arasındaki ilişkinin daha ayrıntılı biçimde incelenmesi yararlı olabilir.

Kurumsal marka itibarı açısından değerlendirildiğinde, çevresel performansın güvenilir biçimde açıklanmasının giderek daha önemli hâle geldiği görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar, paydaşların yalnızca çevresel hedeflerle değil, söz konusu hedefleri destekleyen performans göstergeleriyle de ilgilendiğini ortaya koymaktadır. İlgili nedenle çevresel iletişimde güvenilirliğin temel kaynağı çevresel söylemlerin yoğunluğu değil, çevresel performansın doğrulanabilirliği olarak değerlendirilebilir. Paydaş güveninin oluşumunda bilgi açıklama kalitesinin üstlendiği rol de aynı perspektiften önem taşımaktadır. Türkiye açısından bakıldığında, SKDM ile birlikte çevresel performansın dış ticaret süreçlerinde daha görünür hâle gelmesinin işletmeleri veri kalitesi ve raporlama altyapılarını geliştirmeye yönlendirebileceği düşünülmektedir. Ancak işletmeler arasında finansal kaynaklar, teknik kapasite ve kurumsal deneyim bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. İlgili farklılıkların greenwashing riski, çevresel performans yönetimi ve kurumsal itibar üzerindeki etkilerinin gelecekte daha ayrıntılı biçimde incelenmesi yararlı olabilir.

Genel değerlendirme, çevresel performansın doğrulanabilir hâle gelmesinin greenwashing riskinin azaltılması açısından önemli fırsatlar sunduğuna işaret etmektedir. Ortaya çıkabilecek sonuçların işletmelerin veri yönetimi uygulamaları, bilgi açıklama tercihleri ve kurumsal kapasitelerine bağlı olarak değişebileceği de dikkate alınmalıdır. Dolayısıyla çevresel performansın ölçülmesi kadar, ilgili performansın nasıl açıklandığı ve paydaşlar tarafından nasıl algılandığı da önemini korumaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada greenwashing, SKDM ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişki kavramsal bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. Literatür incelemesinden elde edilen bulgular, çevresel sürdürülebilirliğin günümüzde yalnızca çevresel bir sorumluluk alanı olmaktan çıkarak işletmeler açısından stratejik önem taşıyan bir yönetim konusu hâline geldiğini göstermektedir. Artan paydaş beklentileri ve düzenleyici uygulamalar, çevresel performansın daha görünür, ölçülebilir ve doğrulanabilir biçimde yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Araştırma sonuçları, greenwashing tartışmalarının merkezinde çevresel söylem ile çevresel performans arasındaki uyumsuzluğun yer aldığını göstermektedir. Çevresel performansa ilişkin eksik, seçici veya doğrulanmamış açıklamalar, paydaş güveninin zayıflamasına ve kurumsal marka itibarı açısından risklerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Buna karşılık çevresel performansın ölçülebilir göstergeler aracılığıyla ortaya konulması ve gerekli bilgilerin şeffaf biçimde paylaşılması, çevresel iletişimin güvenilirliğini destekleyebilecek unsurlar arasında değerlendirilmektedir. Araştırmada geliştirilen kavramsal model, SKDM ile kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkinin doğrulanabilir çevresel performans, bilgi açıklama kalitesi, greenwashing riski ve paydaş güveni gibi ara mekanizmalar üzerinden şekillenebileceğini ileri sürmektedir. İlgili yaklaşım, çevresel performansın kurumsal itibar üzerindeki etkilerinin doğrudan ve otomatik bir süreçten ziyade çok boyutlu ilişkiler ağı içerisinde değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Literatüre yönelik en önemli katkının, greenwashing olgusunun yalnızca pazarlama iletişimi perspektifinden değil, ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçleri çerçevesinde ele alınması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca SKDM'nin yalnızca bir dış ticaret düzenlemesi olarak değil, çevresel performansın görünürlüğünü artırabilecek bir yönetişim mekanizması olarak değerlendirilmesi de araştırmanın katkıları arasında yer almaktadır. Yönetimsel açıdan değerlendirildiğinde işletmelerin çevresel iletişim faaliyetlerini performans verilerinden bağımsız biçimde ele almamaları önem taşımaktadır. Çevresel iddiaların ölçülebilir göstergelerle desteklenmesi, veri üretim süreçlerinin güçlendirilmesi ve bilgi açıklama kalitesinin geliştirilmesi, greenwashing riskinin azaltılmasına katkı sağlayabilecek uygulamalar arasında değerlendirilebilir. Aynı zamanda çevresel performansın yalnızca karbon emisyonları üzerinden değil, daha geniş bir sürdürülebilirlik perspektifi içerisinde ele alınması

yararlı olacaktır. Gelecek araştırmalar açısından önerilen kavramsal modelin ampirik çalışmalar aracılığıyla test edilmesi önem taşımaktadır. Özellikle SKDM kapsamındaki sektörlerde faaliyet gösteren işletmeler üzerinde gerçekleştirilecek nicel ve nitel araştırmalar, doğrulanabilir çevresel performans, greenwashing riski, paydaş güveni ve kurumsal marka itibarı arasındaki ilişkilerin daha ayrıntılı biçimde açıklanmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca karbon merkezli greenwashing olasılığına ilişkin çalışmaların artırılması, sürdürülebilirlik literatürü açısından yeni araştırma alanları oluşturabilir. Sonuç olarak çevresel performansın görünürlüğünün artması, işletmeler açısından yeni fırsatlar ve yeni sorumluluklar ortaya çıkarmaktadır. Greenwashing riskinin azaltılmasında çevresel söylemlerin yoğunluğundan çok, gerekli söylemleri destekleyen performans verilerinin güvenilirliği önem taşımaktadır. Ölçüm, raporlama ve doğrulama süreçlerinin gelişmesi söz konusu amaca katkı sağlayabilecek bir zemin oluşturmakla birlikte, ortaya çıkabilecek sonuçların büyük ölçüde işletmelerin uygulamalarına ve kurumsal kapasitelerine bağlı olduğu değerlendirilmektedir. Ortaya çıkan sürdürülebilir rekabet avantajı ve kurumsal marka itibarı açısından belirleyici unsurun, çevresel performansa ilişkin iddiaların sayısından çok, ne ölçüde doğrulanabilir olduğunda yattığı söylenebilir.

KAYNAKÇA

Akkaya, Ş. (2024). The European Union's border carbon tax regulation and its possible effects on Turkey's exports in the short term. In Advances in Business Strategy and Competitive Advantage Book Series (pp. 29-43). IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-1297-1.ch003

Çimen, Z. A. (2024). Sınırda karbon düzenlemesi ve seçilmiş sektörlerde Türkiye'nin küresel rekabet gücü. Politik Ekonomik Kuram, 8(1), 1-17. https://doi.org/10.30586/pek.1378742

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. California Management Review, 54(1), 64-87. https://doi.org/10.1525/cmr.2011.54.1.64

Durán, G. M. (2021). EU Carbon Border Adjustment Mechanism: Key issues going forward. European Foreign Affairs Review, 26(Special Issue), 499-506. https://doi.org/10.54648/EERR2021039

Erdoğdu, E. (2025). The Carbon Border Adjustment Mechanism: Opportunities and challenges for non-EU countries. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 14(1), e70000. https://doi.org/10.1002/wene.70000

Forliano, C., Battisti, E., Bernardi, P. D., & Klieštik, T. (2025). Mapping the greenwashing research landscape: A theoretical and field analysis. Review of Managerial Science, 19(11), 3407-3456. https://doi.org/10.1007/s11846-025-00856-3

Free, C., Jones, S., & Tremblay, M. (2024). Greenwashing and sustainability assurance: A review and call for future research. Journal of Accounting Literature, 47(4), 739-764. https://doi.org/10.1108/JAL-11-2023-0201

Fu, Y., Wang, S., Wang, S., Chen, S., & Jiang, B. (2025). The green fog: The negative fallout of greenwashing on corporate reputation. Social Responsibility Journal, 21(10), 2217-2232. https://doi.org/10.1108/SRJ-02-2025-0128

Ioannou, I., Kassinis, G. I., & Papagiannakis, G. (2022). The impact of perceived greenwashing on customer satisfaction and the contingent role of capability reputation. Journal of Business Ethics, 185(2), 333-347. https://doi.org/10.1007/s10551-022-05151-9

Janik, A., & Ryszko, A. (2025). Greenwashing in Sustainability Reporting: A Systematic Literature Review of Strategic Typologies and Content-Analysis-Based Measurement Approaches. *Sustainability*, 18(1), 17. https://doi.org/10.3390/su18010017

Laufer, W. S. (2003). Social accountability and corporate greenwashing. Journal of Business Ethics, 43(3), 253-261. https://doi.org/10.1023/A:1022962719299

Lyon, T. P., & Montgomery, A. W. (2015). The means and end of greenwash. Organization & Environment, 28(2), 223-249. https://doi.org/10.1177/1086026615575332

Marquis, C., Toffel, M. W., & Zhou, Y. (2016). Scrutiny, Norms, and Selective Disclosure: A Global Study of Greenwashing. *Organization Science*, 27(2), 483-504. https://doi.org/10.1287/orsc.2015.1039

Montgomery, A. W., Lyon, T. P., & Barg, J. (2023). No end in sight? A greenwash review and research agenda. Organization & Environment, 37(2), 221-256. https://doi.org/10.1177/10860266231168905

Polat, A. (2025). Türk ihracat ekosistemi ve sınırda karbon düzenleme mekanizması (SKDM): Sürdürülebilirlik ve ihracat üzerine düşünceler. In Türk İhracat Ekosistemi ve SKDM (pp. 391-418). TÜBA. https://doi.org/10.53478/tuba.978-625-6110-54-0.ch12

Santos, C., Coelho, A., & Marques, A. (2023). A systematic literature review on greenwashing and its relationship to stakeholders: State of the art and future research agenda. Management Review Quarterly, 74(3), 1397-1421. https://doi.org/10.1007/s11301-023-00337-5

Seele, P., & Gatti, L. (2017). Greenwashing revisited: In search of a typology and accusation-based definition. Business Strategy and the Environment, 26(2), 239-252. https://doi.org/10.1002/bse.1912

Shin, S., & An, Y. (2024). Correct understanding and action on the transitional period of EU Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 46(4), 167-174. https://doi.org/10.4491/KSEE.2024.46.4.167

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333-339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Testa, F., Miroshnychenko, I., Barontini, R., & Frey, M. (2018). Does it pay to be a greenwasher or a brownwasher? Business Strategy and the Environment, 27(7), 1104-1116. https://doi.org/10.1002/bse.2058

Vriz, G. L., Cojoianu, T., Fischer, C., & Taschini, L. (2026). Early signs that the EU Carbon Border Adjustment Mechanism is reshaping EU-India steel trade. Nature Climate Change, 16(6), 737-741. https://doi.org/10.1038/s41558-026-02607-y

Walker, K., & Wan, F. (2012). The harm of symbolic actions and greenwashing: Corporate actions and communications on environmental performance and their financial implications. Journal of Business Ethics, 109(2), 227-242. https://doi.org/10.1007/s10551-011-1122-4

UNVEILING WEBSITE FEATURES AND DIGITAL MARKETING STRATEGIES OF ONLINE FOOD DELIVERY PLATFORMS IN TURKEY: A COMPARATIVE CONTENT ANALYSIS

TÜRKİYE'DE FAALİYET GÖSTEREN ÇEVRİMİÇİ YEMEK TESLİMAT PLATFORMLARININ WEB SİTESİ ÖZELLİKLERİ VE DİJİTAL PAZARLAMA STRATEJİLERİNİN İNCELENMESİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR İÇERİK ANALİZİ

Dilek PENPECE DEMİRER
Prof. Dr., Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4493-625X

ABSTRACT
The increasing significance of online food delivery platforms globally calls for a systematic assessment of the designs of their digital interfaces and marketing strategies. In line with this, the aim of this research is to analyse the websites of online food delivery platform in Turkey in terms of digital marketing and website features. Accordingly, a qualitative research design was employed, and content analysis was conducted on the Turkey-based websites of four leading platforms namely Yemeksepeti, GetirYemek, Uber Eats Trendyol Go, and Migros Yemek. The results reveal that, despite a largely uniform technical basis undergirding these platforms in core functionalities such as search, ordering, delivery tracking and payment systems, there are significant variances in the manner of application and user experience of some features. In particular, results show that availability is not equal to efficient use, since some incision limitations affect the usability of the instruments. Moreover, the analysis shows a significant scarcity of information related to health and transparency, as none of the platforms disclose the full nutritional content or the amount of calories. Variations in terms of loyalty programs, delivery flexibility, and the adoption of new technologies are also present and these changes have an impact on users' engagement and platform branding. In general, the results suggest that, within the context of an increasingly homogenised market-based environment, the scope for differentiation is less about what basic features are offered and more about usability, personalisation and innovation.
Keywords: Online food delivery platforms; Website features; Digital marketing strategies; Content analysis.

INTRODUCTION
The development of digital technologies has facilitated a increasing penetration of everyday life and consumption practices by online platforms. The internet usage rate for age group 16-74 in Turkey was 90.9% and %55.7 of this population had purchased/ordered product online) as at 2025 (TUIK, 2025). According to the rankings of the most visited websites and the most popular types of applications in Turkey, food ordering stands out significantly by 58.2% (TİSK, 2025). The proliferation of online food delivery (ODF) platforms can be attributed to the growing sharing economy, increasing e-commerce activities, availability of third-party payment systems and tendency for home-centric consumption patterns (Chen et al., 2020). Moreover, the expansion of food delivery was further accelerated by drought caused by the coronavirus pandemic (Chokshi, 2020). Traditional commerce grew by 69.0% year-on-year in 2024, reaching 249.8 billion Turkish lira in market size. Among quick commerce categories, food held the largest market share with 66.18%, outperforming all other sectors (Ministry of Trade, 2025). Therefore, OFD has been very competitive market in Turkey.
OFD platform operators have developed an innovative technological model that enables consumers to access a wide range of local restaurants and food providers through websites and mobile applications (Chen et al. 2020). In OFD systems, restaurants collaborate with digital intermediaries that coordinate order processing and last-mile delivery services. Customers submit their orders through the platform interface, and the order information is electronically forwarded to the partnered restaurant. The platform then deploys its delivery workforce to collect and transport the order to the end consumer (Chan et al., 2025). OFD platforms offer both benefits and drawbacks for restaurants.

They can increase customer loyalty, profitability, and market reach while helping manage demand fluctuations and enhancing promotional visibility. However, platform-based ordering shifts the focus from ambiance and dining experience to price and convenience, potentially weakening the experiential value of fine dining (Panse et al., 2019). Moreover, OFD platforms typically charge commissions ranging from 15% to 30% of order revenue, leaving restaurants with only 70-85% of their usual income per item sold. Given that average profit margins in the restaurant industry are already low such commissions can substantially reduce, or even eliminate, the profitability of individual orders (Feldman et al., 2023). However, the steadily increasing global prevalence of OFD platforms and the growing consumer demand indicate that these platforms have achieved widespread adoption and market acceptance (Ahuja et al., 2021; Lie et al., 2020).

The expanding attention on OFD platforms can also be seen in the scholarly work, where a growing number of papers are focusing on various issues relating to this phenomenon. A wide range of literature emerged due to increasing attention toward OFD platforms. Prior research has explored such topics as OFD app quality (e.g., Pandey et al., 2022), update quality (e.g., Chan and Gao, 2021), performance drivers (e.g., Bivona, 2023), working conditions (e.g., Sun, 2019), intention to use (e.g., Alghamdi et al., 2023), market structure (e.g., Zhao et al., 2024; Liu and Li, 2023), consumer preferences and purchase intention (e.g., Chen et al., 2020), delivery speed (e.g., Zhang et al., 2023; Du et al., 2023), and evaluating performance (e.g., Sureeyatanapas and Damapong, 2024). Nevertheless, studies concentrating on the assessment of the websites of OFD platforms are still scarce (e.g., Pigatto et al., 2017; Sultan et al., 2025). Thus, this study aims to analyse the websites of online food delivery platform in Turkey in terms of digital marketing and website features.

LITERATURE REVIEW

OFD services are a type of digital platform, which can be accessed through websites or via smartphone applications, where customers can place orders for food items from restaurants for either pickup or delivery with the latter being served by gig workers/freelance couriers (Partridge et al., 2020). They also allow food ordering while ensuring easy access to attractive menus and customer reviews generated by peers, which improves the user experience (Bates et al., 2023). Following this line of thinking, it is necessary to demonstrate the features of OFD platform websites as these online based interfaces is the touchpoint that influence users' service expectation and evaluation. Also, given the fast growth and distinct dynamics in the market of Turkey OFD platforms, it is necessary to analyse their evolution.

Websites of food delivery platforms

In today's age of pervasive computing, intelligent devices such as smartphones and computers have become fully integrated into and indispensable to our daily routines (Al Abid and Karim, 2017). While mobile applications may serve as the dominant transactional medium, OFD platform websites continue to function as critical evaluative and trust-building environments within the broader digital food delivery ecosystem (Yeo et al., 2017). Website quality, delivery, and food quality are significant predictors of customer satisfaction in online food ordering, and customer satisfaction, in turn, positively affects future behavioural intentions (Shipman, 2019). Website design represents a critical element in digital environments, as it shapes users' initial perceptions and serves as the first point of contact between the platform and potential customers. A well-structured, visually appealing, and user-friendly webpage enhances the overall user experience, fosters trust, and increases the likelihood that visitors will transition into active consumers (Banerjee et al., 2019). When customers place food orders online, their overall evaluation of the service process is largely shaped by their interaction with the company's website and the quality attributes embedded within that digital interface (Annaraud and Berezina, 2020). Key determinants of success in online food services encompass efficient order management systems, consistent and timely delivery performance, competitive pricing strategies, intuitive and user-friendly website or mobile application interfaces, and responsive customer support. Strategic emphasis on these critical dimensions enables firms to strengthen their competitive positioning and cultivate long-term customer loyalty within the online food service sector (Dsouza and Sharma, 2021).

Therefore, in the context of e-commerce, systematically managing these factors particularly website quality and design is critically important for ensuring sustainable growth and achieving strategic differentiation in increasingly competitive digital markets.

Food delivery platforms in Turkey

There are four main actors in food ordering service sector in Turkey. Yemeksepeti is the largest online food ordering platform in Turkey. It is followed respectively by GetirYemek, Uber Eats Trendyol Go, and Migros Yemek (Kitchenest Editörü, 2025). Founded in 2001 as Turkey's first online food ordering platform, Yemeksepeti was acquired in 2015 by Delivery Hero, one of the largest global players in the sector, through what was at the time the largest internet valuation in Turkey. Today, operating across all 81 provinces of Turkey and in the Turkish Republic of Northern Cyprus, and serving more than 30 million users with thousands of employees and over 100,000 business partners, Yemeksepeti continues its operations as a leading quick commerce brand in Turkey (Yemeksepeti, 2026). Getir provides diversified services addressing different consumer needs through its retail grocery brands Getir and GetirBüyük, its marketplace-based models GetirÇarşı, GetirYemek, and GetirSu, as well as its service banking initiative GetirFinans (Getir, 2026). Entering the single-operator online food delivery market in 2019, GetirYemek currently operates across all provinces in Turkey. Since the end of its first year of operation, the platform has achieved more than tenfold growth within five years (Para Dergi, 2024). Trendyol offers services addressing diverse consumer needs through its marketplace Trendyol Pazaryeri, second-hand platform Dolap, instant delivery service Uber Eats Trendyol Go, and logistics solution Trendyol Express. Trendyol Go provides a fast, reliable, and convenient market and OFD experience, catering to customers' daily needs within minutes. The rapidly expanding delivery platform continues to grow its network of drivers, restaurants, and business partners (Trendyol, 2026). Migros provides services catering to diverse consumer needs through multiple brands, including Migros, Migros Sanal Market, Taze Direkt, and Migros Yemek. Migros Yemek, which began operations in 2022, offers a wide network of restaurants along with affordable, diverse, and healthy menu options. Rapidly expanding its service network, Migros Yemek leverages a robust delivery infrastructure to provide orders to customers with high service quality, operating across all 81 provinces of Turkey (Migros Kurumsal, 2026).

Methodology

Aim and Scope

OFD has become a highly competitive market in Turkey and an increasingly important segment of the e-commerce sector. Thus, as the first touchpoint between consumers and platforms, the evaluation and comparison of OFD websites are critically important for understanding how these platforms present their services and compete within the e-commerce environment. Thus, this study aims to analyse the websites of online food delivery platform in Turkey in terms of digital marketing and website features In this context, the research questions of the study are presented as follows:

Research question 1: *What website features are offered by online food delivery platforms in Turkey?*
Research question 2: *How do online food delivery platforms in Turkey differ in terms of their digital marketing efforts and website service features?*

Research Design

In the contemporary digital environment, the web has become a dominant source of information and plays a central role in the dissemination of knowledge, as individuals increasingly rely on online platforms to access information. Content analysis aims to systematically identify and interpret the views of participants or the information contained in documents (Altunışık et al., 2010). This study employs content analysis to systematically examine the websites of OFD platforms operating in Turkey.

Sample and Data Collection

There are four main actors in food ordering service sector in Turkey: Yemeksepeti, GetirYemek, Uber Eats (UE) Trendyol Go, and Migros Yemek. The sample of the data covers this four main actor's website

coverage (https://www.yemeksepeti.com/ , https://getir.com/yemek/ , https://trendyolgo.com/ , https://www.migros.com.tr/yemek?srsltid=AfmBOopkzI15dzDJn2STA1f_sPLl6QCpxhLdXnTsNnKj_b6gk2ROrRAO). The features and content of the relevant websites were evaluated between February 5, 2026, and March 5, 2026. The collected data were coded according to a coding scheme.

Evaluation criteria

The study proposes a set of evaluation criteria for analysing the content of OFD platform websites. The evaluation criteria used in this study were developed based on previous website evaluation and e-commerce literature. These criteria were used to systematically examine the content and features of OFD platform websites. The evaluation criteria used in this study were mainly based on the frameworks proposed by Weber and Badenhorst-Weiss (2018) and Tsiotsou, Rigopoulou, and Kehagias (2010). Additionally, variables such as review option (Gupta et al., 2025), calorie display (Gunden et al., 2021), menu labelling - most popular items and images (Wang et al., 2021), delivery speed (Zhang et al., 2023), food processing times (Zhao et al., 2024), scheduled delivery and pickup option (Mao et al., 2025), contactless delivery (Huang, 2023), delivery tracking (Chen McCain et al., 2022), digital wallet (Imaya et al., 2025), loyalty/membership discounts (Liu et al., 2023), social media link (Botelho et al., 2023), and mobile app promotion (Liu et al., 2024), featured restaurants (Pigatto et al., 2017), and cancellation option (Xu et al., 2021) were incorporated into the coding scheme. As a result, a coding scheme consisting of five distinct and comprehensive main codes and 69 sub-codes was developed.

ANALYSIS AND RESULTS

In this study which was framed as qualitative research, an interpretation of the data brought about by the content analysis method was made. Prior to the analysis, the reliability of the coding categories was tested in order to assess the stability of the coding system. The two graduate researchers were trained on the coding scheme prior to coding to ensure a shared understanding of the application of the codes. The internal consistency of the coding categories was evaluated by calculating Cronbach's alpha, a widely utilized statistic for assessing the reliability of multi-item measures (Neuendorf, 2017). Consequently, the Cronbach's alpha coefficient was approximately 0. 91, which indicates that there is a good level of agreement between the raters in the coding categories. As described, in terms of general company information , the content of the websites was reviewed at first in Table 1.

Table 1. Website Content Features of Food Delivery Platforms in Turkey

	Yemeksepeti	GetirYemek	UE Trendyol Go	Migros Yemek
Component of websites				
Logo	+	+	+	+
Pictures/Video	+	+	+	+
Contact us	+	+	+	+
About us	-	+	-	-
News related	-	+	-	-
Website footer information	+	+	+	+
Search	+	+	+	+
Tag Line	-	-	-	-
Links to other websites	+	+	+	+
Site map	-	-	-	-
Drop down menu	+	+	+	+
FAQ	+	+	-	+
Filtering	+	+	+	-
Company Information				
History of the company	-	-	-	-
Privacy policy	+	+	+	-
Vision / mission statement	-	-	-	-

Annual reports	-	-	-	-
Health / safety issues	-	-	-	-
Financials	-	-	-	-
Shareholder info	-	-	-	-
Law issues	+	+	+	-
Market Information				
Segmentation data	-	-	-	-
Sales analysis	-	-	-	-
Sector analysis	-	-	-	-

Table 1 provides a comparative overview of the website features and content structures of four major OFD platforms in Turkey revealing both common design conventions and notable differences in informational depth. From a structural perspective, all platforms demonstrate a strong alignment in terms of core website components. Elements such as logos, pictures/videos, contact information, footer details (limited in Migros Yemek), search functionality, external links, and drop-down menus are consistently present across all four platforms. This suggests a standardized approach to usability and interface design, likely driven by industry norms and user expectations. These features primarily support navigation efficiency and transactional convenience, which are critical in platform-based service environments. Although all four platforms technically include multimedia elements, the use of video content remains notably limited across all cases. In practice, visual communication is predominantly image-based, with videos either absent or minimally utilized. From a digital marketing standpoint, this pattern suggests that these platforms prioritize speed, usability, and transactional efficiency over rich media engagement. However, divergence becomes more apparent in content-related components. Among the platforms, GetirYemek appears to provide a relatively richer informational environment, including sections such as “About us” and “News,” which are entirely absent in the other three platforms. Similarly, FAQ sections are available on Yemeksepeti, GetirYemek and Migros Yemek, indicating partial attention to user support and self-service information. Yemeksepeti provides access to a comprehensive ‘Help Center’, through which users can obtain a wide range of information. The FAQ content is also embedded within this section, indicating an effort to centralize user support and facilitate self-service problem resolution. This structure reflects a layered support system that combines both informational and interactive assistance. However, despite this functional richness, a notable usability limitation emerges. Once users navigate to the ‘Help Center’ and access the relevant information, the interface does not allow for an intuitive or immediate closure of this section. The absence of elements such as taglines and site maps across all platforms may suggest a limited emphasis on branding narratives and structural transparency. However, a closer inspection reveals that GetirYemek incorporates a tagline within its loading interface (i.e., the throbber screen). Although this element is not embedded in the primary navigation or visible content layers of the website, its presence indicates that branding communication is not entirely absent but rather positioned in a transitional user interface moment. Filtering options are available across all examined platforms except Migros Yemek, indicating that most platforms recognize the importance of facilitating user decision-making through structured search refinement. However, the case of Yemeksepeti highlights a critical usability issue. Although a filtering function is technically present, its practical functionality is significantly constrained. Specifically, the filter interface within the restaurant listing page appears to be visually limited in size, and its accessibility is further obstructed by the overlap with the privacy settings icon. This interface conflict effectively renders the filtering option difficult to use.

In terms of company-related information, the findings indicate a generally low level of corporate disclosure. While privacy policies and legal information are available on most platforms (except Migros Yemek, which lacks both), more detailed corporate transparency indicators such as company history, mission/vision statements, financial data, and shareholder information are entirely absent across all platforms. This pattern reflects a functional rather than corporate-oriented communication strategy, where the primary focus remains on facilitating transactions rather than building institutional legitimacy or investor confidence. Finally, the complete absence of market-related information (e.g., segmentation data, sales analysis, and sector analysis) across all platforms suggests that these websites are not

designed as informational or analytical resources but rather as operational interfaces. From a digital marketing perspective, this may indicate a missed opportunity to leverage data-driven insights for customer engagement, trust-building, and strategic positioning.

The findings should be interpreted with consideration of the broader platform ecosystem within which these services operate. Specifically, GetirYemek is not structured as a fully independent website; rather, it is embedded within the broader digital ecosystem of Getir, alongside services such as Getir, GetirBüyük, GetirSu, and GetirÇarşı. Similarly, Migros Yemek is integrated into the multi-service platform of Migros, where it coexists with services such as Migros Sanal Market, Migros Hemen, Migros Sanalmarket Extra, Mion, Migros Petimo, Taze Direkt, and Macro Online. This embedded structure has important implications for interpreting the absence of certain website components. In contrast to relatively standalone platforms such as Yemeksepeti and Uber Eats Trendyol Go, both GetirYemek and Migros Yemek operate as sub-services within a super-app or multi-service retail architecture.

Table 2. Menu and Product Features

	Yemeksepeti	GetirYemek	UE Trendyol Go	Migros Yemek
Featured restaurant	+	+	+	+
Nutritional information	-	-	-	-
Complete list of ingredients	+	+	+	+
Menu labelling	+	+	+	+
Most popular items	+	+	+	+
Products categorized into groups	+	+	+	+
Product/menu pic	+	+	+	+
Cooking process information	-	-	-	-
Review option	+	+	+	+
Organic products	-	-	-	-
Certifies the organic claim	-	-	-	-
Search for organic products only	-	-	-	-
Calorie display	-	-	-	-

Table 2 presents a comparative assessment of product and menu related information revealing a high degree of standardization in core menu presentation features alongside notable gaps in nutritional and transparency related information. All platforms consistently provide fundamental elements that facilitate consumer decision-making, including featured restaurants, complete ingredient lists, menu labelling, popular item indicators, categorized product groupings, product images, and review options. This convergence suggests that platforms prioritize usability, comparability, and visual appeal in menu design, thereby supporting efficient navigation and purchase decisions. In particular, the availability of product images and “most popular items” cues reflect an emphasis on heuristic-based decision-making and social proof mechanisms within digital consumption environments. Although all platforms technically provide a review option, the usability and depth of this feature vary considerably. In the case of Uber Eats Trendyol Go, accessing and reading individual reviews is nearly impractical due to the extremely limited display area allocated for review content. This design constraint significantly reduces the functional value of the review feature, limiting its effectiveness in supporting informed decision-making. In contrast, GetirYemek introduces a more interactive review environment by allowing restaurants to respond to customer reviews. These responses are visible to users, thereby fostering transparency, enhancing trust, and enabling a two-way communication channel between consumers and service providers. Such interaction can contribute to perceived service recovery and strengthen customer relationships. Meanwhile, Yemeksepeti offers a distinctive enhancement by enabling users to attach liked or recommended products directly within their reviews in the form of clickable links.

This feature enriches the informational content of reviews and facilitates quicker product discovery for other users, effectively integrating social proof with navigational convenience. Overall, these findings demonstrate that while review systems are universally implemented across platforms, their design quality, interactivity, and practical usability differ substantially.

However, a clear deficiency emerges in terms of health- and transparency-oriented information. None of the platforms provide nutritional information, calorie display, or cooking process details. However, GetirYemek introduced an additional layer of innovation through the 'Ne Yesem' feature, which utilizes artificial intelligence to estimate calorie intake. Although not directly embedded within the standard menu interface, this feature partially compensates for the general absence of nutritional information across platforms. Organic product-related features such as the identification of organic items, certification of organic claims, or the ability to filter exclusively for organic products are entirely absent. This indicates that while platforms are effective in delivering transactional and descriptive product information, they largely neglect informational attributes that support health-conscious or sustainability-oriented consumer choices. In Uber Eats Trendyol Go, the inclusion of a 'Salad & Healthy' subcategory within the filtering options reflects an initial effort to appeal to health-conscious consumers. However, this feature remains largely superficial, as it neither provides detailed nutritional information nor supports advanced filtering based on specific dietary requirements. In Migros Yemek, a similar but indirect approach to health-oriented categorization is observed. When users interact with the search bar, 'Vegetarian & Healthy' appears among the highlighted search suggestions. While this indicates some recognition of health-conscious consumption patterns, the feature functions more as a navigational prompt rather than a structured filtering mechanism and thus remains limited in its capacity to support detailed, preference-based decision-making.

Table 3. Price and Payment Features

	Yemeksepeti	GetirYemek	UE Trendyol Go	Migros Yemek
Price lists	+	+	+	+
Discount / Promotions	+	+	+	+
Minimum order amount	+	+	+	+
Delivery cost	+	+	+	+
Coupon / Promo codes	+	+	+	+
Service fee / platform fee	+	+	+	+
Bundle deals / combo offers	+	+	+	+
Price comparison between restaurants	-	-	-	-
Loyalty discounts / membership discounts	+	+	+	+
Secure payment system	+	+	+	+
Payment options	+	+	+	+
Digital wallet	+	-	-	+
Payment by meal card	+	+	+	+
Cancellation option	+	+	+	+

Table 3 provides a comparative overview of price and payment features, indicating a high level of standardization in transactional functionalities. All platforms uniformly offer core pricing and payment elements, including price lists, discounts and promotions, minimum order thresholds, delivery fees, coupon or promo codes, service fees, and bundle deals. In addition, secure payment systems, diverse payment options, meal card compatibility, and cancellation features are consistently available across all platforms. This widespread convergence suggests that platforms place strong emphasis on ensuring transactional convenience, pricing transparency, and payment security which are key determinants of user trust and purchase behavior. A notable gap is the absence of price comparison features across all platforms, indicating that users are not supported in making direct cross-restaurant price evaluations

within the same interface. This may reflect a strategic design choice to limit price-based competition and maintain platform-controlled choice architectures. But Yemeksepeti offers a partial alternative through symbolic price indicators (e.g., low–medium–high price levels). These visual cues enable users to make approximate price evaluations across restaurants without accessing detailed price lists individually. While this feature does not constitute a fully functional comparison mechanism, it facilitates heuristic-based decision-making and reduces cognitive effort during the selection process.
Differences emerge in relation to digital wallet integration, which is available only in Yemeksepeti and Migros Yemek, suggesting a more developed payment ecosystem in these platforms compared to GetirYemek and Uber Eats Trendyol Go. Although loyalty or membership-based discounts are present across all platforms, their effectiveness and scope are not uniform. In particular, loyalty discounts in Migros Yemek appear to be more limited compared to the other platforms, indicating a relatively weaker emphasis on long-term customer retention mechanisms. Overall, the findings suggest that while price and payment features are highly developed and standardized, opportunities remain for differentiation through enhanced loyalty programs and more advanced pricing tools.

Table 4. Delivery Features

	Yemeksepeti	GetirYemek	UE Trendyol Go	Migros Yemek
Dealer area information	+	+	-	-
Delivery tracking	+	+	+	+
Delivery speed	+	+	+	+
Food processing times	-	-	-	-
Scheduled delivery	+	+	+	-
Pickup option	+	+	+	+
Delivery partner information	+	+	+	+
Contactless delivery	+	+	+	+

Table 4 presents a comparative analysis of delivery related features, indicating a high level of convergence in core logistics functionalities, alongside several platform-specific differentiations. All platforms consistently provide essential delivery features such as delivery tracking, delivery speed information, pickup options, delivery partner details, and contactless delivery. These shared features reflect a strong emphasis on transparency, convenience, and safety in last-mile logistics. Additionally, scheduled delivery is available across all platforms except Migros Yemek, suggesting a slightly more limited flexibility in delivery planning within this platform. Although none of the platforms explicitly display food processing times, this information appears to be implicitly incorporated into the estimated delivery time. This indicates a bundled communication approach, where preparation and delivery durations are presented as a single aggregated metric rather than as separate process indicators.
Beyond these commonalities, several platform-specific features enhance differentiation. Yemeksepeti offers a tipping option for couriers, which may contribute to service quality perceptions and user engagement. An additional differentiation emerges in terms of sustainability-oriented practices. Yemeksepeti introduced an environmentally friendly delivery option through its pedestrian courier (yaya kurye) system. This approach reflects an effort to reduce carbon emissions and promote sustainable last-mile logistics. Another notable innovation is observed in Yemeksepeti through the introduction of YEBO, an autonomous delivery robot developed using artificial intelligence infrastructure. This initiative reflects a forward-looking approach to last-mile logistics, emphasizing automation, efficiency, and technological advancement. From a digital marketing and innovation perspective, such applications not only improve operational capabilities but also strengthen the platform's positioning as a technology-driven and innovative brand, potentially enhancing user interest and differentiation in a highly competitive market.
As a filtering option, both GetirYemek and Migros Yemek distinguish themselves by offering alternative delivery modes, such as 'platform-delivered' and 'restaurant-delivered' options, thereby enhancing operational flexibility and allowing users to tailor the delivery process according to their preferences.

Yemeksepeti further differentiates itself by offering a dedicated 'pick-up' section, which allows users to order food for self-collection instead of delivery. This feature not only provides an alternative fulfillment option but also supports cost-saving behavior by eliminating delivery fees. From a user experience and digital marketing perspective, the 'pick-up' option enhances flexibility and caters to diverse consumption preferences, particularly for users who prioritize speed or wish to avoid additional delivery charges. In terms of real-time transparency, Uber Eats Trendyol Go enables live courier tracking, allowing users to monitor the delivery process dynamically. While delivery tracking is available across all platforms, this feature enhances the immediacy and perceived control of the delivery experience. Furthermore, all platforms allow users to communicate directly with couriers through order notes (e.g., 'do not ring the bell'), which supports personalized delivery preferences and reduces potential service friction. Finally, although delivery partner information is technically present across platforms, its scope appears more limited in Migros Yemek, suggesting a relatively lower level of transparency in this aspect. Overall, while delivery features are largely standardized and well-developed across platforms, differences emerge in terms of flexibility, interactivity, and transparency, which may influence user experience and perceived service quality.

Table 5. Promotional Features

	Yemeksepeti	GetirYemek	UE Trendyol Go	Migros Yemek
Catalogues	-	-	-	-
Press releases	-	+	-	-
General promotions	+	+	+	+
Key take away messages	+	+	+	+
Sponsorship	-	-	-	-
Free gifts	+	+	+	+
Spots (visual–audio)	+	+	+	+
Social media link	+	+	+	+
Mobile app promotion	+	+	+	+

Table 5 presents a comparative overview of promotional features, indicating both convergence in core promotional tools and divergence in loyalty and institutional communication strategies. All platforms consistently offer general promotions, key takeaway messages, free gifts, visual/audio promotional spots, social media links, and mobile app promotion. However, free gifts across all platforms appear to be campaign-based rather than continuously available, suggesting a short-term, incentive-driven promotional strategy. Similarly, the absence of catalogues and sponsorship activities across all platforms indicates a limited use of traditional or large-scale branding mechanisms, with a stronger emphasis on digital and performance-oriented promotions.

A distinction emerges in terms of press releases, which are formally present only in GetirYemek within the evaluated interface. Nevertheless, others also provide press-related content through their corporate website, suggesting that such communication may be centralized outside the main service interface rather than entirely absent. More pronounced differences are observed in loyalty program structures. Yemeksepeti offers the "YeClub" loyalty program, GetirYemek provides the "Müdavim" program, and Uber Eats Trendyol Go integrates "Go Plus," all of which aim to encourage repeat usage and enhance customer retention through rewards and benefits. In contrast, Migros Yemek does not offer a dedicated loyalty program, indicating a comparatively weaker emphasis on structured retention strategies.

Additionally, Trendyol's corporate website includes "Trendyol Akademi," a platform designed to support sellers entering or expanding within the e-commerce environment. While not directly a consumer-facing promotional tool, this initiative reflects an ecosystem-level strategy focused on capacity building and platform development. Finally, it is noteworthy that all platforms provide live customer support, which, although not a traditional promotional feature, contributes indirectly to customer satisfaction and brand perception by enhancing service responsiveness.

CONCLUSION AND DISCUSSION

In this context, major OFD platforms operating in Turkey were examined through a content analysis on their websites in this study, to reveal the similarities and differences in terms of digital marketing strategies and website design features. The result indicates that, although these platforms are based on a roughly similar architecture, significant contrasts can be found between the implementation and user experience of features when considering not only their existence, but also How these features actually being executed. All platforms seem to share a strong bias toward enabling transactions easy and fast. Standard features such as search functions, categorized menus, delivery tracking, and secure payment are ubiquitous, suggesting a uniform design logic informed by user needs and competitive market pressure. This convergence shows the basic functional needs were already fulfilled in most of the sector, and that the competition on platforms is now more on the quantity and quality of user experience rather than just on whether they have some features.

The finding points to a broader issue of limited functional effectiveness rather than mere feature absence. Despite the fact that Yemeksepeti provides a lot of features, their usability is limited by the design of the interface. For one, you can't easily close the 'Help Centre' which breaks the user flow, and while there is a filter function (as mentioned), it's a bit of a pain to use because of accessibility and layout issues. Similarly, all platforms offer an option to review, but the availability of this function is restricted by the interface, such as the limited space on display on Uber Eats Trendyol Go, thus reducing the usefulness of user-generated content. The above issues reveal a divide between tool availability and their effective use, which ultimately limits the impact of these tools in enhancing user experience and decision-making. In this regard, platforms should focus on improving the functional usability/presentation of the interface rather than adding additional features to make sure that the existing features would bring the value they intended. These include enhancing navigational control (e.g., allowing easy exit from the support sections), improving the prominence and accessibility of filtering tools, and restructuring review interfaces so as to facilitate clearer and more complete presentation of content. By improving usability instead of simple presence of features, platforms might be able to optimize use of these features for better user satisfaction, engagement, and overall performance.

All four platforms are technically based on multimedia elements, the usage of video content, however, is extremely limited in all four cases. 1-2 second short micro videos could be introduced in the OFD platforms as a non-obtrusive communication means that can still make an impact. These micro formats may consist of fast 'order-to-delivery' routines, food close-ups, animations confirming on single tap, short courier motion shots or promotional flashes (e.g. discount cues). These videos can be short and blank out core value propositions such as speed, convenience and sensory appeal in only a few seconds. From a digital marketing point of view, these are simple low cognitive load visual triggers that capture user attention and improve brand recall without disrupting the transactional flow.

Yet another key marketing insight has to do with taglines. The lack of visible taglines could suggest that these platforms may be neglecting a significant means of reinforcing brand identity and distinguishing themselves in market. Therefore, platforms should use clear, concise, and consistent taglines when communicating their key value offers. Putting taglines on other visible interface features such as homepage banners or loading screens, may improve brand recall, bolster positioning and lead to a more uniform brand experience for consumers. Another issue is that there is little health and transparency related information owing to the nature of the sold food. None of the platforms offers detailed nutrition, calorie, or food preparation information. While there are crazy claims mock the issue on category based "healthy" options, or supported estimations by AI, it's all fragmented, and insufficient. With the increasing emphasis on informed consumption, there is a possibility for further work here. According to Gunden et al. (2021), in online food delivery systems, the format of the calorie information and the nature of the visual content can affect consumer behaviour, with the presentation of calories influencing consumers' intention to use the system and their tipping behaviour toward delivery drivers and images of consumers eating food lead to greater purchase intention than images of food only. In a nutshell, it might be wise to combine clear nutrition data with visual content on food processing and calorie formatting as this might have very positive effects on both engagement and user decisions.

As for pricing and payment, the platforms are very similar. Promotional means, flexible payment methods and discount tools are very common, which suggests that the attention is highly focused on price incentives and on facilitating the transaction. Although there are no functions for direct price comparison, the implication is that platforms eschew fostering an explicit price-based competition. Rather, the user is driven by simplified guidelines and marketing messages that enable faster decisions, which are less analytical. It is suggested that the likes of GetirYemek, Uber Eats Trendyol Go and Migros Yemek, bring in at least symbolic price tags to allow for fast, instinctive price comparisons. Such heuristic-driven signals may enable quicker decision making, alleviate cognitive burden, improve overall user experience and do so without introducing direct price competition between restaurants.

Delivery-related features are the most elaborate in these platforms. Basic features like tracking, contactless delivery and delivery flexibility are always included. Meanwhile, some services add other ingredients to improve the delivery experience, such as different delivery modalities, tipping, real-time monitoring, or even technology solutions like autonomous delivery. These changes suggest a gradual progression towards more sophisticated and segmented service models. As for Migros Yemek, it is advised to add a scheduled delivery option to give the possibility for order planning. Having that above option would increase the convenience for the users, cater to their needs for time-sensitive consumption, and allow for more flexibility of service in general, especially for those who are more inclined to place orders by time slots. What's more, smart tracking allows to track your orders in real time and at the same time the platform plays the role of memorizing the preferences of users which can be used for personalization and further service enhancement in the future. It is advised that Yemeksepeti, GetirYemek and Migros Yemek to upgrade their systems and implement real-time courier tracking capabilities. This type of feature would contribute to an enhanced sense of control and transparency, and in turn lead to greater user satisfaction and trust in the service.

Variations in platform positioning are further accentuated by the differences of loyalty policies. Although the majority of platforms offer a loyalty/membership program, the extent of these programs vary. In particular, it can be said that the well-developed loyalty system missing in Migros Yemek is indicative of a comparatively lower priority given to securing customers in the future. In general, when it comes to promotions, platform are known to be more campaign-focused, showing that their interests are more towards acute engagement rather than building long term relationship. It is suggested to bring in a separate loyalty in Migros Yemek. The introduction of an appropriate loyalty scheme may have potential to positively influence repeat purchase behaviour, customer engagement and long-term customer retention.

Finally, the finding indicates that although platforms except Migros Yemek incorporate isolated AI-based features (e.g., calorie estimation tools, recommendations, delivery option), the overall use of artificial intelligence remains fragmented and limited in scope. Accordingly, it is recommended that platforms expand the integration of AI-based applications to enhance personalization, efficiency, and decision support. These may include AI-driven recommendation systems based on user preferences and past behavior, intelligent search and filtering mechanisms, dynamic pricing and promotion optimization, real-time delivery predictions, and advanced chatbots for customer support. In addition, AI-powered nutritional analysis and personalized dietary suggestions could address the current gap in health-related information. A more systematic and integrated use of AI technologies would enable platforms to deliver a more tailored, efficient, and engaging user experience while strengthening their competitive positioning.

Future Research Directions

The findings indicate that OFD platforms in Turkey operate within a highly competitive yet increasingly standardized environment. While basic functionalities no longer serve as a primary source of differentiation, factors such as usability, personalization, and innovation play a more decisive role in shaping competitive advantage. Future research could build on these findings by incorporating user perspectives and examining how these features influence consumer behaviour and platform choice in greater detail. In addition, similar studies may extend the scope beyond websites and focus on mobile applications, which represent the primary interaction channel for most users in OFD services.

Investigating mobile app interfaces, usability, and feature integration may provide deeper insights into user experience and engagement dynamics. Furthermore, future research could employ text mining and topic modelling techniques to analyse user-generated content from platforms such as Google Play. Analysing app reviews would enable researchers to capture user sentiments, identify recurring topics, and uncover underlying patterns in customer feedback. Such data-driven approaches could provide valuable insights into user expectations, satisfaction drivers, and areas requiring improvement, thereby complementing content-based analyses with behavioural evidence.

Acknowledgement: *During the preparation of this manuscript, ChatGPT (OpenAI) was used to assist with English language editing and to improve the overall readability of the text. The author carefully reviewed and revised the manuscript after using this tool and take full responsibility for the final content of the published article.*

REFERENCES

Ahuja, K., Chandra, V., Lord, V., & Peens, C. (2021). Ordering in: The rapid evolution of food delivery. *McKinsey & Company*, 22, 1-13.

Al Abid, F. B., & Karim, A. R. (2017, October). Cross-platform development for an online food delivery application. In *2017 International Conference on Computing Networking and Informatics (ICCNI)* (pp. 1-4). IEEE.

Alghamdi, S. Y., Kaur, S., Qureshi, K. M., Almuflih, A. S., Almakayeel, N., Alsulamy, S., & Qureshi, M. R. N. (2023). Antecedents for online food delivery platform leading to continuance usage intention via e-word-of-mouth review adoption. PloS one, 18(8), e0290247, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0290247

Altunışık, R., Coşkun R, Bayraktaroğlu S. ve Yıldırım E. (2010). Sosyal bilimlerde araştırma yöntemleri SPSS uygulamalı, 6. Baskı, İstanbul: Sakarya Yayıncılık.

Annaraud, K., & Berezina, K. (2020). Predicting satisfaction and intentions to use online food delivery: what really makes a difference?. Journal of Foodservice Business Research, 23(4), 305-323. https://doi.org/10.1080/15378020.2020.1768039

Banerjee, S. P., Jain, D., & Nayyar, R. (2019). Measuring service quality of food delivery services: a study of generation Z. African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure, 8(1), 1-12.

Bates, S., Reeve, B., & Trevena, H. (2023). A narrative review of online food delivery in Australia: challenges and opportunities for public health nutrition policy. Public health nutrition, 26(1), 262-272, doi:10.1017/S1368980020000701

Bivona, E. (2023). Determinants of performance drivers in online food delivery platforms: a dynamic performance management perspective. International Journal of Productivity and Performance Management, 72(9), 2497-2517, https://doi.org/10.1108/IJPPM-10-2021-0606

Botelho, L. V., Freitas, J. V., da Camara, A. O., de Almeida, I. F., de Souza Gonçalves, T., Horta, P. M., ... & de Oliveira Cardoso, L. (2023). Digital marketing of online food delivery services in a social media platform before and during COVID-19 pandemic in Brazil. Public Health Nutrition, 26(1), 1-11. doi:10.1017/S1368980022002191

Chan, H. L., Cheung, T. T., Choi, T. M., & Sheu, J. B. (2025). Sustainable successes in third-party food delivery operations in the digital platform era. *Annals of Operations Research*, 355, 1419-1455, https://doi.org/10.1007/s10479-023-05266-w

Chan, J., & Gao, Y. L. (2021). Measuring the up-to-date quality of online food delivery: formative index construction. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 33(12), 4550-4568, https://doi.org/10.1108/IJCHM-06-2021-0739

Chen, H. S., Liang, C. H., Liao, S. Y., & Kuo, H. Y. (2020). Consumer attitudes and purchase intentions toward food delivery platform services. *Sustainability*, 12(23), 10177, https://doi.org/10.3390/su122310177

Chen McCain S, Lolli J, Liu E, Lin L (2022), An analysis of a third-party food delivery app during the COVID-19 pandemic. *British Food Journal*, 124(10), 3032-3052. https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2021-0332

Chokshi, M. (2020). Online food delivery apps: Why are they so much in demand? CustomerThink. Retrieved January 1, 2026, https://customerthink.com/online-food-delivery-apps-why-are-they-so-muchin-demand/.

Dsouza, D., and Sharma, D. (2021). Online food delivery portals during COVID-19 times: an analysis of changing consumer behavior and expectations. *International Journal of Innovation Science*, 13(2), 218-232. https://doi.org/10.1108/IJIS-10-2020-0184

Du, Z., Fan, Z. P., & Chen, Z. (2023). Implications of on-time delivery service with compensation for an online food delivery platform and a restaurant. *International Journal of Production Economics*, 262, 108896, https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108896

Feldman, P., Frazelle, A. E., & Swinney, R. (2023). Managing relationships between restaurants and food delivery platforms: Conflict, contracts, and coordination. *Management Science*, 69(2), 812-823, https://doi.org/10.1287/mnsc.2022.4390

Getir, 2026, Hakkımızda https://getir.com/hakkimizda/ (05.02.2026)

Gunden, N., Morosan, C., & DeFranco, A. (2021). Are online food delivery systems persuasive? The impact of pictures and calorie information on consumer behavior. *Journal of Hospitality and Tourism Insights*, *4*(4), 457-472. https://doi.org/10.1108/JHTI-07-2020-0127

Gupta, A., Backholer, K., Huggins, C. E., Bennett, R., Leung, G. K., & Peeters, A. (2025). Understanding food choices and promoting healthier food options among online food delivery service users in Australia: a qualitative study. *BMC Public Health*, *25*(1), 1721. https://doi.org/10.1186/s12889-025-22839-5

Huang, H. L. (2023). Challenges for contactless online food delivery services during the COVID-19 pandemic in Taiwan: Moderating effects of perceived government response. *Evaluation and Program Planning*, *97*, 102249. https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2023.102249

Imaya, K. N., Anita, A., & Astuti, R. P. (2025). The Effect of Social Media, Online Food Delivery Service (OFDS), Digital Wallet on the Progress of Micro, Small and Medium Enterprises (MSMEs) in Cirebon City. *International Journal of Business, Economics, and Social Development*, 6(3), 427-439. https://doi.org/10.46336/ijbesd.v6i3.924

Kitchenest Editörü, 2025, Türkiye'de Yemek Platformları: Getir, Yemeksepeti, Trendyol Yemek ve Diğerleri, https://kitchenest.com.tr/turkiyede-yemek-platformlari (23.01.2026).

Li, C., Mirosa, M., & Bremer, P. (2020). Review of online food delivery platforms and their impacts on sustainability. *Sustainability*, 12(14), 5528, https://doi.org/10.3390/su12145528

Liu, W., Zhang, S., Bijmolt, T., & de Haan, E. (2024). Mobile platform expansion: how does it affect the incumbent food delivery app and other sales channels?. *Journal of Retailing*, *100*(3), 422-438. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2024.06.002

Liu X, Lim X, Cheah J, Ng SI, Kamal Basha N (2023), Food at your doorstep? Examining customer loyalty towards online food delivery applications. *British Food Journal*, ahead-of-print, https://doi.org/10.1108/BFJ-02-2023-0116

Liu, Y., & Li, S. (2023). An economic analysis of on-demand food delivery platforms: Impacts of regulations and integration with ride-sourcing platforms. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 171, 103019, https://doi.org/10.1016/j.tre.2023.103019

Mao, W., Ming, L., Rong, Y., Tang, C. S., & Zheng, H. (2025). Faster deliveries and smarter order assignments for an on-demand meal delivery platform. *Journal of Operations Management*, *71*(2), 220-245. https://doi.org/10.1002/joom.1354

Migros Kurumsal, 2026, Hakkımızda, https://www.migroskurumsal.com/hakkimizda/markalarimiz#v-migros-yemek (15.02.2026)

Ministry of Trade, 2025, E-Commerce Outlook in Turkey, Retrieved January 1, 2026, https://ticaret.gov.tr/duyurular/turkiyede-e-ticaretin-gorunumu-raporu-yayinlandi-06-05-2025#:~:text=H%C4%B1zl%C4%B1%20ticaret%202024%20y%C4%B1l%C4%B1nda%20bir,800%20milyon%20T%C3%BCrk%20liras%C4%B1na%20ula%C5%9Ft%C4%B1.

Neuendorf, K. A. (2017). The content analysis guidebook. 2nd Edition, SAGE Publications, Inc. USA.

Pandey, S., Chawla, D., & Puri, S. (2022). Food delivery apps (FDAs) in Asia: An exploratory study across, India and the Philippines. *British Food Journal*, 124(3), 657-678. https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2020-0074

Panse, C., Rastogi S., Sharma, A. & Dorji, N. (2019). Understanding consumer behaviour towards utilization of online food delivery platforms. Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 97(16), 4353-4365.

ParaDergi, 2024 https://www.paradergi.com.tr/is-dunyasi-kulis/2024/02/16/getiryemek-5-yilda-10-kattan-fazla-buyudu (15.02.2026)

Partridge, S. R., Gibson, A. A., Roy, R., Malloy, J. A., Raeside, R., Jia, S. S., Singleton, A. C., Mandoh, M., Todd, A. R., Wang, T., Halim, N. K., Hyun, K. & Redfern, J. (2020). Junk food on demand: a cross-sectional analysis of the nutritional quality of popular online food delivery outlets in Australia and New Zealand. Nutrients, 12(10), 3107, https://doi.org/10.3390/nu12103107

Pigatto, G., Machado, J. G. D. C. F., Negreti, A. D. S., & Machado, L. M. (2017). Have you chosen your request? Analysis of online food delivery companies in Brazil. British Food Journal, 119(3), 639-657, https://doi.org/10.1108/BFJ-05-2016-0207

Shipman, Z. D. (2019). Understanding online food ordering: How the process results in satisfaction of the customers. Beykoz Akademi Dergisi, 7(2), 81-90. https://doi.org/10.14514/byk.m.26515393.2019.7/2.81-90

Sultan, S. K. B., Israni, A., Katzman, J. L., & Dillahunt, T. R. (2025, April). Comparative Analysis of Independent Food Delivery Platforms: Empowering Food Movement Values. In Proceedings of the Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems,1-6, https://doi.org/10.1145/3706599.3719690

Sun, P. (2019). Your order, their labor: An exploration of algorithms and laboring on food delivery platforms in China. Chinese journal of communication, 12(3), 308-323, https://doi.org/10.1080/17544750.2019.1583676

Sureeyatanapas, P., & Damapong, K. (2024). Performance assessment and comparison of online food delivery service providers based upon the aggregated perspectives of restaurant operators. *Expert Systems with Applications*, 236, 121262.https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121262

TİSK, 2025, Dijital 2025: Türkiye Raporu, https://intesisveren.intes.org.tr/uploads/20_dijital_2025_tu%CC%88rkiye_raporu.pdf

Trendyol, 2026, Biz Kimiz, https://www.trendyol.com/whatwedo (15.02.2026)

Tsiotsou, R. H., Rigopoulou, I. D., & Kehagias, J. D. (2010). Tracing customer orientation and marketing capabilities through retailers' websites: a strategic approach to internet marketing. Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing, 18(2), 79-94. doi: 10.1057/jt.2010.5

TUIK, 2025, Survey on Information and Communication Technology (ICT) Usage in Households and by Individuals, https://veriportali.tuik.gov.tr/en/press/53925

Wang, C., Korai, A., Jia, S. S., Allman-Farinelli, M., Chan, V., Roy, R., ... & Partridge, S. R. (2021). Hunger for home delivery: cross-sectional analysis of the nutritional quality of complete menus on an online food delivery platform in Australia. Nutrients, 13(3), 905. https://doi.org/10.3390/nu13030905

Weber, A. N., & Badenhorst-Weiss, J. A. (2018). The 'new'bricks-and-mortar store: An evaluation of website quality of online grocery retailers in BRICS countries. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, 10(1), 85-97. https://doi.org/10.1080/20421338.2017.1394957

Xu, X., Yan, N., & Tong, T. (2021). Longer waiting, more cancellation? Empirical evidence from an on-demand service platform. Journal of Business Research, 126, 162-169. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2020.12.035

Yemeksepeti, 2026, Hakkımızda, https://kurumsal.yemeksepeti.com/hakkimizda/ (05.02.2026)

Yeo, V. C. S., Goh, S. K., & Rezaei, S. (2017). Consumer experiences, attitude and behavioral intention toward online food delivery (OFD) services. *Journal of Retailing and Consumer services*, *35*, 150-162. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.12.01

Zhang, W., Zheng, Z., & Cui, R. (2023). Restaurant density and delivery speed in food delivery platforms. Kelley School of Business Research Paper, 4419279, https://ssrn.com/abstract=4419279

Zhao, Y., Papier, F., & Teo, C. P. (2024). Market thickness in online food delivery platforms: The impact of food processing times. Manufacturing & Service Operations Management, 26(3), 853-872, https://doi.org/10.1287/msom.2021.0354

YAPAY ZEKA KAYGISININ GİRİŞİMCİLİK YÖNELİMİ ÜZERİNE ETKİSİ: ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ANXIETY ON ENTREPRENEURIAL ORIENTATION: A STUDY ON UNIVERSITY

Öğr. Gör. Dr. Tuğba ÖZYILDIZ
Gaziantep Üniversitesi, İslahiye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi
ORCID: 0000-0002-2101-2954

ÖZET

Yapay zeka teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmeler, geleneksel işgücü piyasalarının işleyişini etkileyerek üniversite öğrencilerinin gelecek istihdam kaygılarını önemli ölçüde artırmaktadır. Dünyanın dört bir yanında üniversiteler ve yükseköğretim kurumları işsizlik sorununu aşabilmek adına öğrenciler arasında girişimcilik niyetlerini ve yönelimlerini artırmaya çalışmaktadırlar. Girişimcilik faaliyetlerine daha fazla entegre olan yapay zeka teknolojilerinin varlığı da son dönemde girişimci niyetlerini ve davranışlarını nasıl etkilediği konusunda akademik ilgiyi toplamayı başarmıştır. Bu çalışmada Gaziantep Üniversitesi İslahiye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde öğrenim gören 186 öğrenciden anket tekniği kullanılarak toplanan veriler üzerinde güvenilirlik, açıklayıcı (AFA) faktör analizi, korelasyon ve regresyon analizleri yapılarak hazırlanmıştır. Araştırmada, korelasyon analizi bulgularına göre yapay zekâ kaygısının alt boyutları ile bireysel girişimcilik yöneliminin alt boyutları arasında farklı düzeylerde ilişkiler bulunduğu, yapay zekâ kaygısının tüm boyutlarının bireysel girişimcilik yönelimiyle aynı düzeyde ilişkili olmadığı görülmektedir. Ayrıca araştırmada, yapay zekâ kaygısının alt boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik boyutları üzerindeki etkisi çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, sosyoteknik körlük boyutu risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahipken, iş değiştirme kaygısı yalnızca risk alma üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi olduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, öğrenme ve yapay zekâ yapılandırması boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin herhangi bir alt boyutu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Bu çalışma, yapay zeka kaygısının girişimcilik yönelimini nasıl şekillendirdiğine dair anlayışımızı geliştirerek literatüre katkıda bulunmakta ve yapay zeka teknolojilerinin dönüştürücü ortamında yol alan akademisyenler ve uygulayıcılar için değerli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Girişimcilik, Açıklayıcı Faktör Analizi

ABSTRACT

Rapid advances in artificial intelligence (AI) technologies have significantly transformed the functioning of traditional labor markets, thereby increasing university students' concerns about their future employment prospects. In response to growing employment challenges, universities and higher education institutions worldwide have increasingly sought to foster students' entrepreneurial intentions and entrepreneurial orientation. Moreover, the expanding integration of AI technologies into entrepreneurial activities has attracted considerable scholarly attention regarding their potential influence on entrepreneurial intentions and behaviors. In this study, reliability, exploratory factor analysis (EFA), correlation, and regression analyses were conducted on data collected through a survey from 186 students studying at the İslahiye Faculty of Economics and Administrative Sciences, Gaziantep University. According to the correlation analysis findings, relationships of varying strengths were found between the sub-dimensions of artificial intelligence anxiety and the sub-dimensions of individual entrepreneurial orientation; however, not all dimensions of artificial intelligence anxiety were associated with individual entrepreneurial orientation to the same extent. In addition, multiple regression analysis was employed to investigate the effects of the dimensions of AI anxiety on the risk-taking, innovativeness, and proactiveness dimensions of individual entrepreneurial orientation. The findings indicated that the socio-technical blindness dimension had a positive and statistically significant effect on risk-taking, innovativeness, and proactiveness. In contrast, job displacement anxiety exerted a negative and statistically significant effect only on the risk-taking dimension.

However, the learning and AI configuration dimensions did not have a statistically significant effect on any dimension of individual entrepreneurial orientation. This study contributes to the literature by advancing our understanding of how artificial intelligence (AI) anxiety shapes entrepreneurial orientation and provides valuable theoretical and practical insights for scholars and practitioners navigating the transformative landscape of AI technologies.
Keywords: Artificial Intelligence, Entrepreneurship, Exploratory Factor Analysis.

GİRİŞ

Dünya, insan yaşamını ve çalışma biçimlerini önemli ölçüde etkileyen hızlandırılmış bir dijital dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu dönüşümün adı yapay zeka teknolojisidir. Biyolojik varoluş çerçevesinde sınırlanmayan ve insan zekasının anlaşılabilmesi için bilgisayarların kullanımı gibi görevler ihtiva eden yapay zeka (AI), insan zekasını makinelerde simüle edebilen sistemler geliştirmeye odaklanan bilgisayar biliminin çok yönlü bir alanıdır. Yapay zeka teknolojilerinin iş yaşamına entegrasyonunda meydana gelen artışlar istihdam yapısında değişikliklere neden olmakta ve teknolojik iş kaybından doğan endişelerin artışını da beraberinde getirmektedir. Dünya Ekonomik Forumu (WEF) ve PwC'nin ortak raporuna göre, özellikle yazılım geliştirme, müşteri hizmetleri gibi yapay zekaya maruz kalan mesleklerde 22-25 yaş arasındaki genç çalışanların istihdam oranlarında %16'ya varan düşüşler olduğu gözlemlenmektedir. Yapay zeka şoku (AI Shock) olarak adlandırılan bu durum yalnızca kısa vadeli iş kayıplarını değil aynı zamanda otomasyon risklerine açık bölüm okuyan öğrencilerinde uzun vadeli istihdam edilebilirlik algılarını etkilemektedir. Becerilerdeki geçerliliğin yitirilmesi, gelecekteki iş güvencesi ve kariyer sürdürülebilirliğinde oluşan sürekli endişe halini ifade eden istihdam kaygısı, dünya genelindeki tüm üniversite öğrencilerinde artış göstermiştir. 2024 Stanford Yapay Zeka Endeksi Raporuna göre, dünya genelinde bireylerin %66'sının yapay zekanın önümüzdeki üç ila beş yıl içinde yaşamlarını önemli ölçüde etkileyeceğine inandığı, %52'sinin ise yapay zeka ürünleri ve hizmetleri konusunda endişeli olduğu görülmektedir (Kong ve Zhang, 2026: 2-3; Kim vd., 2026: 3994; Akkaya vd. 2021:1127).

Girişimlerde yapay zeka kullanım değerlerini gösteren TUİK verilerine göre Türkiye'de yapay zeka teknolojilerini kullanan girişimlerin oranında artışa işaret etmektedir. 2021 yılında %2,7 olan yapay zeka teknolojileri kullanım oranının 2025 yılında %7,5'e yükseldiği görülmektedir. Yapay zeka uygulamalarının en fazla bilgi-işlem faaliyetlerinde girişimde bulunanlar tarafından kullanıldığı görülmektedir. Kullanım amacı açısından ise yapay zekanın girişimde kullanılma nedeni pazarlama ve satış olarak karşımıza çıkmaktadır. Üretken yapay zeka kullanımının cinsiyet temelli dağılımına bakıldığında en yüksek kullanımın 16-24 yaş aralığında, yükseköğretim kademesinde eğitim gören kadınlar tarafından gerçekleştiği yönündedir (TUİK, 2025).

Yapay zekanın hızla ilerlemesi insan psikolojisi üzerinde endişeleri arttırarak yapay zeka kaygısının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Yapay zekanın soyut doğası, günlük hayata yaygın entegrasyonu ve geleceğe yönelik derin etkileri, etkin bir stres kaynağı olmaktadır. Yapay zekanın karmaşıklığı birçok kişi için bunaltıcı olabilmekte ve artan bir kırılganlık duygusu ile kontrol kaybına yol açabilmektedir. Yapay zeka teknolojilerinin hızlanmış gelişmesinden kaynaklanan endişe ve korku halini ifade eden yapay zeka kaygısının farklı tanımlamaları mevcuttur. Johnson ve Verdicchio (2017) yapay zeka kaygısını kontrol edilemez olarak algılanan yapay zeka ile ilişkili korku ve kaygı duygularını tanımlamak için kullanmaktadırlar. Kaya vd. (2022), yapay zeka kaygısını, yapay zeka teknolojilerinin getirdiği kişisel veya sosyal yaşamdaki değişikliklere karşı korku olarak tanımlamaktadırlar. Uygungil-Erdogan vd. (2025), yapay zekanın gelecekte yaratacağı etkiler karşında hissedilen korku ve duygu bileşimini yapay zeka kaygısı olarak ifade etmektedirler. Kim vd. (2025)'e göre yapay zeka kaygısı, yapay zeka teknolojilerinin yaşamın farklı alanlarında hızla gelişme göstermesinden dolayı bireylerde oluşan rahatsızlık duygusu olarak tanımlamaktadır. Wang ve Wang (2022), yapay zeka kaygısının bilgisayarların "insan" olmanın özünü tehdit edebileceği endişelerinden kaynaklandığını ifade etmektedir. Ayrıca Wang (2022) yapay zeka kaygısını, bireylerin yapay zeka ile etkileşim kurmasını engelleyen duygusal korku tepkisi olarak tanımlamaktadır. Li ve Huang (2020), Wang ve Wang (2022)'e göre yapay zeka kaygısı öğrenme kaygısı, işini kaybetme kaygısı, sosyo-teknik körlük, yapay zekâ yapılandırma kaygısı, mahremiyet ihlali kaygısı, algoritmik önyargı kaygısı, varoluşsal risk

kaygısı, yapay bilinç kaygısı, şeffaflık eksikliği kaygısı ve etik dışılık kaygısı gibi birçok boyu olan üst düzey kavram olarak değerlendirilmektedir (Kim vd., 2025: 3995; Alsudays, 2026:2).

Girişimcilik ekonomide en az anlaşılan konular arasında yer almaktadır. Ekonomistler girişimciliği genel olarak bireyin iş dünyasındaki başarıları ile özdeşleştirmektedirler. Tanımlanması son derece güç ve çok boyutlu bir kavram olan girişimciliğin ekonomik performans üzerindeki etkilerini belirlemek son derece zordur. Girişimcilik, belirsiz iş koşulları altında başarılı bir iş performansına yol açacak kilit unsurlardan bir tanesidir. Modern piyasa ekonomisi anlayışı çerçevesinde girişimci; yenilikçi ve proaktif davranışlar sergileyen, yeni projeler geliştirmek amacıyla bilinçli olarak finansal riskler üstlenen ekonomik aktördür. Al-Mamary (2025) girişimciliği, fikirleri hem ekonomiye hem de topluma fayda sağlayan organize girişimlere dönüştürmeye odaklanan mantık ve hayal gücünün birleşimi olarak tanımlamaktadır. Bir işletme kurabilmek için girişimcinin girişimcilik fırsatlarını belirleme yeteneğinin bulunması gerekir. Yeterli düzeyde finansal kaynak, beşeri sermaye ve fiziksel tesis oluşturulduktan sonra girişimciler mal veya hizmet üretebilirler. Girişimcilik, belirsiz iş koşullarına rağmen başarılı iş performansına yol açan kilit unsurdur. Schumpeter (1934)'ın "yaratıcı yıkım" olarak isimlendirdiği, özünde yenilikçi girişim bulunan, ekonomik kalkınmanın ve sosyal değişimin itici gücünü oluşturan, mevcut pazarları ve ürünleri yok eden yeniliklerin ortaya çıkışını girişimcilik kavramıyla ifade etmektedir. Hızla değişen iş ortamlarında yeni ve yenilikçi iş ortamları bulabilmek büyük önem arz ettiğinden dolayı girişimcilik faaliyetlerine olan ilgi artmaya devam etmektedir (Resu vd., 2012: 5371; Cho ve Lee, 2018: 124-125).

Teknoloji çağında yapay zekanın girişimcilik niyeti üzerindeki rolü son derece önemlidir ve iş girişimleri açısından yeni fırsatlar sunmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin giderek daha fazla girişimcilik faaliyetlerine entegre olması ve benimsenmesinin ardından yapay zekanın girişimcilik yönelimini nasıl etkilediği konusunda akademik ilginin oluştuğu görülmektedir. Girişimci yönelim, karar alma stilleri, yöntemleri ve uygulamalarının girişimci yönlerini yakalamaktadır. Dolayısıyla girişimcilik yönelimi, piyasayı canlandırmak amacıyla yenilik yapma isteğinde bulunmayı, hizmet ve pazar denemelerinde bulunabilmek için risk almayı, yeni pazar fırsatlarını yakalayabilmek için rakiplerden daha proaktif olmayı gerektirmektedir. O halde girişimcilik yönelimini, yenilikçiliğe, proaktifliğe ve risk almaya yönelik girişimci eğilimi olarak tanımlamak mümkündür (Zulfiqar vd., 2025: 2; Wiklund ve Shepherd, 2005: 72; Kukanja, 2024: 4).

Yapay zeka kaygısının girişimcilik yönelimi üzerine etkisini araştıran çalışmaların sınırlılığı dikkat çekmektedir. Ayrıca var olan ampirik analizler yapay zekâ kaygısının girişimcilik yönelimi üzerindeki etkisine dair fikir birliği bulunmadığını göstermektedir. Kılıç (2026) yapmış olduğu çalışmada girişimcilik kariyer hedefi bulunan kimselerde önemli ölçüde daha düşük yapay zeka kaygısı olduğunu gözlemlemiştir. Seyrek (2025)'e ait çalışma sonuçlarına göre ise bireylerin göstermiş olduğu olumlu üretken yapay zekâ tutumlarının bireysel girişimcilik yönelimini önemli ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışma girişimcilik yöneliminde cinsiyet farklılıkları bulunduğunu, erkek öğrencilerin fırsatçı girişimciliğe daha yatkın olurken, kadın öğrencilerin yaratıcı girişimciliğe daha yatkın olduğunu göstermektedir. Crnogaj vd. (2025) yapmış oldukları çalışmada genç girişimcilerin yapay zekânın sağladığı faydaları daha yüksek düzeyde algıladığını ve yapay zekânın işletmeler üzerinde gelecekteki etkilerine dair daha olumlu beklentilere sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Xing ve Lee (2025) çalışmalarında yapay zekâ kaygısının girişimcilik niyeti üzerinde marjinal düzeyde anlamlı ve pozitif etki ettiğini ifade etmektedirler. Çalışma sonuçları, öğrencilerin yapay zekâya ilişkin kaygılarının giderilmesiyle birlikte, yapay zekânın sunduğu fırsatlardan daha etkin biçimde yararlanabileceklerine işaret etmektedir. Kukanja (2024)'nın yapısal denklem modellemesi (SEM) kullanarak yapmış olduğu çalışmada yapay zekanın benimsenmesinin girişimcilik yönelimi üzerinde özellikle proaktiflik ve yenilikçilik üzerinde zayıf bir negatif etkiye sahip olduğu görülmektedir.

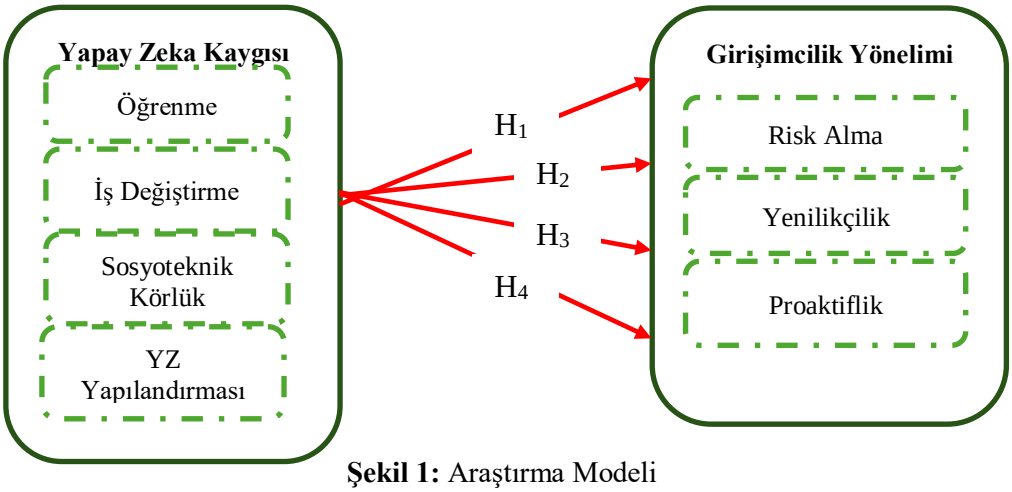
Yapay zeka teknolojilerinin hızlı gelişimi istihdam piyasasında yeniden şekillendirmeler yaratarak üniversite öğrencilerinin geleceğe yönelik kariyer planlarında yaygın bir kaygıya neden olmaktadır. Yapay zekanın iş yaşamına sunduğu birçok avantaj olmasına rağmen oluşturmuş olduğu kaygının boyutları hala tartışılmaktadır. Yapay zeka kaygısının girişimcilik yönelimi üzerindeki etkisini araştırın çalışmaların sınırlılığı göz önünde bulundurulduğunda bu çalışmayla, yapay zeka kaygısının girişimcilik yönelimini nasıl şekillendirdiğine dair anlayışı geliştirerek literatüre katkıda bulunmayı ve yapay zeka teknolojilerinin dönüştürücü ortamında yol alan akademisyenler ve uygulayıcılar için değerli bilgilerin

sunulması amaçlanmaktadır. Yapay zeka teknolojilerinin girişimcilik yöneliminde etki yaratabileceği alanda eğitim gören üniversite öğrencileri örneklemiyle yapılan bu çalışmanın uluslararası yazına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

METODOLOJİ

Araştırmanın Modeli ve Hipotezler

Bu araştırma, yapay zekâ kaygısının girişimcilik yönelimi üzerindeki etkisini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Araştırmanın temel amacı, değişkenler arasındaki ilişkinin varlığını ve yönünü incelemek olduğundan, çalışma ilişkisel tarama modeli esas alınarak tasarlanmıştır. İlişkisel tarama modeli, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkinin varlığını, yönünü ve birlikte değişim düzeyini belirlemeye imkân tanıyan nicel araştırma modellerinden biridir (Karasar, 2009: 81). Araştırma kapsamında yapay zekâ kaygısı; öğrenme, iş değiştirme, sosyoteknik körlük ve yapay zekâ yapılandırması olmak üzere dört alt boyuttan oluşan bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Bireysel girişimcilik yönelimi ise risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik boyutlarından meydana gelen bağımlı değişken olarak incelenmiştir. Araştırmada test edilmesi amaçlanan hipotezler ile bu hipotezler doğrultusunda oluşturulan araştırma modeli aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 1: Araştırma Modeli

$H_{1(a)(b)(c)}$: Yapay zeka kaygısının öğrenme boyutunun girişimcilik yöneliminin tüm boyutları üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.
$H_{2(a)(b)(c)}$: Yapay zeka kaygısının iş değiştirme boyutunun girişimcilik yöneliminin tüm boyutları üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.
$H_{3(a)(b)(c)}$: Yapay zeka kaygısının sosyoteknik körlük boyutunun girişimcilik yöneliminin tüm boyutları üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.
$H_{4(a)(b)(c)}$: Yapay zeka kaygısının yapay zeka yapılandırma boyutunun girişimcilik yöneliminin tüm boyutları üzerinde anlamlı bir etkisi vardır.

Evren ve Örneklem

Araştırmanın evreni, 2025–2026 eğitim-öğretim yılı bahar yarıyılında Gaziantep Üniversitesi İslahiye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde öğrenimine devam eden 468 öğrenciden oluşmaktadır. Evrenin tamamına erişimin zaman ve maliyet bakımından çeşitli sınırlılıklar içermesi nedeniyle, araştırmada olasılıklı olmayan örnekleme yöntemleri kapsamında yer alan kolayda örnekleme yöntemi benimsenmiştir. Bu kapsamda araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul eden 230 öğrenciye anket uygulanmıştır. Ancak veri temizleme sürecinde eksik, hatalı veya tutarsız kodlamalar içeren anketler analiz dışı bırakılmış ve değerlendirmeye uygun bulunan 186 anket formu istatistiksel analizlere dâhil edilmiştir.
Katılımcıların demografik özellikleri incelendiğinde, örneklemin %69,29'unun kadın öğrencilerden oluştuğu belirlenmiştir. Bölümlere göre dağılım değerlendirildiğinde, katılımcıların %51,1'inin Kamu Yönetimi, %39,8'inin İktisat ve %9,1'inin İşletme Bölümü öğrencisi olduğu görülmektedir.

Yaş dağılımı açısından katılımcıların %44,1'i 23–26 yaş grubunda yer alırken, sınıf düzeyine göre en yüksek oranı %43 ile ikinci sınıf öğrencileri oluşturmaktadır. Araştırma örneklemini oluşturan katılımcılara ilişkin demografik özellikler ayrıntılı biçimde Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Örneklem ile İlgili Demografik Özellikler

Değişkenler	Gruplar	Frekans (n)	Yüzde (%)
Cinsiyet	Erkek	56	30,1
	Kadın	130	69,9
Sınıf	1. Sınıf	60	32,3
	2. Sınıf	80	43,0
	3. Sınıf	33	17,7
	4. Sınıf	13	7,0
Bölüm	Kamu Yönetimi Bölümü	95	51,1
	İktisat Bölümü	74	39,8
	İşletme Bölümü	17	9,1
Yaş	18 yaş ve altı	18	9,7
	19-22 yaş arası	72	38,7
	23-26 yaş arası	82	44,1
	27 yaş ve üzeri	14	7,5

Veri Toplama Araçları

Araştırmada veri toplama sürecinde anket tekniği kullanılmıştır. İki bölümden oluşan veri toplama aracının ilk kısmında katılımcıların demografik özelliklerini belirlemeye yönelik sorular yer almaktadır. İkinci bölümde ise katılımcıların yapay zekâ kaygısı ile girişimcilik yönelim düzeylerini değerlendirmek amacıyla, 1 = "Hiç Katılmıyorum" ile 5 = "Tamamen Katılıyorum" arasında derecelendirilen beşli Likert tipi ölçeklerden yararlanılmıştır.

Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeği: Katılımcıların yapay zekâya yönelik kaygı düzeylerini belirlemek amacıyla Wang ve Wang (2019) tarafından geliştirilen Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeği kullanılmıştır. Ölçeğin Türkçe uyarlaması, geçerlik ve güvenirlik çalışması Akkaya ve arkadaşları (2021) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ölçek, öğrenme, iş değişimi, sosyoteknik körlük ve yapay zekâ yapılandırması olmak üzere dört alt boyut ve 16 maddeden oluşmaktadır.

Girişimcilik Yönelimi Ölçeği: Katılımcıların girişimcilik yönelimlerini değerlendirmek amacıyla Bolton ve Lane (2012) tarafından geliştirilen ve Ercan ile Yıldıran (2021) tarafından Türkçeye uyarlanan Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçek, risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik olmak üzere üç alt boyut ve 10 maddeden oluşmaktadır.

BULGULAR

Araştırmada kullanılan ölçeklerin faktör yapılarını ortaya koymak ve yapı geçerliliklerini değerlendirmek amacıyla açıklayıcı faktör analizi (AFA) uygulanmıştır. Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeği ile Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeğine ilişkin açıklayıcı faktör analizi sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Açıklayıcı Faktör Analizi Sonuçları

Yapay Zeka Kaygısı ve Girişimcilik Yönelimi Ölçeklerine İlişkin Faktörler		Soru	Faktör Yükleri	Öz Değer	Varyans %	Açıklanan Varyans	K-M-O	Barlett Küresellik Testi	Sig.
Yapay Zeka Kaygısı	Öğrenme	5	,737-,907	3,852	24,072	76,889	,904	2227,716	,000
	İş değiştirme	4	,671-,825	2,955	18,467				
	Sosyoteknik Körlük	4	,637-,819	2,903	18,143				
	YZ yapılandırması	3	,786-,864	2,593	16,207				
	Risk Alma	3	,644-,805	2,670	26,704	74,897	,895	1113,839	,000

Girişimcilik Yönelimi	Yenilikçilik	4	,578-,819	2,437	24,369
	Proaktiflik	3	,674-,823	2,382	23,824

Tablo 2'de sunulan açıklayıcı faktör analizi bulgularına göre, Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeği (KMO = ,904; χ^2 = 2227,716; p < ,001) ile Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeği (KMO = ,895; χ^2 = 1113,839; p < ,001) için hesaplanan KMO değerlerinin 0,60'ın üzerinde olması ve Bartlett Küresellik Testi sonuçlarının istatistiksel olarak anlamlı bulunması, veri setinin faktör analizine uygun olduğunu göstermektedir. Analiz sonuçları, Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeğinin öz değeri 1'in üzerinde bulunan dört faktörden oluştuğunu ve bu faktörlerin toplam varyansın %76,889'unu açıkladığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeğinin öz değeri 1'in üzerinde üç faktörlü bir yapı sergilediği ve bu faktörlerin toplam varyansın %74,897'sini açıkladığı belirlenmiştir. Ayrıca, Yapay Zekâ Kaygısı Ölçeğine ait maddelerin faktör yüklerinin ,637 ile ,907 arasında, Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeğine ait maddelerin faktör yüklerinin ise ,578 ile ,823 arasında değiştiği saptanmıştır. Elde edilen bu bulgular, her iki ölçeğin de geçerli bir faktör yapısına sahip olduğunu desteklemektedir. Yapay zekâ kaygısı ve bireysel girişimcilik yönelimine ilişkin boyutların ortalama, standart sapma, çarpıklık, basıklık ile iç tutarlılık düzeylerini gösteren güvenilirlik katsayıları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Ölçeklere İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler ve Cronbach α Katsayıları

Değişkenler		**Ortalama**	**Std. Hata**	**Çarpıklık**	**Basıklık**	**Cronbach α**
Yapay Zekâ Kaygısı	Öğrenme	2,43	,900	,607	,438	,910
	İş değiştirme	3,34	1,035	-,540	-,282	,871
	Sosyoteknik Körlük	3,37	,979	-,530	-,206	,866
	YZ yapılandırması	3,13	1,071	-,105	-,815	,912
Girişimcilik Yönelimi	Risk Alma	3,54	,850	-,403	,150	,768
	Yenilikçilik	3,69	,834	-,610	,546	,872
	Proaktiflik	3,79	,817	-,670	,973	,843

Tablo 3'te, araştırmada yer alan değişkenlere ilişkin aritmetik ortalama, standart sapma, çarpıklık, basıklık ve güvenirlik katsayıları sunulmaktadır. Yapay zekâ kaygısının alt boyutlarından öğrenme boyutunun ortalamasının 2,43 (SS = ,900) ile diğer boyutlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Buna karşın iş değiştirme (Ort. = 3,34; SS = 1,035), sosyoteknik körlük (Ort. = 3,37; SS = ,979) ve yapay zekâ yapılandırması (Ort. = 3,13; SS = 1,071) boyutlarının orta düzeyin üzerinde ortalama değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bireysel girişimcilik yönelimi boyutları incelendiğinde ise proaktiflik boyutunun en yüksek ortalamaya (Ort. = 3,79; SS = ,817) sahip olduğu, bunu yenilikçilik (Ort. = 3,69; SS = ,834) ve risk alma (Ort. = 3,54; SS = ,850) boyutlarının izlediği görülmektedir. Değişkenlerin dağılım özellikleri değerlendirildiğinde, çarpıklık değerlerinin-,670 ile ,607, basıklık değerlerinin ise-,815 ile ,973 arasında değiştiği görülmektedir. Çarpıklık ve basıklık katsayılarının ±1 sınırları içerisinde yer alması, veri setinin normal dağılım varsayımını karşıladığını göstermektedir (Tabachnick ve Fidell, 2013: 133). Ölçeklerin güvenirlik düzeylerini belirlemek amacıyla hesaplanan Cronbach's Alpha katsayılarının tüm boyutlar için ,70'in üzerinde olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, araştırmada kullanılan ölçme araçlarının yeterli düzeyde iç tutarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.
Araştırmada, yapay zekâ kaygısı ile bireysel girişimcilik yönelimine ilişkin alt boyutlar arasındaki ilişkilerin ortaya konulması amacıyla korelasyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonucunda elde edilen korelasyon katsayılarına ilişkin bulgular Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Yapay Zeka Kaygısı ile Bireysel Girişimcilik Yönelimi Arasındaki İlişkiye Yönelik Korelasyon Matrisi

Değişkenler		Risk Alma	Yenilikçilik	Proaktiflik
Öğrenme	**r**	,016	,071	-,074
	p	,826	,338	,318
İş Değiştirme	**r**	,083	,166*	,170*
	p	,841	,023	,020
Sosyoteknik Körlük	**r**	,273**	,285**	,251**
	p	,000	,000	,000
YZ Yapılandırması	**r**	,218**	,255**	,139
	p	,000	,000	,059

*p<0,05; **p<0,01

Tablo 4'te sunulan korelasyon analizi bulguları, yapay zekâ kaygısının alt boyutları ile bireysel girişimcilik yöneliminin alt boyutları arasında farklı düzeylerde ilişkiler bulunduğunu göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre, öğrenme boyutu ile bireysel girişimcilik yöneliminin risk alma (r = ,016; p > ,05), yenilikçilik (r = ,071; p > ,05) ve proaktiflik (r = -,074; p > ,05) boyutları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmemiştir. İş değiştirme boyutu ile risk alma arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken (r = ,083; p > ,05), yenilikçilik (r = ,166; p < ,05) ve proaktiflik (r = ,170; p < ,05) boyutları arasında pozitif yönlü ve düşük düzeyde anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Sosyoteknik körlük boyutu ile risk alma (r = ,273; p < ,01), yenilikçilik (r = ,285; p < ,01) ve proaktiflik (r = ,251; p < ,01) arasında pozitif yönlü anlamlı ilişkiler bulunmaktadır. Benzer şekilde, yapay zekâ yapılandırması boyutu ile risk alma (r = ,218; p < ,01) ve yenilikçilik (r = ,255; p < ,01) arasında pozitif yönlü ve düşük düzeyde anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Buna karşın, yapay zekâ yapılandırması ile proaktiflik arasındaki ilişkinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı tespit edilmiştir (r = ,139; p > ,05).
Sonuç olarak, yapay zekâ kaygısının tüm boyutlarının bireysel girişimcilik yönelimiyle aynı düzeyde ilişkili olmadığı görülmektedir. Özellikle sosyoteknik körlük boyutu bireysel girişimcilik yöneliminin tüm alt boyutlarıyla anlamlı ilişki gösterirken, öğrenme boyutunun bireysel girişimcilik yönelimiyle anlamlı bir ilişkisinin bulunmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, anlamlı bulunan korelasyon katsayılarının tamamının düşük düzeyde olması, değişkenler arasındaki ilişkilerin zayıf olmakla birlikte pozitif yönde olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 5. Regresyon Analizi Sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken		β	t	p	R^2	Model F	Model P
Risk Alma	$H_{1(a)}$	Öğrenme	-,020	-,262	,793	,116	5,950	,000
	$H_{2(a)}$	İş değiştirme	-,298	-2,718	,007			
	$H_{3(a)}$	Sosyoteknik Körlük	,412	3,573	,000			
	$H_{4(a)}$	YZ yapılandırması	,134	1,373	,171			

Tablo 5'te, yapay zekâ kaygısının alt boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin risk alma boyutu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonuçları sunulmaktadır. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon modelinin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olduğu görülmektedir (F = 5,950; p < ,001). Ayrıca bağımsız değişkenlerin birlikte risk alma değişkenindeki toplam varyansın %11,6'sını açıkladığı belirlenmiştir (R^2 = ,116).
Regresyon katsayıları incelendiğinde, öğrenme boyutunun risk alma üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı görülmektedir (β = -,020; t = -,262; p = ,793). Benzer şekilde, yapay zekâ yapılandırması boyutunun da risk alma üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi tespit edilmemiştir (β = ,134; t = 1,373; p = ,171).

Buna karşılık, iş değiştirme boyutunun risk alma üzerinde negatif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (β = -,298; t = -2,718; p = ,007). Bu bulgu, diğer değişkenler sabit tutulduğunda iş değiştirmeye yönelik yapay zekâ kaygısındaki artışın öğrencilerin risk alma eğilimini azalttığını göstermektedir.
Ayrıca, sosyoteknik körlük boyutunun risk alma üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (β = ,412; t = 3,573; p < ,001). Buna göre, sosyoteknik körlük düzeyi arttıkça öğrencilerin risk alma eğilimlerinin de arttığı söylenebilir. Bu bulgular doğrultusunda **$H_{2(a)}$** ve **$H_{3(a)}$** hipotezleri desteklenmiş, buna karşın **$H_{1(a)}$, ve $H_{4(a)}$** hipotezleri desteklenmemiştir.

Tablo 6. Regresyon Analizi Sonuçları

Bağımlı Değişken	**Bağımsız Değişken**		**β**	**t**	**p**	**R^2**	**Model F**	**Model P**
Yenilikçilik	**$H_{1(b)}$**	Öğrenme	,007	,086	,931	,098	4,919	,000
	$H_{2(b)}$	İş değiştirme	-,143	-1,291	,198			
	$H_{3(b)}$	Sosyoteknik Körlük	,295	2,537	,012			
	$H_{4(b)}$	YZ yapılandırması	,146	1,482	,140			

Tablo 6'da, yapay zekâ kaygısının alt boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin yenilikçilik boyutu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonuçları sunulmaktadır. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon modelinin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (F = 4,919; p < ,001). Ayrıca bağımsız değişkenlerin birlikte yenilikçilik değişkenindeki toplam varyansın %9,8'ini açıkladığı görülmektedir (R^2 = ,098).
Regresyon katsayıları değerlendirildiğinde, öğrenme boyutunun yenilikçilik üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir (β = ,007; t = ,086; p = ,931). Benzer şekilde, iş değiştirme (β = -,143; t = -1,291; p = ,198) ve yapay zekâ yapılandırması (β = ,146; t = 1,482; p = ,140) boyutlarının da yenilikçilik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir.
Buna karşılık, sosyoteknik körlük boyutunun yenilikçilik üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkiye sahip olduğu görülmektedir (β = ,295; t = 2,537; p = ,012). Bu bulgu, diğer bağımsız değişkenlerin etkisi kontrol altında tutulduğunda, sosyoteknik körlük düzeyindeki artışın öğrencilerin yenilikçilik yönelimini artırdığını göstermektedir. Bu bulgular doğrultusunda **$H_{3(b)}$** hipotezi desteklenmiş, buna karşın **$H_{1(b)}$, $H_{2(b)}$ ve $H_{4(a)}$** hipotezleri desteklenmemiştir.

Tablo 7. Regresyon Analizi Sonuçları

Bağımlı Değişken	**Bağımsız Değişken**		**β**	**t**	**p**	**R^2**	**Model F**	**Model P**
Proaktiflik	**$H_{1(a)}$**	Öğrenme	-,128	-1,646	,102	,078	3,842	,000
	$H_{2(a)}$	İş değiştirme	,003	,031	,975			
	$H_{3(a)}$	Sosyoteknik Körlük	,268	2,279	,024			
	$H_{4(a)}$	YZ yapılandırması	,007	,070	,944			

Tablo 7'de, yapay zekâ kaygısının alt boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin proaktiflik boyutu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen çoklu regresyon analizi sonuçları yer almaktadır. Analiz sonucunda oluşturulan regresyon modelinin genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı olduğu belirlenmiştir (F = 3,842; p < ,001). Ayrıca bağımsız değişkenlerin birlikte yenilikçilik değişkenindeki toplam varyansın %7,8'ini açıkladığı görülmektedir (R^2 = ,078).
Regresyon katsayıları incelendiğinde, öğrenme boyutunun proaktiflik üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı belirlenmiştir (β = -,128; t = -1,646; p = ,102). Benzer şekilde, iş değiştirme (β = ,003; t =

,031; p = ,975) ve yapay zekâ yapılandırması (β = ,007; t = ,070; p = ,944) boyutlarının da proaktiflik üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
Buna karşın, sosyoteknik körlük boyutunun proaktiflik üzerinde pozitif yönlü ve anlamlı bir etkisinin olduğu görülmektedir (β = ,268; t = 2,279; p = ,024). Bu bulgu, diğer bağımsız değişkenlerin etkisi kontrol altında tutulduğunda, sosyoteknik körlük düzeyindeki artışın öğrencilerin proaktiflik düzeylerini artırdığını göstermektedir. Bu bulgular doğrultusunda $\mathbf{H_{3(c)}}$ hipotezi desteklenmiş, buna karşın $\mathbf{H_{1(c)}}$, $\mathbf{H_{2(c)}}$, ve $\mathbf{H_{4(c)}}$ hipotezleri desteklenmemiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırmada, üniversite öğrencilerinin yapay zekâ kaygısının bireysel girişimcilik yönelimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gaziantep Üniversitesi İslahiye İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesinde öğrenim gören 186 öğrenciden elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda, yapay zekâ kaygısının bireysel girişimcilik yönelimi üzerinde tüm boyutlar açısından aynı düzeyde etkili olmadığı belirlenmiştir.
Araştırma kapsamında yapılan korelasyon analizi bulguları, yapay zekâ kaygısının alt boyutları ile bireysel girişimcilik yöneliminin risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik boyutları arasında farklı yön ve düzeylerde ilişkiler bulunduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, yapay zekâ kaygısının girişimcilik yönelimini tek boyutlu ve doğrusal bir şekilde etkilemediğini, aksine kaygıyı oluşturan farklı bileşenlerin girişimcilik davranışları üzerinde birbirinden farklı etkiler yaratabildiğini göstermektedir.
Araştırmada, yapay zekâ kaygısının alt boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik boyutları üzerindeki etkisi çoklu regresyon analizi ile incelenmiştir. Elde edilen bulgular, sosyoteknik körlük boyutu risk alma, yenilikçilik ve proaktiflik üzerinde pozitif ve anlamlı bir etkiye sahipken, iş değiştirme kaygısı yalnızca risk alma üzerinde negatif ve anlamlı bir etkisi olduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık, öğrenme ve yapay zekâ yapılandırması boyutlarının bireysel girişimcilik yöneliminin herhangi bir alt boyutu üzerinde anlamlı bir etkisi bulunmamıştır. Araştırma sonuçları, yapay zekâ kaygısının tüm boyutlarının girişimcilik yönelimini aynı şekilde etkilemediğini; özellikle sosyoteknik körlüğün girişimcilik yönelimini destekleyen, iş değiştirme kaygısının ise risk alma eğilimini azaltan önemli belirleyiciler olduğunu ortaya koymaktadır.
Çalışmadan elde edilen ampirik bulgular neticesinde yapay zeka kaynaklı dönüşümün üniversitelerde öğrenim gören öğrenciler açısından önemli çıkarımlar sunduğu görülmektedir. Benzeri görülmemiş teknolojik dönüşüm karşısında, üniversite öğrencilerinin yaşadıkları istihdam kaygısını azaltmaya yardımcı olacak uyum sağlayıcı istihdam planlaması ve öğrencilerin karar verme becerilerini geliştirmeye yönelik eşgüdümlü müdahalelerin varlığı gereklilik göstermektedir. Bu nedenle üniversiteler, istihdama yönelik kariyer hizmetlerini yalnızca geleneksel iş bulma faaliyetleriyle sınırlı bırakmamalı öğrencilerin psikolojik ve yetkinlik eksikliklerini giderecek şekilde istihdam planlamasına katkı sağlamalıdır. Öğrencilerin istihdam kaygısı, yapay zekâ kaynaklı kariyer endişeleri mesleki geleceklerini şekillendirme konusunda kendilerini giderek daha yetersiz hissettiklerini göstermektedir. Bu nedenle öğrenciler üzerinde yalnızca yapay zekâ hakkında temel farkındalık oluşturmanın ötesine geçmelidir. Yükseköğretim kurumlarında öğrencilere yapay zekânın kapasitesi, sınırlılıkları ve otomasyona karşı dirençli olan tamamlayıcı insan becerileri konusunda derinlemesine bilgi kazandırmalıdır. Bazı akademik bölümlerde istihdamda yaşanan yüksek düzeydeki kaygı probleminin önüne geçmeyi amaçlayan insan- yapay zeka iş birliği temelli staj programlarının desteklenmesi etkili olabilir. Politika yapıcıların yapay zekâ teknolojilerinin uygulandığı sektörlerde AI'nin kullanım şekilleri üzerinde sağlayacağı şeffaflık zorunlu hale getirilebilir. Böylelikle öğrencilerin istihdam kaybı yaşayabileceği sektörler ile görevlerde yapılandırmaların gerçekleştiği sektörleri daha net bir biçimde ayırt edebilmeleri sağlanabilir. Öğrenciler yapay zeka teknoloji kullanımında insan sezgisi ve makine kullanımını bir araya getirebilmelidir.
Araştırmanın bulguları, yalnızca akademik açıdan önem taşımamakta aynı zamansa istihdam ve kariyer hizmetlerini yeniden yapılandıran üniversiteler, iş gücü gelişim süreçlerini oluşturan politika yapıcılar, işe ve sektöre uyum sağlayabilen yetenekleri istihdam etmeyi amaç edinen kuruluşlar ve belirsizliklerin hakim olduğu gücü piyasalarında kariyer planlaması yaparak istihdam alanlarını şekillendirmeye çalışan öğrencilere yol gösterici öneriler sunmaktadır.

Yapay zekânın mesleki yaşamın tüm alanlarına hızla entegre olmaya devam ettiği günümüzde, eğitim kurumlarının, kamu otoritelerinin, işverenlerin ve bireylerin istihdam ve kariyer başarısı açısından yapay zeka teknolojilerine uyumu kritik bir gereklilik hâline gelmiştir.

KAYNAKLAR

Akkaya, B., Özkan, A., & Özkan, H. (2021). Yapay Zeka Kaygı (YZK) Ölçeği: Türkçeye Uyarlama, Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması. *Alanya Akademik Bakış,* 5(2), 1125-1146. https://doi.org/10.29023/alanyaakademik.833668

Alsudays, S. (2026). Dimensions of Artificial Intelligence Anxiety Among Employees in the Age of Innovation: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology, 17,* 1824525. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1824525

Al-Mamary, Y. H. (2025). The transformative power of artificial intelligence in entrepreneurship: exploring AI's capabilities for the success of entrepreneurial ventures. *Future Business Journal*, *11*(1), 104. https://doi.org/10.1186/s43093-025-00533-7

Bolton, D. L. & Lane, M. D. (2012). Individual Entrepreneurial Orientation: Development Of A Measurement Instrument, *Education+Training,*54(2/3), 219-233.

Bui, H. N., & Duong, C. D. (2024). ChatGPT Adoption in Entrepreneurship and Digital Entrepreneurial Intention: A Moderated Mediation Model of Technostress and Digital Entrepreneurial Self-Efficacy. Equilibrium. *Quarterly Journal of Economics and Economic Policy, 19(2),* 391-428.

Cho, Y. H., & Lee, J. H. (2018). Entrepreneurial Orientation, Entrepreneurial Education and Performance. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship, 12(2),* 124-134. https://doi.org/10.1108/APJIE-05-2018-0028

Crnogaj, K., Slaček, P., & Rožman, M. (2025). Mind the AI Gap: Asymmetrical Age Differences in Entrepreneurs' Perceptions of Artificial Intelligence. *Administrative Sciences, 16(1),* 8. https://doi.org/10.3390/admsci16010008

Ercan, S., & Yıldıran, C. (2021). Bireysel Girişimcilik Yönelimi Ölçeği'nin Türkçe'ye Uyarlanması. *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi,* 16(1), 91-105. https://izlik.org/JA56KB74AK

Johnson, D. G., & Verdicchio, M. (2017). AI anxiety. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *68*(9), 2267-2270.

Karasar, N. (2009). *Araştırmalarda Rapor Hazırlama*, Ankara, Nobel Yayın Dağıtım.

Kaya, F., Aydin, F., Schepman, A., Rodway, P., Yetişensoy, O., & Demir Kaya, M. (2024). The Roles of Personality Traits, AI Anxiety, and Demographic Factors in Attitudes Toward Artificial Intelligence. *International Journal of Human–Computer Interaction, 40(2),* 497-514.

Kılıç, S. (2026). Potansiyel Çalışanlarda Yapay Zekâ Kaygısı: Sektör Tercihi, Dijital Yetkinlik Düzeyi ve Demografik Özellikler Açısından Bir Değerlendirme. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 19, 1.* https://doi.org/10.25287/ohuiibf.1721842

Kim, J. J., Soh, J., Kadkol, S., Solomon, I., Yeh, H., Srivatsa, A. V., & Ajilore, O. (2025). AI anxiety: A Comprehensive Analysis of Psychological Factors and Interventions. *AI and Ethics*, *5*(4), 3993-4009. https://doi.org/10.3390/bs15030249

Kong, L., & Zhang, H. (2026). Artificial Intelligence Shock, Employment Anxiety, and Career Decision-Making among College Students: A Management Analysis Based on the Theory of Planned Behavior. *Journal of Business and Economic Research, 2(2).* https://doi.org/10.63887/jber.2026.2.2.45

Kong, W., Hu, H., Wang, Z., Qiao, J., & Liu, J. (2025). The Double-Edged Sword Effect of Generative AI Adoption on Students' Sustainable Entrepreneurship Intentions. *Behavioral Sciences, 15(12),* 1705. https://doi.org/10.3390/bs15121705

Kukanja, M. (2024). Examining the Impact of Entrepreneurial Orientation, Self-Efficacy, and Perceived Business Performance on Managers' Attitudes Towards AI And İts Adoption İn Hospitality Smes. *Systems, 12(12),* 526. https://doi.org/10.3390/systems12120526

Li, J., & Huang, J. S. (2020). Dimensions of Artificial Intelligence Anxiety Based On The İntegrated Fear Acquisition Theory. *Technology in Society, 63,* 101410. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101410

Lytvyniuk, O. (2026). Synergy of Artificial Intelligence And Sustainable Intentions in Entrepreneurship Education: A Technological Aspect of Overcoming Fear. *World Journal of Multidisciplinary Research and Development, 2(2),* 8-19.

İnternet Kaynağı: https://www.pwc.com/structure.

Rusu, S., Isac, F., Cureteanu, R., & Csorba, L. (2012). Entrepreneurship and Entrepreneur: A Review of Literature Concepts. *African Journal of Business Management, 6(10),* 3570.

Schumpeter, J. A., & Swedberg, R. (2021). The Theory of Economic Development. Routledge.

Seyrek, U. A. (2025). *The Relationship Between Higher Education Students' Attitudes Towards Generative Artificial Intelligence And Their Individual Entrepreneurial Orientation* (Tez No. 970725) [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. Ulusal Tez Merkezi. https://hdl.handle.net/20.500.12712/51028

Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2013). *Using Multivariate Statistics* (sixth ed.) Pearson, Boston.

TUİK (2025). Yapay Zeka İstatistikleri,57945.

Uygungil-Erdogan, S., Şahin, Y., Sökmen-Alaca, A. İ., Oktaysoy, O., Altıntaş, M., & Topçuoğlu, V. (2025). Assessing the Effect of Artificial Intelligence Anxiety on Turnover Intention: The Mediating Role of Quiet Quitting in Turkish Small And Medium Enterprises. *Behavioral Sciences*, *15*(3), 249. https://doi.org/10.3390/bs15030249

Wang, Y. Y. & Wang, Y. S. (2019). Development and Validation of an Artificial Intelligence Anxiety Scale: An Initial Application in Predicting Motivated Learning Behavior. *Interactive Learning Environments*, 1–16. https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674887

Wang, Y. Y., & Wang, Y. S. (2022). Development and Validation of an Artificial Intelligence Anxiety Scale: An Initial Application in Predicting Motivated Learning Behavior. *Interactive Learning Environments*, *30(4),* 619-634. https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1674887

WEF (2026). Artificial Intelligence and the Future of Entry-Level Work: A Framework for Safeguarding and Reinventing Early Career Pathways. Erişim Tarihi: 25.07.2026.

Wiklund, J., & Shepherd, D. (2005). Entrepreneurial Orientation and Small Business Performance: A Configurational Approach. *Journal of Business Venturing, 20(1),* 71-91. https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2004.01.001

Xing, Y., & Lee, J. (2025). Artificial Intelligence Anxiety and Entrepreneurial Intentions among University Students: The Sequential Mediation of Mindset and Self-Efficacy. A Profile of Yih, Bongsook, 11, 142.

Zulfiqar, S., Sarwar, B., Huo, C., Zhao, X., & ul Mahasbi, H. (2025). AI-Powered Education: Driving Entrepreneurial Spirit Among University Students. *The International Journal of Management Education*, *23*(2), 101106. https://doi.org/10.1016/j.ijme.2024.101106

A REVIEW OF THE EFFECTS OF HIGH-DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) ON BITUMEN AND BITUMINOUS MIXTURES

Deniz ARSLAN
Asst. Prof. Dr. Department of Civil Engineering, Institute of Graduate Studies, Konya Technical University, Konya, Turkiye,
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-9493-2826

Rabia Sultan DEMIRHAN
Department of Civil Engineering, Institute of Graduate Studies, Konya Technical University, Konya, Turkiye,
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-5835-1502

ABSTRACT
Rutting, fatigue cracking, and moisture-induced damage in flexible pavements affect road safety and driving comfort under increasing traffic loads and high-temperature conditions. Therefore, sustainable modification methods to improve the performance of asphalt binders have attracted attention. The use of plastics, particularly High-Density Polyethylene (HDPE), as a bitumen-modifying additive helps reduce environmental pollution while improving the durability of highway pavements. The main objective of this study is to systematically review the effects of HDPE addition on the rheological, mechanical, physical, chemical, and microstructural behavior of hot mix asphalt (HMA) and asphalt binders based on the existing literature, and to evaluate the influence of different HDPE modification ratios on the performance of high-performance and environmentally friendly pavement designs. Accordingly, penetration, softening point, and viscosity measurements conducted on bitumen samples modified with various HDPE ratios, together with advanced rheological tests such as the Dynamic Shear Rheometer (DSR) and Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR), were reviewed. In addition, chemical and microstructural analyses performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM) were evaluated. Mixture performance was comparatively assessed using Marshall stability, Indirect Tensile Strength (IDT), Tensile Strength Ratio (TSR), Semi-Circular Bending (SCB), and wheel tracking test results. The reviewed literature indicates that HDPE modification enhances the binder's high-temperature stability and improves pavement elasticity and resistance to permanent deformation and moisture-induced damage. Overall, the reviewed literature demonstrates that using HDPE as a bitumen-modifying additive can extend pavement service life and improve engineering performance, while providing economic and environmental benefits through plastic waste management and the development of sustainable transportation infrastructure.
Keywords: Asphalt modification, High-Density Polyethylene, Hot mix asphalt, Polymer modified asphalt, Rutting resistance

INTRODUCTION
As a result of repeated traffic loads and various environmental effects on highway networks, damages such as rutting, fatigue, and thermal cracking occur in flexible pavements over time (Nguyen et al., 2023; Yasir et al., 2025). To extend the service life of road pavements, increase their mechanical resistance, and minimize maintenance and repair costs, polymer-modified bitumen (PMB) applications are preferred in HMA (Singh & Gupta, 2024). In asphalt modification, plastomers, which reduce permanent deformation by increasing the stiffness of the binder, are of great importance. HDPE, a member of the plastomer family, consists of a compact linear polymer chain with a low branching ratio. This dense arrangement generates strong intermolecular attractive forces, imparting high rigidity to the material (Ren et al., 2023; Singh & Gupta, 2024). Due to the high costs of virgin polymers, the integration of waste HDPE from packaging and piping industries has become a major research focus. As highlighted by Singh and Gupta (2024), upcycling this post-consumer plastic serves as a sustainable circular economy solution that mitigates municipal waste burdens while physically reinforcing the binder matrix to reduce life-cycle costs and extend pavement durability (Abdel-Raheem et al., 2023; Basheet & Latief, 2024).

This study aims to examine the effects of HDPE additives on the physical, rheological, mechanical, and microstructural performances of asphalt binders and HMA through a holistic and systematic approach by gathering current academic findings scattered in the literature through systematic searches conducted over international databases.

METHODS AND FINDINGS

This study is based on a systematic review of experimental research that examined the performance of HDPE additives in asphalt modification. Within the scope of the literature review, studies using HDPE as a modifier in bitumen and bituminous mixtures in leading international databases were examined and analysed. The primary dataset of the research consisted of articles containing the results of laboratory analyses (DSR, MSCR, IDT, SEM, etc.) in which HDPE obtained from various waste or virgin sources was added to the mixture through wet or dry processes. Building upon this compiled dataset, the examined studies on the use of HDPE additives in asphalt mixtures were comparatively analysed based on specific technical parameters.

Modification Parameters

The mixing conditions and methods differ among the studies examining the effects of HDPE additives on asphalt binders and asphalt mixtures. To analyse the applications on a common ground, the basic technical and modification parameters of the studies in the literature are summarized in Table 1.

Table 1. Additive Types, Ratios, and Mixing Conditions Reported in the Literature

Study	HDPE Source	Bitumen Type/ Grade	HDPE (%)	Additional Additives	Mixing Conditions (Temp, Time, Speed)
Abdel-Raheem et al. (2023)	HDPE	60/70	2, 4, 6, 8	Nano Clay (NC) (1, 2, 3, 4%)	180°C, 60 min, 4000 rpm
Basheet & Latief (2024)	Crushed HDPE powder	40/50	2, 4, 6	LDPE (2, 4, 6%)	165°C, 30 min, 3000 rpm
Costa et al. (2013)	REC waste HDPE	35/50	5	LDPE, EVA, ABS, Rubber	180°C, 60 min, 600 rpm
Deef-Allah & Mohamady (2014)	REC HDPE	60/70	2, 3, 4, 5, 6	PVC, Novolac, Waste Plastic	160-170°C, Wet process
Ghani et al. (2022)	Waste plastic bottles/bags	PG 58-22	2, 4, 6	LDPE (2, 4, 6%)	163°C, 60 min, 3000 rpm
Khurshid et al. (2019)	Waste plastic bottles	80/100	Wet:0.5-2 Dry: up to 10	LDPE, Crumb Rubber (CR)	170°C
Liang et al. (2019)	HDPE	60/70	2, 4, 6	LLDPE, LDPE, MDPE	160°C, 30 min, 4000 rpm

Table 1. Additive Types, Ratios, and Mixing Conditions Reported in the Literature (Continued)

Study	HDPE Source	Bitumen Type/ Grade	HDPE (%)	Additional Additives	Mixing Conditions (Temp, Time, Speed)
Moghadas Nejad et al. (2015)	Petrochemical HDPE	85/100	3, 7	-	180°C, 60 min, 5500 rpm
Moussa et al. (2020)	HDPE	60/70	2, 4, 6, 8	-	180°C, 60 min, 4000 rpm

Nguyen et al. (2023)	Waste plastic bottles, packaging	60/70	6, 8, 10, 12, 14	SBS	170°C, 30 min, 400-600 rpm
Nunes-Ramos et al. (2024)	REC waste HDPE	G 64-22 (50/70)	1, 3, 5	-	175°C, 45 min, 420 rpm
Olabemiwo et al. (2019)	HDPE	-	2, 4, 6	-	190-195°C, 90 min, 1200 rpm
Piromanski et al. (2020)	Waste water tanks & bottles	C170 & S35E (PMB)	2, 4, 6, 8	-	180°C, 40 min, 2500 rpm
Ren et al. (2023)	REC PE & HDPE	SK-70	5, 7	RET (1, 2, 3%)	160°C, High shear
Yasir et al. (2025)	HDPE granules	60/70	3, 6, 9	Bakelite Powder (6%)	Wet process blending

In the studies, HDPE additives are largely derived from a wide range of recycled plastic wastes (REC), such as wastewater tanks, plastic beverage bottles, food packaging, and plastic bags (Ghani et al., 2022; Khurshid et al., 2019; Nguyen et al., 2023; Piromanski et al., 2020). The base asphalt binders used in these studies range from 35/50 to 80/100 penetration grades. HDPE modification ratios used in the studies varied between 1% and 14%, with optimum results at different threshold values depending on the applied process (wet or dry) and the targeted performance criteria. When modification parameters are examined, due to the high melting point of HDPE (approximately 120-135 °C), it is observed that mixing is generally performed at a temperature of 180 °C for 60 minutes to ensure homogeneous penetration into the asphalt binder (Moghadas Nejad et al., 2015; Moussa et al., 2020). However, the literature also indicates that these values can vary over a wider range depending on the form of the material used and mixer type. In practice, temperature values typically range from 160 °C to 195 °C, while mixing times vary from 30 to 90 minutes. To prevent the polymer from agglomerating within the asphalt matrix, mixers with high shear speeds (between 3000 and 5500 rpm) are frequently used (Basheet & Latief, 2024; Nunes-Ramos et al., 2024).In this context, the presented table comparatively compiles the fundamental technical data of the examined studies, such as the HDPE source, base asphalt grade, tested additive ratios, additional additive types used for hybrid modification, and specific mixing conditions.

Rheological Properties

The physical properties of the unmodified and HDPE-modified asphalt binders, specifically penetration and softening point, are comparatively illustrated in Figure 1a and Figure 1b.

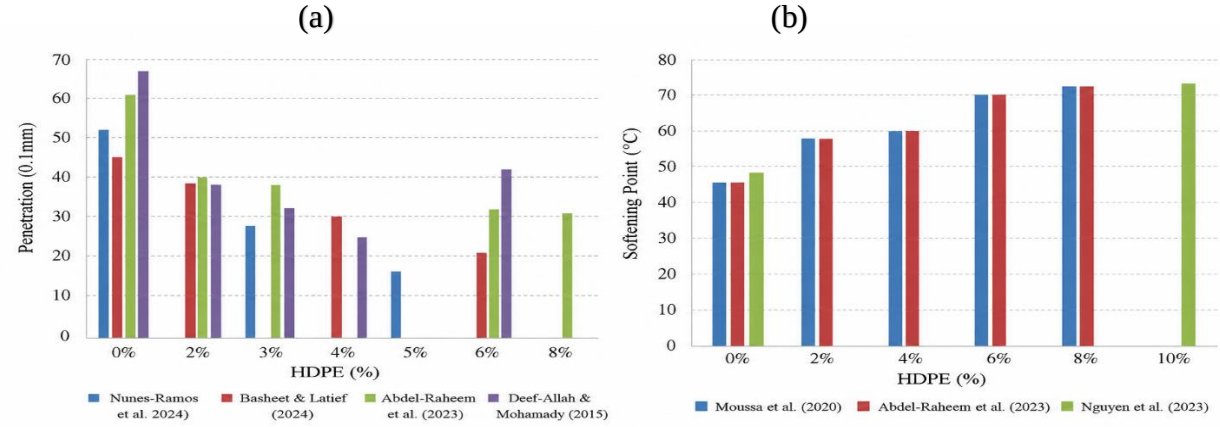


Figure 1. Multiple comparison charts of (a) penetration and (b) softening point values depending on the HDPE additive ratio (Abdel-Raheem et al., 2023; Basheet & Latief, 2024; Deef-Allah & Mohamady, 2014; Moussa et al., 2020; Nguyen et al., 2023; Nunes-Ramos et al., 2024).

Generally, as the HDPE additive ratio increases, the penetration value drops (Figure 1a). This shows that the binder loses its softness and becomes more rigid (Abdel-Raheem et al., 2023; Nunes-Ramos et al., 2024). In the examined studies, the reduction in penetration ranges from 15% to 70%. Specifically, in the study by Nunes-Ramos et al. (2024), the lowest penetration value of 16.7 dmm was obtained with 5% HDPE additive content. At the same time, the softening point of the binders increases with higher additive content (Figure 1b). Abdel-Raheem et al. (2023) reported the highest softening point of approximately 72 °C with 8% HDPE additive, which represents an increase of approximately 60%. In other studies, the increases are more moderate, ranging between 15% and 60% (Moussa et al., 2020; Nguyen et al., 2023). This shows that the HDPE additive successfully improves the high-temperature resistance of the binder. However, even at the same HDPE additive ratio, the changes in penetration and softening point values are different in each study. These differences are mainly due to the different properties of the base binders, the initial penetration grades, and how well the additive is mixed into the asphalt matrix (Nunes-Ramos et al., 2024; Ren et al., 2023). This harder structure also affects how the binder flows. Table 2 presents the viscosity values of the asphalt binders with different HDPE additive percentages (0%, 1%, 3%, and 5%) at 135 °C, 150 °C, and 177 °C (Nunes-Ramos et al., 2024).

Table 2. Viscosity variation table (Nunes-Ramos et al., 2024)

HDPE (%)	Viscosity 135 °C (cP)	Viscosity 150 °C (cP)	Viscosity 177 °C (cP)
0	327.50	166.33	62.67
1	400.00	196.67	75.83
3	725.00	290.00	85.83
5	1431.00	570.00	228.17

The table indicates that the viscosity increases as the HDPE content increases. For instance, the viscosity of the unmodified sample at 135 °C was 327.50 cP, whereas the sample containing 5% HDPE reached 1431.00 cP, showing a nearly fivefold increase (Nunes-Ramos et al., 2024). Furthermore, the increases at 150 °C and 177 °C were observed to be approximately three- and fourfold. This phenomenon is attributed to the formation of polymer networks by HDPE within the binder, which elevates the viscosity (Ren et al., 2023; Yasir et al., 2025). Figure 2 illustrates the effect of different HDPE additive ratios (0%, 2%, 4%, 6%, and 8%) on the rotational viscosity of the asphalt binder (Abdel-Raheem et al., 2023).

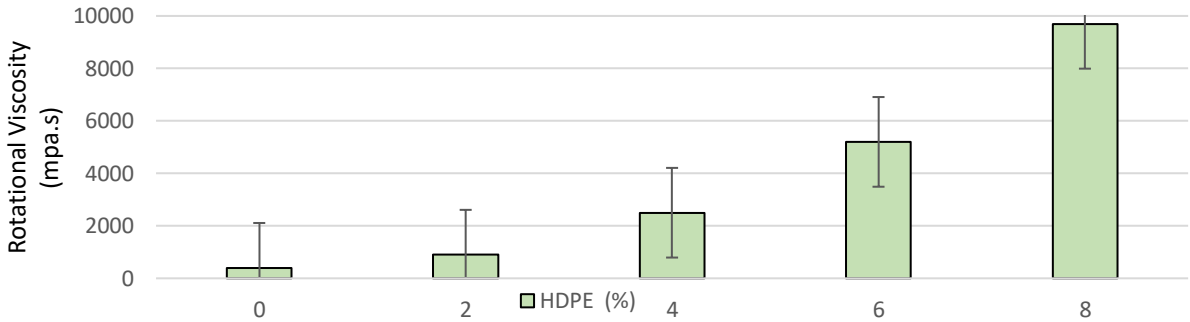


Figure 2. Rotational viscosity graph (Abdel-Raheem et al., 2023)

As shown in Figure 2, a significant and nonlinear increase in the rotational viscosity was observed as the HDPE ratio increased. Although the viscosity of the unmodified binder is quite low, it reaches approximately 10,000 mPa·s with an 8% additive content, demonstrating an increase of more than tenfold. Particularly after a 4% additive ratio, the change in viscosity becomes more sensitive to the additive amount (Abdel-Raheem et al., 2023). Figure 3 illustrates the effects of HDPE and temperature on the dynamic viscosity of asphalt.

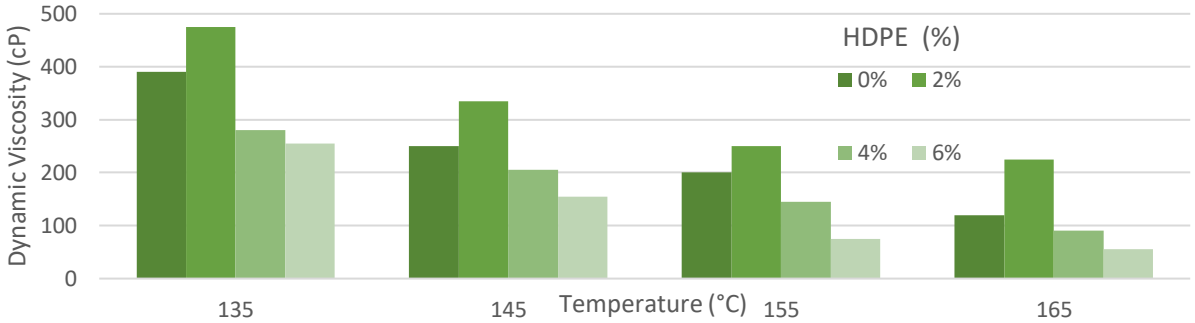


Figure 3. Dynamic viscosity variation graph (Ghani et al., 2022)

As shown in Figure 3, the viscosity of all samples decreases as the temperature increases. Specifically, the sample with 2% HDPE additive shows the highest viscosity values across all temperatures. This shows that HDPE additive reduces binder fluidity at high temperatures, which provides better performance (Ghani et al., 2022). However, although the viscosity of the 4% and 6% HDPE samples is higher than the unmodified binder, these values remain lower than the 2% HDPE sample, which is because higher additive ratios make it difficult for the HDPE to disperse completely within the binder, leading to agglomeration in some areas (Ghani et al., 2022).

Permanent Deformation Resistance

The values presented in Table 3 compare the high-temperature Performance Grade (HPG) values of asphalt binders containing different HDPE ratios.

Table 3. High-Temperature Performance Grade (HPG) Table (Nunes-Ramos et al., 2024)

HDPE (%)	HPG Value
0	64
1	64
3	64
5	70

As shown in the table, the binders containing 0%, 1%, and 3% HDPE perform with the same PG value of 64. However, at a 5% HDPE additive ratio, the PG value increased to 70. This indicates that HDPE additions up to 3% do not cause a significant change in high-temperature performance, whereas a 5% additive ratio improves the performance grade by enhancing the high-temperature resistance of the binder. In Figure 4, the study conducted by Moghadas Nejad et al. (2015) evaluated the effect of different HDPE additive ratios on rutting performance using the traditional rutting criterion, G*/sin δ (Superpave), and the alternative parameter, G*/(1–(1/(tgδ·sinδ))), proposed by Shenoy.

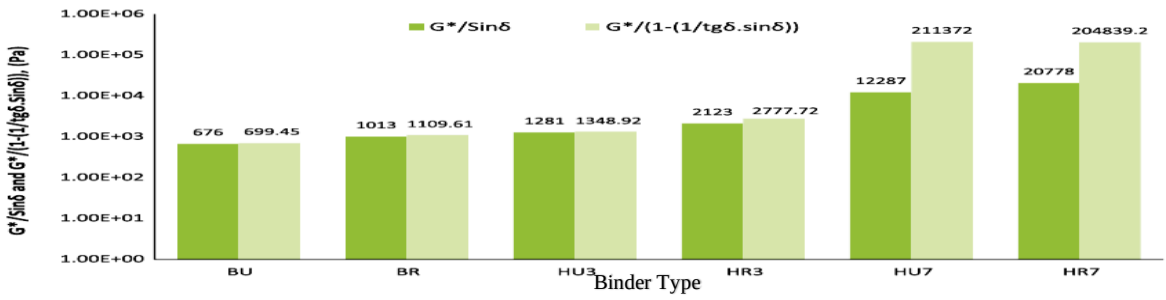


Figure 4. Comparison of Superpave and Shenoy parameters for rutting at 64 °C (Moghadas Nejad et al., 2015)

According to the data shown in Figure 4,

- Although the G*/sin δ value of the unmodified binder (BU) was only 676 Pa, this value reached approximately 12,287 Pa in the HU7 binder containing 7% HDPE.
- Similarly, the value of the alternative parameter, G*/(1–(1/(tgδ·sinδ))), increased from 699.45 Pa in the BU sample to 211,372 Pa in the HU7 sample, exhibiting an increase of approximately 302-fold. This striking increase arises from the fact that the Shenoy parameter is highly sensitive, particularly to minor changes in the phase angle. The HDPE additive enhanced the elastic structure of the binder, thereby reducing the phase angle, which caused the tangent and sine values to decrease, ultimately resulting in very small values for the denominator in the formula. Consequently, the Shenoy parameter tends to exhibit significant increases in response to small structural changes.

Furthermore, similar trends were observed between the binders aged with RTFO. In the analysis conducted between BR (RTFO-aged, unmodified binder) and HR7 (RTFO-aged, 7% HDPE-modified binder), it was determined that the Shenoy parameter is much more sensitive to the additive ratio and structural changes than the traditional G*/sin δ value. This demonstrates that the HDPE additive increased the resistance of the binder against deformation at high temperatures and substantially prevented the formation of permanent rutting (Moghadas Nejad et al., 2015). Figure 5 illustrates the effect of HDPE on the rutting resistance of the asphalt mixtures. The figure compares the deformation performance of conventional and modified asphalt mixtures containing an 8% HDPE additive based on the Hamburg Wheel Tracking (HWT) test.

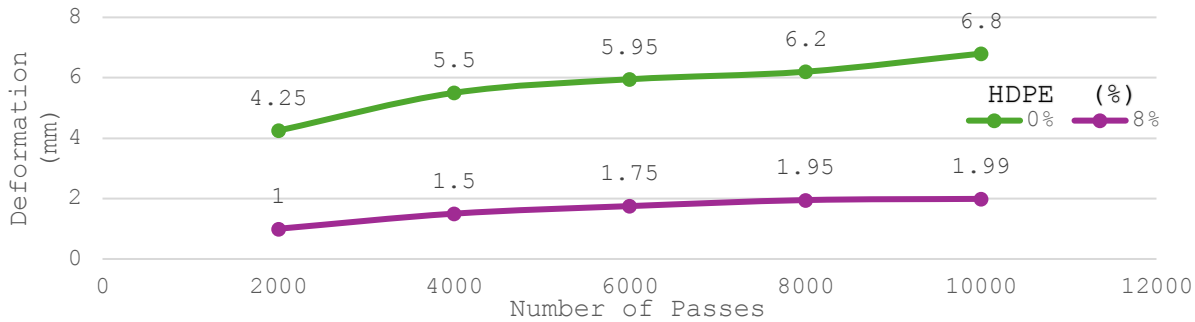


Figure 5. Rutting comparison (Khurshid et al., 2019)

The results in Figure 5 indicate that the deformation values of the HDPE-modified mixture were lower across all loading steps (from 2,000 to 10,000 passes). For instance, at 10,000 load passes, the conventional mixture reached approximately 7 mm of deformation, while the HDPE-modified mixture exhibited only approximately 2 mm of deformation. These data indicate that the HDPE additive increased the rutting resistance of the asphalt mixture and improved its deformation behavior. In particular, for minimizing deformation under heavy traffic loads, the HDPE additive was an effective modification method. Furthermore, HDPE additions of 5% and above elevated the PG of the binder (Nunes-Ramos et al., 2024). The HWT test results also demonstrated that the HDPE additive improved the resistance of the asphalt mixture against deformation (Khurshid et al., 2019).

Mechanical Performance

The Marshall stability values of the asphalt mixtures under different HDPE ratios are presented in Figure 6.

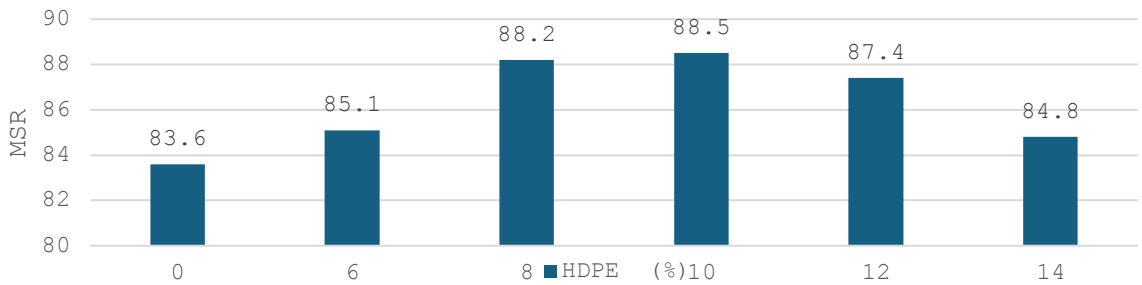


Figure 6. Marshall stability of HDPE-modified mixtures (Nguyen et al., 2023)

According to Figure 6, the MSR of mixtures shows an optimum trend with the addition of HDPE. The MSR value of the conventional mixture (83.6% at 0% HDPE) increases progressively, peaking at 10% HDPE with a value of 88.5%, following a high value of 88.2% at 8% HDPE. However, exceeding 10% HDPE causes a subsequent decline in MSR, dropping to 87.4% and 84.8% at 12% and 14% HDPE ratios. This behavior highlights the critical importance of selecting an optimum additive content. This optimum additive behavior is consistent with the findings of Deef-Allah and Mohamady (2014), who studied the effects of different additives on asphalt concrete. They concluded that while the HDPE additive improves the Marshall stability of hot mix asphalt, exceeding a specific additive ratio degrades the internal structure. This confirms that selecting a precise optimum additive content is critical. A highly similar optimum trend is observed in the IDT strength results shown in Figure 7.

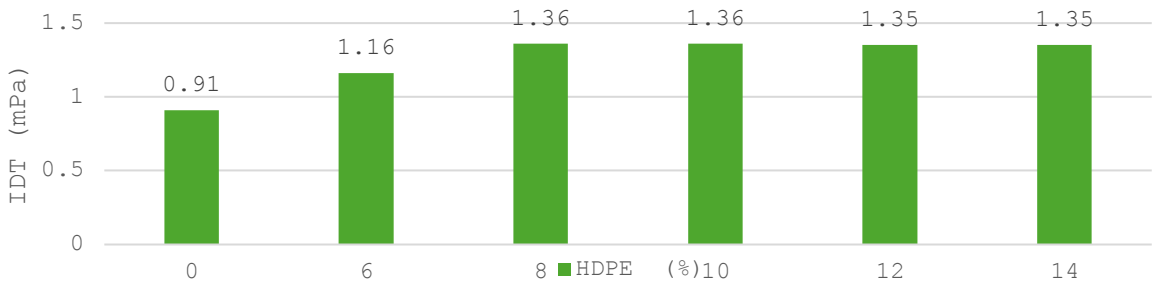


Figure 7. IDT values (Nguyen et al., 2023)

As shown in Figure 7, the IDT strength increases as the HDPE additive ratio increases, reaching its highest value of 1.36 mPa at 8% and 10% HDPE. This shows that the HDPE additive improves the cracking and tensile resistance of the asphalt mixture up to this optimum threshold of 8%–10% (Nguyen et al., 2023). However, exceeding this limit decreases the overall mechanical performance of the mixture (Nguyen et al., 2023). The cracking resistance is also evaluated using the SCB test, as shown in Figure 8 (Nguyen et al., 2023).

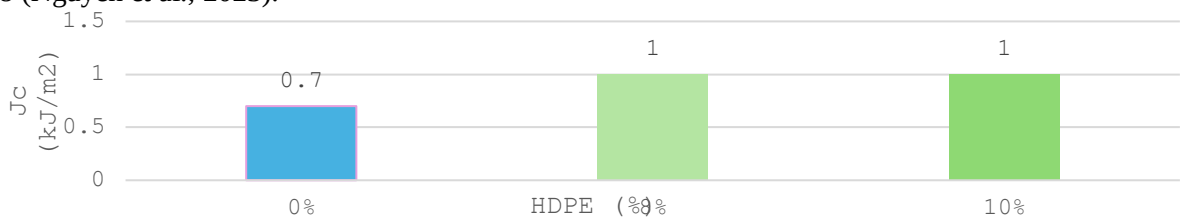


Figure 8. Cracking resistance (Jc) values for the SCB test (Nguyen et al., 2023)

According to Figure 8, the Jc value of the conventional mixture without the HDPE additive was 0.7 kJ/m². In contrast, this value increased to 1.0 kJ/m² for the mixtures containing 8% and 10% HDPE additives. This increase indicates that the HDPE additive enhanced the resistance of the asphalt mixture against crack formation, with the 8% additive ratio achieving the same level of performance as the 10% ratio (Nguyen et al., 2023).On the other hand, the TSR values shown in Figure 9 also improve with polymer modification (Moussa et al., 2020).

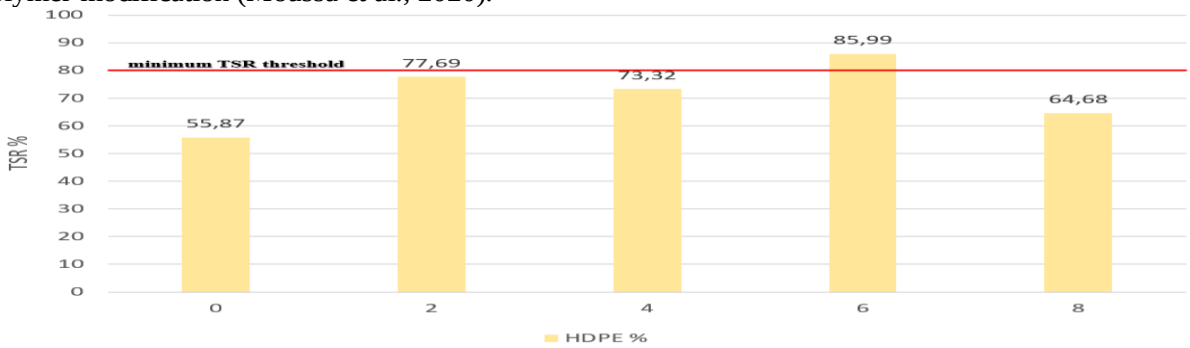


Figure 9. TSR values of the modified mixture (Moussa et al., 2020)

As seen in Figure 9, the unmodified control specimen shows weak performance against moisture by remaining below the mandatory minimum TSR limit of 80% according to the specifications, whereas mixtures containing 6% HDPE easily exceed this threshold and gain resistance to moisture damage with a TSR value of over 85% (Moussa et al., 2020). To overcome the performance limits of single polymer modifications, dual-modifier systems have recently gained attention. For instance, Yasir et al. (2025) developed a dual-modification strategy combining waste-derived HDPE with rigid Bakelite powder. This hybrid system achieved a remarkable TSR value of 95.36%. This demonstrated that it can significantly minimize moisture-induced damage and permanent deformation under extreme climatic conditions.

Elastic Recovery Performance

Table 4 summarizes the effect of HDPE on the elastic properties of the asphalt binder.

Table 4. Elastic recovery (R%) table (Moghadas Nejad et al., 2015)

HDPE (%)	Elastic Recovery (R%)
0	5
3	15
7	35

As the HDPE increased, the elastic recovery improved. The unmodified sample showed only 5% elastic recovery. This value rose to 15% at 3% HDPE and 35% at 7% HDPE. Thus, the HDPE additive enhanced the elastic behavior and deformation resistance of the binder (Moghadas Nejad et al., 2015). Figure 10 shows the effect of HDPE on both %R and non-recoverable creep compliance (Jnr) using MSCR tests.

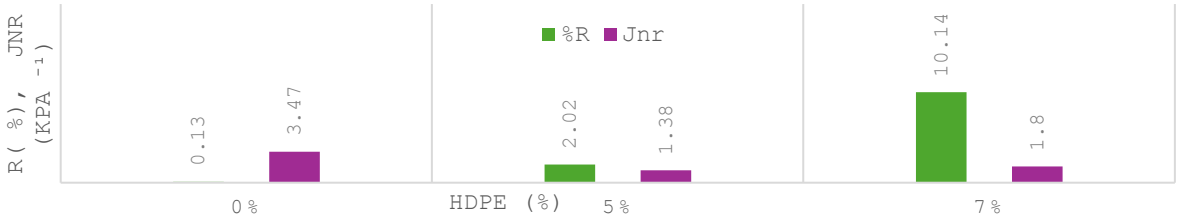


Figure 10. R% and Jnr values (Ren et al., 2023)

With increasing HDPE content, the %R values rose steadily, peaking at 7% HDPE. Conversely, the Jnr values decreased. These trends demonstrate that HDPE increases binder elasticity while reducing permanent deformation. Consequently, the HDPE additive improves both high-temperature elasticity and durability (Moghadas Nejad et al., 2015; Ren et al., 2023).

Aging Resistance

Table 5, prepared based on the FTIR analysis conducted by Olabemiwo et al. (2019), indicates that HDPE modification reduces the aging rate of the asphalt binder by decreasing the transmittance peak intensities of the aliphatic C-H stretches (2924 cm^{-1} and 2854 cm^{-1}).

Table 5. FTIR analysis results table (Olabemiwo et al., 2019)

Wavenumber (cm^{-1})	HDPE (%)			
	0%	2%	4%	6%
2924	19	15	12	11
2854	34	29	25	22

Specifically, the lowest peak values were achieved with 6% HDPE addition, revealing that this mixture reached the highest resistance to aging. In the study conducted by Piromanski et al. (2020), the results of which are presented in Figure 11, the aging index was defined as the ratio of the Jnr performance parameter of the binder aged at different temperatures to that of the unaged binder.

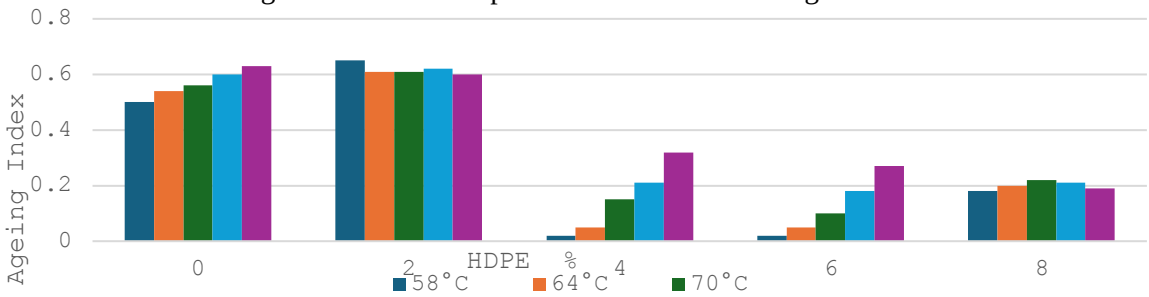


Figure 11. Aging index values (Piromanski et al., 2020)

In Figure 11, a high aging index indicates that the binder is resistant to aging, whereas a low index shows that the binder has hardened and its brittleness has increased. In this study, it is stated that a 2% HDPE addition improves aging resistance; however, at additive ratios of 4% and above, the aging index decreases, thereby increasing the risk of excessive hardening and fatigue cracking. A linear decrease in the Jnr value and an increase in rutting resistance were observed for HDPE additions in the 0%–4% range (Piromanski et al., 2020). This situation demonstrates that a 2% HDPE addition provides optimum resistance against aging. However, the significant drop in aging index values at HDPE contents of 4% and above indicates that the binder hardens more severely after aging, consequently becoming more susceptible to fatigue cracking. When the findings of both studies are evaluated together, it is concluded that the HDPE additive enhances the aging resistance of the asphalt binder; however, the optimum additive ratio can vary between 2% and 6% depending on the intended application and the evaluated parameters.

Microstructural and Chemical Properties

Figure 12 illustrates the microscopic changes and phase separation characteristics in the modified asphalt binder matrix.

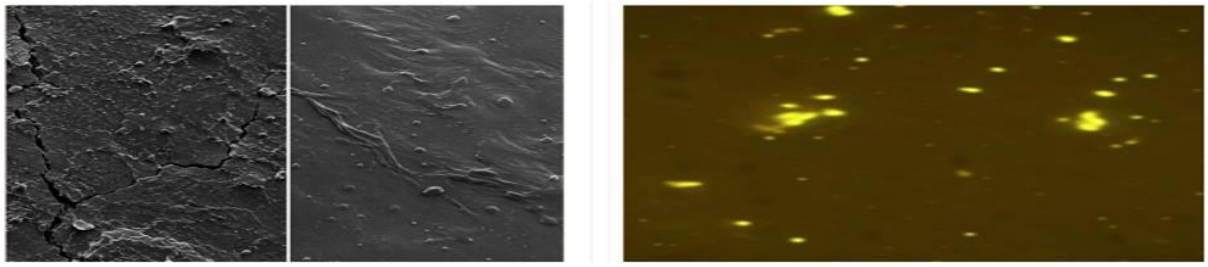


Figure 12. (A) SEM images (Ghani et al., 2022), (B) Phase separation images (Liang et al., 2019)

As seen in Figure 12a, 6% HDPE in the asphalt successfully seals the microcracks, thereby creating a smoother physical network architecture (Ghani et al., 2022). However, as presented in Figure 12b, using the modifier at excessively high ratios prevents the polymer from mixing completely homogeneously within the asphalt matrix. This incomplete dispersion leads to the formation of independent, island-like structures, causing phase separation and agglomeration (Liang et al., 2019). This physical separation is highly consistent with the findings of Costa et al. (2013), who reported significant polymer dissociation and phase separation during high-temperature storage stability tests of polyethylene-modified binders. In addition, Figure 13 presents the molecular interactions of the HDPE additive evaluated using FTIR spectroscopy.

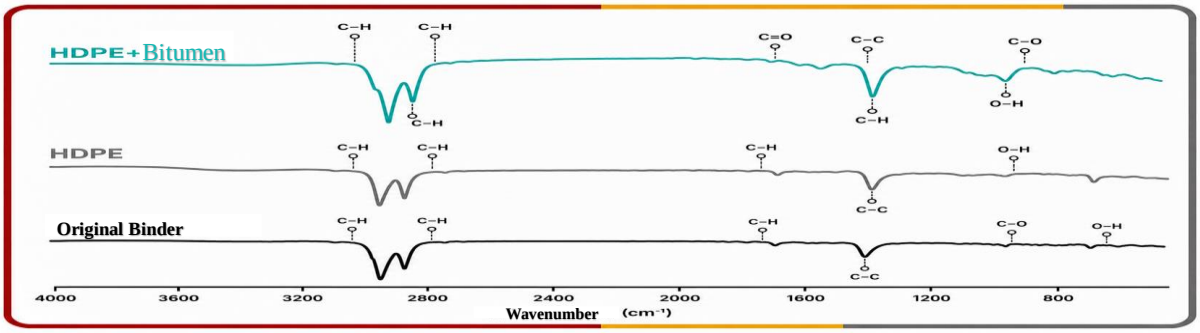


Figure 13. FTIR spectrum graph (Ghani et al., 2022)

This indicates that the modification process occurs predominantly through a strong three-dimensional physical network that surrounds the matrix rather than through a chemical reaction (Ghani et al., 2022).

CONCLUSION

This study aimed to investigate the effects of HDPE additive on the performance of both asphalt binder and mixtures in accordance with current studies in the literature. The findings obtained in line with this objective are presented below:

- HDPE increases the viscosity and high-temperature resistance of asphalt binder. The increase in G*/sin(δ) and other rheological parameters indicates that the HDPE additive enhanced the deformation resistance of the binder. In particular, for high-temperature performance, favorable results were generally reported at HDPE contents of approximately 2%–7%.
- The MSCR tests demonstrated that the HDPE additive increased %R and decreased Jnr. This indicates that HDPE is highly effective in mitigating rutting, particularly at high temperatures.
- The improving effects of the HDPE additive were observed in parameters such as IDT, Jc, and aging resistance. While the maximum strength was achieved at additive ratios of 8%–10%, in some cases, an increase in the additive amount caused a decline in performance.
- FTIR analysis and data regarding the aging index demonstrated that HDPE increased the long-term durability of the binder by reducing oxidative aging products. Specifically, a significant improvement in aging resistance was achieved with an additive ratio of 2%–4%.
- Microstructural analyses revealed that the homogeneous dispersion of HDPE within the binder is critical for performance. To prevent phase separation and ensure structural stability, HDPE should be used in combination with other additives (e.g., RET elastomer and nano-silica).
- The ability to obtain HDPE from waste plastics provides both environmental sustainability and economic benefits. Particularly in hot climate regions and roads exposed to heavy traffic loads, HDPE-modified asphalt mixtures present a highly suitable solution.

Consequently, HDPE is an effective additive that enhances the rheological and mechanical performance of asphalt binders and mixtures. However, it is necessary to optimize the additive ratio, consider low-temperature performance, and ensure homogeneous dispersion within the binder. Under these conditions, the HDPE additive can be evaluated as an environmentally friendly modification method that can extend the service life of asphalt pavements and increase their resistance to deformation and aging.

REFERENCES

Abdel-Raheem, A., Dulaimi, A., Mohamed, A. S., Moussa, G. S., Özkılıç, Y. O., Mashaan, N., Jaya, R. P., & Abdel-Wahed, T. (2023). Investigating the potential of high-density polyethylene and nano clay asphalt-modified binders to enhance the rutting resistance of asphalt mixture. *Sustainability, 15*(18), 13992.

Basheet, S. H., & Latief, R. H. (2024). Assessment of the properties of asphalt mixtures modified with LDPE and HDPE polymers. *International Journal of Applied Science and Engineering, 21*(5), 2024265.

Costa, L. M. B., Silva, H. M. R. D., Peralta, J., & Oliveira, J. R. M. (2013). Incorporation of waste plastic in asphalt binders to improve their performance in the pavement. *International Journal of Pavement Research and Technology, 6*(4), 457–464.

Deef-Allah, E. M. M., & Mohamady, A. (2014). Performance evaluation of polymer modified asphalt mixtures. *International Journal of ICT-aided Architecture and Civil Engineering, 1*(2), 33–50.

Ghani, U., Zamin, B., Bashir, M. T., Ahmad, M., Sabri, M. M. S., & Keawsawasvong, S. (2022). Comprehensive study on the performance of waste HDPE and LDPE modified asphalt binders for construction of asphalt pavements application. *Polymers, 14*(17), 3673.

Khurshid, M. B., Qureshi, N. A., Hussain, A., & Iqbal, M. J. (2019). Enhancement of hot mix asphalt (HMA) properties using waste polymers. *Arabian Journal for Science and Engineering, 44*(10), 8239–8248.

Liang, M., Xin, X., Fan, W., Zhang, J., Jiang, H., & Yao, Z. (2019). Comparison of rheological properties and compatibility of asphalt modified with various polyethylene. *International Journal of Pavement Engineering, 22*(1), 11–20.

Moghadas Nejad, F., Gholami, M., Naderi, K., & Rahi, M. (2015). Evaluation of rutting properties of high density polyethylene modified binders. *Materials and Structures, 48*(10), 3295–3305.

Moussa, G. S., Abdel-Raheem, A., & Abdel-Wahed, T. (2020). Investigating the moisture susceptibility of asphalt mixtures modified with high-density polyethylene. *Journal of Engineering Sciences, Assiut University, 48*(5), 765–782.

Nguyen, V. H., Le, V. P., & Nguyen, T. P. (2023). Performance evaluation of waste high density polyethylene as a binder modifier for hot mix asphalt. *International Journal of Pavement Research and Technology, 18*(1), 102–113.

Nunes-Ramos, V., Specht, L. P., de Almeida Júnior, P. O. B., Prior, J. F. P., Pereira, D. S., & Schuster, S. L. (2024). Asphalt binder modified with high density polyethylene: 2S2P1D rheological modelling and damage characterization. *International Journal of Pavement Engineering, 25*(1), 2360151.

Olabemiwo, O. M., Esan, A. O., Bakare, H. O., & Agunbiade, F. O. (2019). Polymer modified-natural bitumen thermal aging resistance studies. *International Journal of Pavement Engineering, 20*(10), 1207–1215.

Piromanski, B., Chegenizadeh, A., Mashaan, N., & Nikraz, H. (2020). Study on HDPE effect on rutting resistance of binder. *Buildings, 10*(9), 156.

Ren, S., Liu, X., Jing, R., Gao, Y., Lin, P., & Erkens, S. (2023). Investigating the rheological properties and compatibility behaviours of RET/PE and WR/CR/SBS compound-modified bitumen. *Road Materials and Pavement Design, 25*(4), 653–677.

Singh, A., & Gupta, A. (2024). Closing the loop: Harnessing waste plastics for sustainable asphalt mixtures—A comprehensive review. *Construction and Building Materials, 425*, 136005.

Yasir, M., Khattak, N. U., Khan, I., & Hoy, M. (2025). Performance evaluation of HDPE-Bakelite dual-modified asphalt mixtures for sustainable pavements. *Polymers, 17*(22), 3065.

STRUCTURAL BEHAVIOR OF AN OFFSHORE STRUCTURE UNDER EARTHQUAKE EFFECTS

BİR AÇIK DENİZ YAPISININ DEPREM ETKİLERİ ALTINDAKİ YAPISAL DAVRANIŞI

Asst. Prof. Dr. Asuman Isil Carhoglu
Department of Civil Engineering, Suleyman Demirel University, Isparta, Turkey
ORCID:0000-0003-2325-1788

Melis Akfirat
Civil Engineering, Antalya, Turkey
ORCID: 0000-0002-2577-6978

ABSTRACT

Offshore structures are used in natural gas and oil exploration, energy production. The use of offshore structures is increasing today. These structures can be subjected to environmental loads and are affected by wave, wind, and seismic loads. Structures with high and slender geometries can exhibit different structural behaviors when subjected to external loads. Numerous devastating earthquakes have occurred to date, resulting in significant loss of life and property. These earthquakes have varied in magnitude, soil properties, and focal depths, causing damage to different types of systems. Some of these earthquakes are Kahramanmaras (Pazarcik) earthquake (2023), Kahramanmaras (Elbistan) earthquake (2023) which occurred on the same day, İzmir earthquake (2020), Kocaeli earthquake (1999), Kobe earthquake (1995), and Tohoku earthquake (2011). Determining the seismic behavior of offshore structures, which can be constructed in earthquake regions, is of great importance for earthquake engineering. In this study, an offshore structure was modeled using the finite element method, and its behavior under seismic loads was comparatively examined. The displacement and base shear force values obtained as a result of the analyses were compared. Determining the structural responses of an offshore structure as a result of seismic activity is important for determining the behavior of offshore structures with these characteristics under the influence of seismic loads.
Keywords: Offshore structure, earthquake, seismic effect.

ÖZET

Açık deniz yapıları doğal gaz ve petrol araştırmalarında, enerji üretiminde kullanılan yapılardır. Günümüzde açık deniz yapılarının kullanımı giderek artmaktadır. Bu yapılar, çevresel yüklere maruz kalabilmekte olup dalga, rüzgâr ve deprem yüklerinden etkilenebilmektedir. Yüksek ve narin geometriye sahip olan yapılar, dış yüklere maruz kaldığında yapısal davranışlarında farklılık gösterebilmektedir. Günümüze kadar yıkıcı çok sayıda deprem meydana gelmiş olup bu sismik hareketler sırasında çok sayıda can ve mal kaybı meydana gelmiştir. Meydana gelen depremler büyüklük, zemin özellikleri, odak derinlikleri açısından farklı özelliklere sahip olup farklı tipteki sistemlerde hasarlar meydana gelmesine neden olmuşlardır. Bu depremlerden bazıları Kahramanmaraş (Pazarcık) depremi (2023), aynı gün meydana gelen Kahramanmaraş (Elbistan) depremi (2023), İzmir depremi (2020), Kocaeli depremi (1999), Kobe depremi (1995) ve Tohoku depremidir (2011). Depremlerin etkili olduğu bölgelerde de inşa edilebilen açık deniz yapılarının sismik etkiler altındaki davranışının belirlenmesi deprem mühendisliği açısından önemlidir. Bu çalışmada, bir açık deniz yapısı ele alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip deprem yüklerine maruz kalmaları durumunda gösterecekleri davranış karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucu olarak elde edilen yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerleri karşılaştırılmıştır. Bir açık deniz yapısına deprem etkimesi sonucunda elde edilen yapısal tepkilerin belirlenmesi bu özelliklerdeki açık deniz yapılarının sismik yükler etkisi altında göstereceği davranışın belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Açık deniz yapısı, Deprem, Sismik etki

INTRODUCTION

Offshore structures can be exposed to environmental loads such as wind, seismic loads, and sea waves. Determining the behavior of these structures under environmental loads is quite important. The behavior of these structures, which can be built in seismic zones, under the effect of earthquake can vary depending on factors such as the characteristics of the system, the soil, and the seismic motion.

Offshore structural systems are divided into two classes: floating and bottom-supported. Bottom support structures include gravity base and jacket structures, while floating foundation structures include compliant, compliant tower, and guyed tower structures (Chakrabarti, 2005). Offshore structures include various floating platform systems. Considering tank and ballast configurations and different mooring system types, very different platforms can be designed. Floating platforms are classified as tension leg platforms, spar buay, and type of barge platforms. Furthermore, It is used in semi-submersible platforms that have the characteristics of these three platforms (Jonkman and Matha, 2011). Fixed jacket systems are constructed in a horizontally. It is brought to the area where it will be built by loading onto the transport maneuver and launched into the sea. It is placed on the seabed using grout or driven piles (Chakrabarti, 2005). The wind that occurs at sea differs from the wind that occurs on land. Because the sea surface is smoother and more even than land, strong winds can occur, moreover these winds tend to have low turbulence. Consequently, higher energy is generated. In this situation, large wind turbines can be used. Offshore wind turbines can be built at lower altitudes compared to onshore ones (Kaynia, 2019). Nozari et al. (2024) determined the structural behavior of jacket-type offshore structures located in the Persian Gulf under the effect of irregular wave loads. Investigations were carried out considering different soil and pile conditions. Asgarian and Lesani (2009) conducted push-over analyses of a jacket-type offshore structure by taking into account the interaction of the soil-pile structure. Elshafey et al. (2009) experimentally investigated an offshore structure. In addition, dynamic analyses were performed. The reaction forces on the foundation determined. The results of analyses performed using experimental and finite element methods were compared. Harish et al. (2010) investigated the behavior of offshore structures under the effect of wind and wave loads. The Pierson-Moskowitz spectrum was used. Analyses were performed using a wind speed of 41.67 m/s, a wave height of 14.86 m, and a wave period of 21.66 sec. Gücüyen and Erdem (2016) modeled an offshore structure. Fluid-structure interaction was investigated. Gücüyen and Erdem (2018) investigated the fluid-structure interaction of an offshore structure. The analyses were performed by using 5. Stokes wave theory. The system's natural frequency and the values of the displacement were determined. The obtained values were compared. Guo et al. (2018) created damage detection indices using modal analysis results and the values of the natural frequency. The analyses revealed that, since the measurement points were close to the waterline, the estimation errors for damaged elements near the waterline remained below % 8 and the error in deep waters reached % 16.5. Romero-Sanchez et al. (2024) investigated the foundation-soil interaction and structure-soil interaction in bucket-based jacket-type offshore structures. The bending moments, stresses, axial forces, and shear forces of the system were determined and examined by considering wind and wave loading conditions. Sarker et al. (2021) obtained the values of the intensity measure in order to determine the seismic behavior of a jacket platform structure. Dynamic analyses were performed using the nonlinear time-history analysis method. The values of maximum displacement and acceleration were obtained to determine engineering demand parameters. Ghazi et al. (2022) applied seismic loads to a jacket platform structure located in the Gulf of Mexico. Analyses were performed using Airy wave theory. It was determined that the dynamic response of the system varies depending on the platform body level and height. Akfırat (2024) examined the seismic behavior of two fixed jacket-type offshore structures with heights of 34.5 m and 106.5 m. The structures were modeled in the ANSYS software using four different bracing configurations. The obtained results were compared to evaluate the effect of different bracing configurations on platform behavior.

In this study, the behavior of an offshore jacket structure under seismic loads was determined. Response spectrum analyses were performed considering different earthquake levels (Earthquake Level 1, Earthquake Level 2, Earthquake Level 3, Earthquake Level 4) and different soil classes. Izmir province was considered when determining earthquake levels and soil classes. The values obtained from the analyses were compared.

MATERIAL and METHOD

Turkey is located on an earthquake zone and occurred numerous destructive earthquakes to date. Some of these earthquakes are Kahramanmaras (Pazarcik) and Kahramanmaras (Elbistan) earthquakes (2023), Izmir earthquake (2020), Erzincan earthquake (1992), Gölcük earthquake (1999), Dinar earthquake (1995), Elazığ earthquake (2020) and Van earthquake (2011) (AFAD, 2026b). Kobe earthquake (1995), Tōhoku earthquake (2011) are among the devastating earthquakes occurred in the world (Abé, 2014).
In this study, an offshore jacket structure was modeled as three dimensions using the SAP 2000 finite element program (Wilson, 1998). The total height of the system is 70 m. The tower base width is 25 m and the top base width is 10 m. The deck length is taken as 30 m. In the system, which is made of steel, the ground is considered as a fixed support. The three-dimensional model of the system is shown in Figure 1.

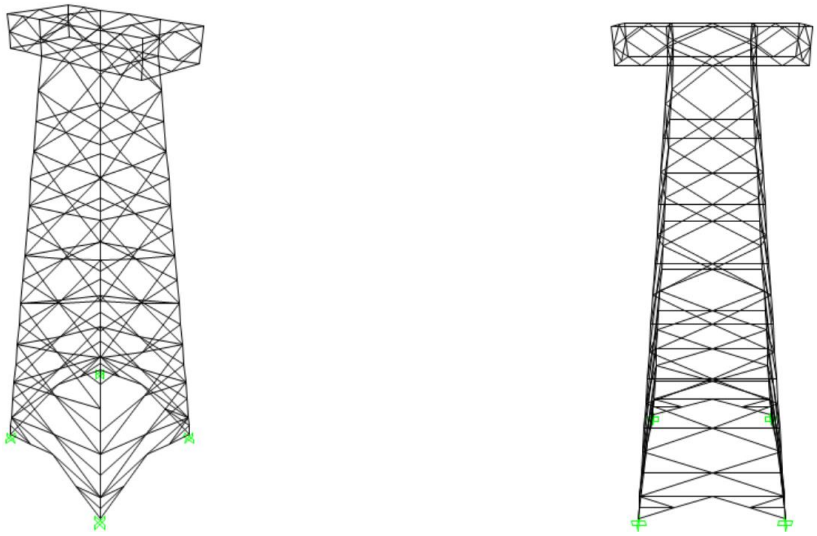
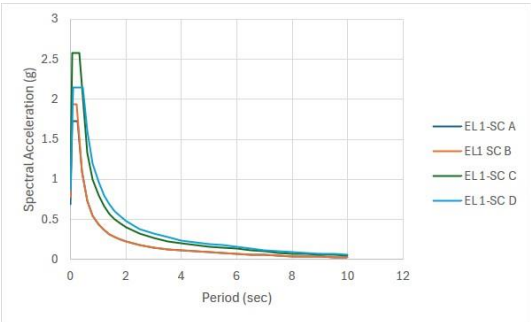
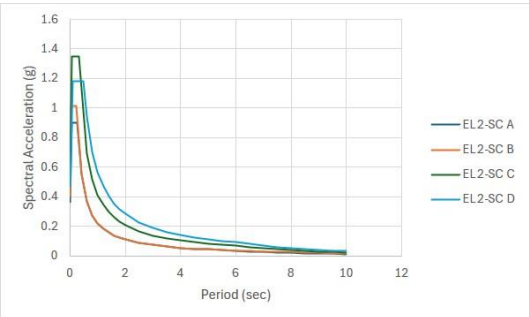


Figure 1. Overview of the offshore jacket structure

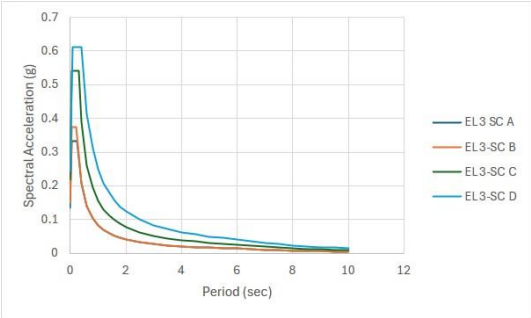
Considering Izmir province, response spectrum analyses were performed for different earthquake levels and soil classes (Earthquake Level 1, Earthquake Level 2, Earthquake Level 3 and Earthquake Level 4 and Soil Class A, Soil Class B, Soil Class C, Soil Class D) based on the Turkish Building Earthquake Code (TBEC, 2018; AFAD, 2026a). Figure 2 shows the spectrum curves obtained for different earthquake levels and soil classes.



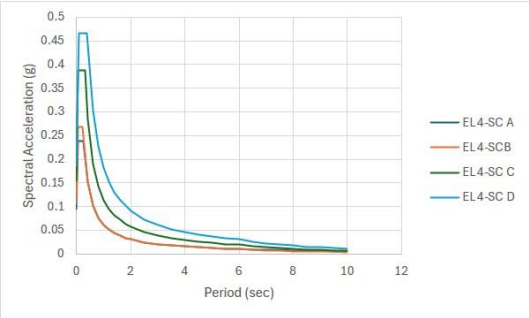
a. Earthquake Level 1



b. Earthquake Level 2



c. Earthquake Level 1



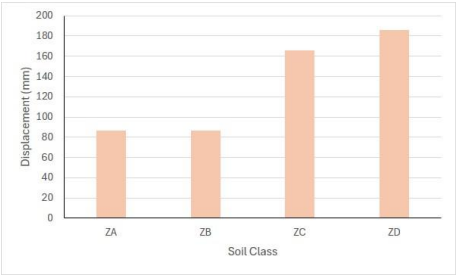
d. Earthquake Level 1

Figure 2. Spectrum curves for different earthquake levels

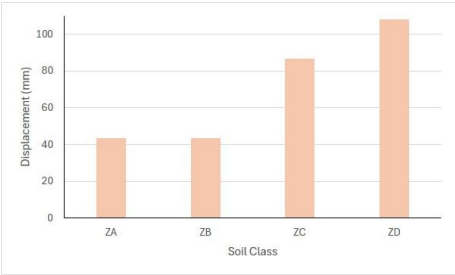
Spectrum curves were obtained by using SS, S1, SDS, SD1, Fs and F1 values. For all earthquake levels, PGA values are 0.854 g, 0.459 g, 0.174 g, and 0.125 g, respectively, and PGV values are 53.222 cm/s, 27.923 cm/s, 10.259 cm/s, and 7.429 cm/s, respectively (AFAD, 2026a).

RESEARCH and FINDINGS

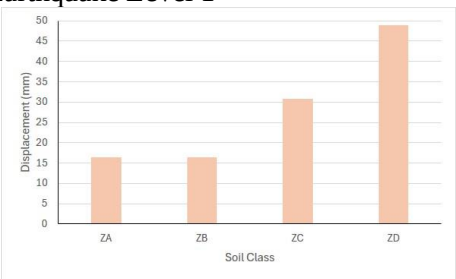
The Jacket offshore platform was modeled using the finite element method, and response spectrum analyses were performed. During the analyses, the Izmir province was considered, and displacement, stress, and base shear force values were determined for different earthquake levels and soil classes.



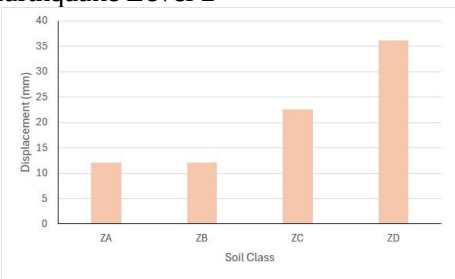
a. Earthquake Level 1



b. Earthquake Level 2



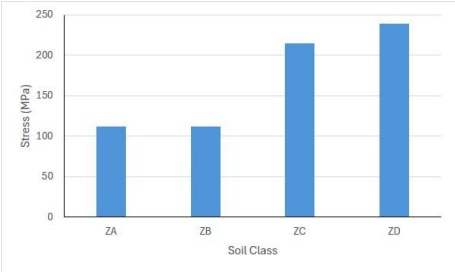
c. Earthquake Level 3



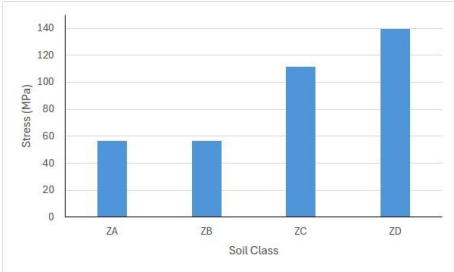
d. Earthquake Level 4

Figure 3. The values of the displacement obtained from response spectrum analyses

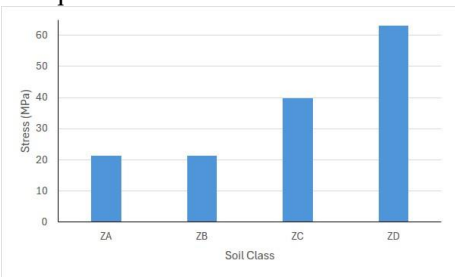
Figure 3 shows the displacement values obtained from the response spectrum analyses. The largest displacement value are obtained as 185.79 mm at earthquake level 1 and soil class D. The lowest displacement values are obtained at earthquake level 4. At all earthquake levels, the values obtained for soil classes A and B are almost the same. For soil class A, the displacement values for the earthquake levels are 86.70 mm, 43.67 mm, 16.46 mm, and 12.02 mm, respectively. The values obtained for soil class B are almost the same as those obtained for soil class A. For soil class C, the displacement values are 166.10 mm, 86.54 mm, 30.83 mm, and 22.53 mm, respectively. For soil class D, the values are determined as 185.80 mm, 108.10 mm, 48.96 mm, and 36.16 mm, respectively.



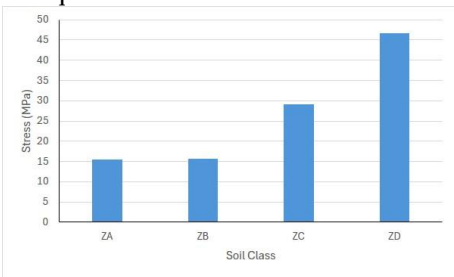
a. Earthquake Level 1



b. Earthquake Level 2



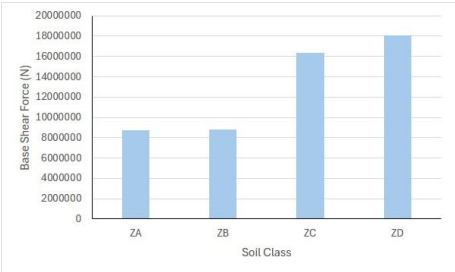
c. Earthquake Level 3



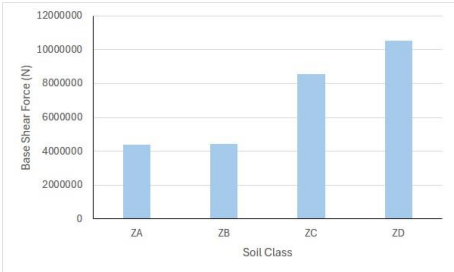
d. Earthquake Level 4

Figure 4. The values of the stress for earthquake levels and soil classes

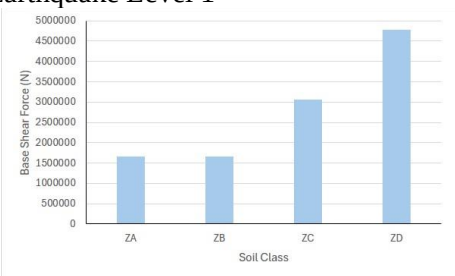
Figure 4 shows the stress values obtained from the response spectrum analyses. The highest stress value are obtained as 239.32 MPa in soil class D at earthquake level 1, while the lowest stress value are obtained as 15.57 MPa in soil class A at earthquake level 4. The stress values obtained in soil cases A and B are quite close. The stress value obtained in soil class A are 112.24 MPa for earthquake level 1, 56.573 MPa for earthquake level 2, 21.311 MPa for earthquake level 3, and 15.566 MPa for earthquake level 4. In soil case D, the stress values are determined as 239.32 MPa, 139.206 MPa, 63.085 MPa, and 46.601 MPa, respectively.



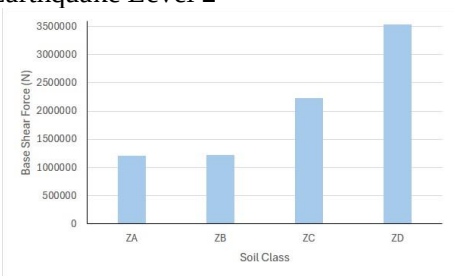
a. Earthquake Level 1



b. Earthquake Level 2



c. Earthquake Level 3



d. Earthquake Level 4

Figure 5. Base shear force values for all seismic levels and soil classes

Figure 5 shows the values of base shear force for all earthquake levels and soil classes. The highest base shear force value is obtained for earthquake level 1, soil class D, with 18094489 N, and the lowest value is obtained as 1207324 N for earthquake level 4, soil class A. The values of base shear force obtained for soil cases A and B are quite close.

CONCLUSION

In this study, the seismic behavior of an offshore jacket platform structure was determined using the response spectrum method. Analyses were performed considering 4 different earthquake levels and 4 different soil conditions. Analyses conducted in Izmir region showed that the largest values of the displacement, base shear force and stress were obtained at soil class D and earthquake level 1 condition. The smallest responses were determined at earthquake level 4 and soil class A. It was observed that the values decreased from earthquake level 1 to earthquake level 4 and increased from soil class A to D.
It was obtained that variations occur in the values of the displacement, base shear force and stress depending on differences in earthquake levels and soil classes. In offshore structural systems, variations in soil class and earthquake levels were found to be quite important in determining structural responses.

REFERENCES

Abé, M., & Shimamura, M. (2014). Performance of railway bridges during the 2011 Tōhoku Earthquake. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, *28*(1), 13-23.

Akfırat, M. (2024). *Açık deniz yapılarının dış yükler etkisindeki davranışlarının incelenmesi*. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi (in Turkish).

Asgarian, B., & Lesani, M. (2009). Pile–soil-structure interaction in pushover analysis of jacket offshore platforms using fiber elements. *Journal of constructional steel research*, *65*(1), 209-218.

Chakrabarti, S. (2005). *Handbook of Offshore Engineering* (2-volume set). Elsevier.

Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD, 2026a). *Turkey earthquake hazard map*. https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi

Disaster and Emergency Management Presidency. (2018). Turkish building earthquake code (TBEC-2018), Ankara,Türkiye.

Elshafey, A. A., Haddara, M. R., & Marzouk, H. (2009). Dynamic response of offshore jacket structures under random loads. Marine Structures, 22(3), 504-521.

Ghazi, Z. M., Abbood, I. S., & Hejazi, F. (2022). Dynamic evaluation of jack-up platform structure under wave, wind, earthquake and tsunami loads. Journal of Ocean Engineering and Science, 7(1), 41-57.

Gücüyen, E., & Erdem, R. T. (2016). Açık deniz uzay kafes sistemin çevresel yükler altında akışkan-yapı etkileşimli analizi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3), 433-444 (in Turkish).

Gücüyen, E., & Erdem, R. T. (2018). Beton Kazıklı Açık Deniz Yapısının Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 767-778 (in Turkish).

Guo, J., Wu, J., Guo, J., & Jiang, Z. (2018). A damage identification approach for offshore jacket platforms using partial modal results and artificial neural networks. *Applied Sciences*, *8*(11), 2173.

Harish, N., Sukomal, M., Shanthala, B., & Subba, R. (2010). Analysis of offshore jacket platform. In Natl. Conf. On Sustainable Water Resources Management.

Jonkman, J. M., & Matha, D. (2011). Dynamics of offshore floating wind turbines analysis of three concepts. *Wind Energy*, 14(4), 557-569.

Kaynia, A. M. (2019). Seismic considerations in design of offshore wind turbines. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 124, 399-407.

Nozari, N., Asgarian, B., & Zarrin, M. (2024). Effects of foundation conditions on failure modes of jacket type offshore platforms using incremental irregular wave dynamic analysis. *Ocean Engineering*, 314, 119701.

AFAD, Disaster and Emergency Management Presidency. (2026b). https://www.afad.gov.tr/

Romero-Sánchez, C., Bordón, J. D., & Padrón, L. A. (2024). Influence of foundation–soil–foundation interaction on the dynamic response of offshore wind turbine jackets founded on buckets *Journal of Marine Science and Engineering*, *12*(11), 2089.

Sarker, S., Kim, D., Azad, M. S., Sinsabvarodom, C., & Guk, S. (2021). Influence of optimal intensity measures selection in engineering demand parameter of fixed jacket offshore platform. *Applied Sciences, 11(22)*, 10745.

Wilson, E., Habibullah, A. (1998). Sap 2000 Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Refence Manual. Computers and Structures, Berkeley.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF PUBLICATIONS ON THE USE OF FOREST-DERIVED WASTE AS ADSORBENTS

ORMAN KÖKENLİ ATIKLARIN ADSORBENT OLARAK KULLANIMINA İLİŞKİN YAYINLARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Melike Sultan DUMAN
Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
ORCID: 0009-0003-4093-9370

Dr. Öğr. Üyesi Nilüfer ÜLGÜDÜR
Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
ORCID: 0000-0003-3410-0598

Prof. Dr. Emine MALKOÇ
Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
ORCID: 0000-0002-9030-7684

ABSTRACT

The contamination of water sources with pollutants such as dyes and heavy metals is increasing interest in low-cost and environmentally friendly adsorbent materials. Therefore, lignocellulosic wastes of forest origin, such as leaves, sawdust, tree bark, and pine cones, are considered potential alternatives due to their high availability, economic advantages, and effective adsorption properties. In this study, research on the use of forest-derived wastes as adsorbents was systematically examined using a bibliometric analysis approach. In this context, a total of 5,611 documents published in the Web of Science database between 2000 and 2025 were analyzed, and the data were evaluated using the R-based bibliometrix package and the biblioshiny interface. The dataset examined mainly consists of research articles but also includes review articles and conference papers. The findings reveal a significant upward trend in the scientific output of these publications over the years. It was determined that the publications are concentrated in certain countries, primarily China, India, and Türkiye. Furthermore, it was found that the studies primarily focus on dye and heavy metal removal. The results of the thematic analysis show a significant shift in research trends over time. Initially focusing on natural biosorbents, studies later shifted towards adsorption mechanisms, and more recently, approaches focused on biochar, pyrolysis, and sustainability have come to the forefront. In conclusion, this study not only reveals the current state of publications but also identifies research trends and areas for improvement, providing a guiding framework for future research.

Keywords: Bibliometric analysis, Forest waste, Adsorbent, Adsorption

ÖZET

Su kaynaklarının boyar maddeler ve ağır metaller gibi kirleticilerle kirlenmesi, düşük maliyetli ve çevre dostu adsorban malzemelere olan ilgiyi artırmaktadır. Bu nedenle, yapraklar, talaş, ağaç kabuğu ve çam kozalakları gibi orman kökenli lignoselülozik atıklar, yüksek bulunabilirlikleri, ekonomik avantajları ve etkili adsorpsiyon özellikleri nedeniyle potansiyel alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmada, orman kaynaklı atıkların adsorban olarak kullanımı üzerine yapılan araştırmalar, bibliyometrik analiz yaklaşımı kullanılarak sistematik olarak incelenmiştir. Bu bağlamda, 2000 ile 2025 yılları arasında Web of Science veritabanında yayınlanan toplam 5.611 belge analiz edilmiş ve veriler R tabanlı bibliometrix paketi ve biblioshiny arayüzü kullanılarak değerlendirilmiştir. İncelenen veri seti ağırlıklı olarak araştırma makalelerinden oluşmakla birlikte, derleme makaleleri ve konferans bildirilerini de içermektedir. Bulgular, bu yayınların bilimsel çıktısında yıllar içinde önemli bir artış eğilimi olduğunu ortaya koymaktadır. Yayınların belirli ülkelerde, özellikle Çin, Hindistan ve Türkiye'de yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ayrıca, çalışmaların öncelikle boya ve ağır metal uzaklaştırmaya odaklandığı tespit edilmiştir. Tematik analiz sonuçları, zaman içinde araştırma eğilimlerinde önemli bir değişim olduğunu göstermektedir.

Başlangıçta doğal biyosorbentlere odaklanan çalışmalar, daha sonra adsorpsiyon mekanizmalarına yönelmiş ve son zamanlarda biyokömür, piroliz ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımlar ön plana çıkmıştır. Sonuç olarak, bu çalışma sadece yayınların mevcut durumunu ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda araştırma eğilimlerini ve iyileştirme alanlarını da belirleyerek gelecekteki araştırmalar için yol gösterici bir çerçeve sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Bibliyometrik analiz, Orman atıkları, Adsorbent, Adsorpsiyon

INTRODUCTION

Rapid industrialization and urbanization worldwide are leading to the production of large amounts of wastewater. Inadequate treatment of this wastewater threatens receiving environments and human health (Wang et al., 2024). The main pollutants reaching aquatic environments are synthetic dyes and heavy metals (Mergbi et al., 2023). Dyes are persistent in environmental settings because they do not easily decompose. Heavy metals, on the other hand, pose a risk to human health by forming bioaccumulations in organisms (Balali-Mood et al., 2021). Dyes create visible color in water even at low concentrations. This leads to visual pollution and ecological problems. Effective removal of pollutants from water is important, and water pollution has become one of the priority research areas of environmental engineering. Various treatment methods have been developed for the removal of pollutants. These methods include chemical precipitation, ion exchange, adsorption, and membrane filtration (Roa et al., 2021). However, these methods have high operating costs, limitations in terms of applicability, and can generate secondary waste (Yadav et al., 2024). Adsorption stands out due to its simple design, low cost advantage (Roa et al., 2021), applicability to different pollutants, and effectiveness in water treatment (Mergbi et al., 2023). The adsorption method is considered one of the widely preferred treatment methods (Roa et al., 2021).

The high cost of commercially available activated carbon, commonly used in adsorption processes, limits its large-scale applications. This situation leads researchers to search for lower-cost alternative adsorbents (Yadav et al., 2024). This highlights forest-derived lignocellulosic wastes. These wastes are renewable, low-cost, and contain rich functional groups (Roa et al., 2021). Thanks to their cellulose, hemicellulose, and lignin components, they have the ability to bind pollutants. Forest-derived wastes include biomass such as sawdust, tree bark, pine cones, and leaves, and are considered effective adsorbents (Yadav et al., 2024). Numerous experimental studies have been conducted on the use of forest-derived waste in pollutant removal. Sawdust is the most commonly used forest-derived waste for pollutant removal via adsorption processes. Effective results have been obtained in the removal of cationic dyes. A removal efficiency of 99% was achieved for methylene blue with raw sawdust (Markandeya et al., 2015). In another study, a removal efficiency of 95.88% was achieved for methylene blue and 67.78% for Congo red (Ali et al., 2024). Pine cones are another forest waste that stands out in the removal of heavy metals by adsorption method. It was found that pine cone biosorbent obtained from Pinus species removed cadmium (Cd), copper (Cu), lead (Pb), and chromium (Cr) ions by 82.24%, 93.71%, 94.67%, and 88.8%, respectively (Ben Amar et al., 2021). Tree leaves are also considered as alternatives. Ficus benghalensis leaves, a low-cost biosorbent, have also been used in dye removal and it has been recorded that they remove bright green dye by 97.3% (Gül et al., 2023). The use of materials obtained from forest wastes in the remediation of water pollution is increasingly being investigated. Bibliometric analysis methods are used to systematically examine large datasets in this broad field (Donthu et al., 2021).

Bibliometric analysis is a method that allows for the systematic examination of scientific publications on a specific research topic. In this process, relevant studies are first collected from specific databases, and then the obtained data are organized and analyzed. The findings obtained through these analyses are interpreted using graphic and visual tools, thus providing a holistic assessment of the development process and current state of the research area (Wang et al., 2024). Bibliometric analysis has been effectively used in many studies in the field of adsorption. In their study on nanochitosan adsorbents, Nouacer et al. (2025) examined 1,855 publications published in the Web of Science database between 2005 and 2025. The analysis was performed using R-based Biblioshiny and VOSviewer software.

According to the results, Asian countries are in a leading position in this field, with China, India, and Iran accounting for approximately 60% of total production. Furthermore, it was determined that the most cited studies focused on chitosan-based nanocomposites.

This study evaluates the scientific literature on the use of forest-derived waste as adsorbents using bibliometric analysis. In this context, relevant publications indexed in the Web of Science database were examined in terms of basic bibliometric indicators such as publication year, country, journal, and keywords. Furthermore, collaboration networks, citation relationships, and keyword co-occurrence structures were analyzed. VOSviewer and Bibliometrix (R package) software were used to visualize scientific production trends and research networks. The aim of this study is to provide a holistic overview of the body of knowledge in this field by systematically revealing current research trends, the structure of scientific production, and prominent research focuses in the literature regarding the use of forest-derived waste as adsorbents.

MATERIALS AND METHODS

This study used bibliometric analysis to reveal general trends in scientific studies on the use of forest-derived waste as adsorbents. The Web of Science (WoS) Core Collection, the most widely used database with high data quality, a large journal and citation capacity in bibliometric studies in social and natural sciences, was selected as the data source (Singh et al., 2021). Bibliometric analysis was performed in the Topic (TS) field of the Web of Science (WoS) Core Collection database, based on a workflow combining performance analysis and science mapping techniques proposed by Donthu et al. (2021). To limit the search scope to forest-derived waste adsorbents, a search string was created by combining keywords representing the relevant adsorbent and the adsorption process. The complete search string TS = ("forest waste") AND ("adsorption" OR "adsorbent") was used to identify relevant publications. The search was conducted in 2026, limited to a specific time period covering the years 2000-2025.

WoS allows exporting a maximum of 1,000 records at a time. Therefore, search results were exported in groups of 1,000 records in plain text format, including full record and citation information. These files were then combined into a single dataset, and a total of 5,611 documents from the period 2000–2025 were included in the analysis. The dataset was imported into the biblioshiny interface of the R-based bibliometrix package and analyzed (Aria and Cuccurullo, 2017). The analysis examined the number of publications and average annual citation trends by year, the most productive countries, and the most influential journals. In addition, a thematic map based on the most frequently used keywords and synonym analysis was evaluated to determine the scientific structure and thematic development of the research area.

RESULTS

Performance Analysis

A total of 5,611 publications published between 2000 and 2025 on the use of forest-derived waste as adsorbents were examined using the WoS database. The vast majority of publications were research articles (5,056), while the dataset also included 176 reviews, 218 conference proceedings, and a smaller number of book chapters, early access publications, revisions, editorial materials, and letters. The dataset presented in Table 1 demonstrates the broad and rich knowledge base of the research field. This is supported by the fact that the data was obtained from 1,178 different sources and contains a total of 154,252 references. The annual publication growth rate of 12.28% indicates a growing scientific interest in the subject, and the average of 45.03 citations per document shows the high scientific impact of the studies. The dataset includes 17,077 researchers. The number of single-authored studies is only 164. The average of 4.71 authors per document indicates that most studies are conducted by research teams. Furthermore, the international co-authorship rate of 23.85% shows a significant level of international scientific collaboration.

The dataset contains 6,226 Keyword Plus and 10,350 Author Keywords. The number and variety of keywords indicate a broad scope encompassing various subtopics and disciplines within the research area. Additionally, the low number of retracted publications suggests effective academic quality control in the research field.

Table 1. Descriptive analysis of the data set

Description	Results
MAIN INFORMATION ABOUT DATA	
Timespan	2000:2025
Sources (Journals, Books, etc.)	1178
Documents	5611
Annual Growth Rate %	12.28
Document Average Age	8.75
Average citations per doc	45.03
References	154252
DOCUMENT CONTENTS	
Keywords Plus (ID)	6226
Author's Keywords (DE)	10350
AUTHORS	
Authors	17077
Authors of single-authored docs	132
AUTHORS COLLABORATION	
Single-authored docs	164
Co-Authors per Doc	4.71
International co-authorships %	23.85
DOCUMENT TYPES	
article	5056
article; book chapter	19
article; data paper	3
article; early access	17
article; proceedings paper	90
article; retracted publication	8
correction	5
editorial material	5
letter	5
meeting abstract	4
proceedings paper	218
proceedings paper; retracted publication	1
retraction	1
review	176
review; book chapter	2
review; early access	1

The annual number of publications on the use of forest-derived waste as adsorbents has generally increased during the period 2000–2025 (Figure 1). The number of publications remained low in the early years of the period, but a steady increase began from 2004–2006 onwards. This increase accelerated particularly after 2015, reaching its peak in 2025. Although there were small fluctuations in some years, the general trend was upward. This is supported by the annual growth rate of 12.28% given in Table 1. The continuous increase in the number of publications indicates a significant increase in scientific interest in the use of forest-derived waste as adsorbents in recent years. This rise, particularly observed in the last decade, is attributed to the increasing demand for low-cost and environmentally friendly adsorbents, as well as the growing adoption of sustainability and circular economy approaches.

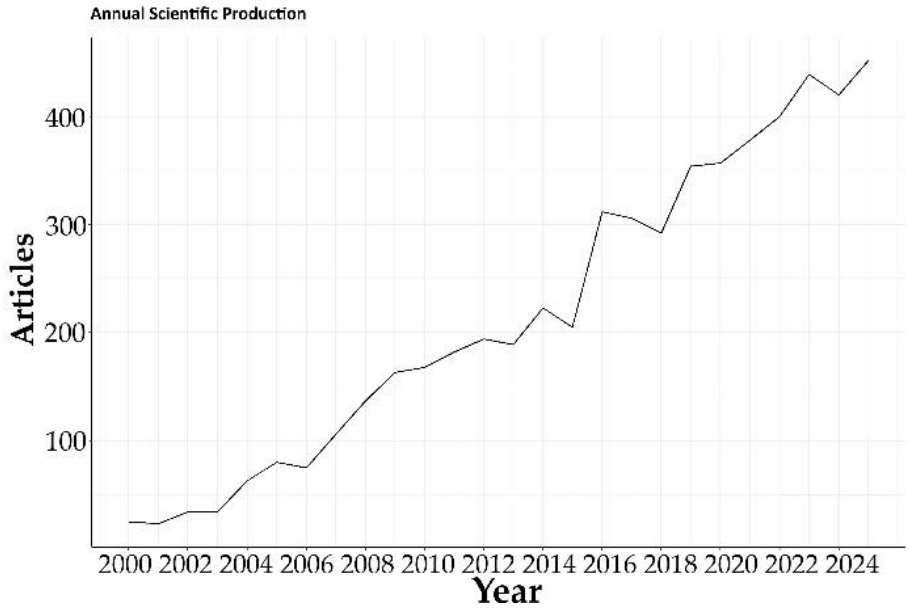


Figure 1. Annual scientific output of publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents

Between 2000 and 2025, the average number of citations per document in studies using adsorbents from forest-derived waste varied year by year, in contrast to the steady increase in the number of publications (Figure 2). This is because the scientific impact of publications emerges over time, and the time it takes for studies published in different years to gain citations differs (Donthu et al., 2021). Therefore, when evaluating high or low citation values, not only the quality of the study but also the time elapsed since publication should be considered. The highest average citation value was obtained in 2008, followed by 2020. The lowest average citation value was determined in 2013. The decrease in average citation values observed between 2020 and 2025 stems from the fact that studies published during this period have not yet received a sufficient number of citations. In general, citation trends between 2000 and 2025 show that impactful studies stand out in some periods, and new publications may generate more scientific impact over time.

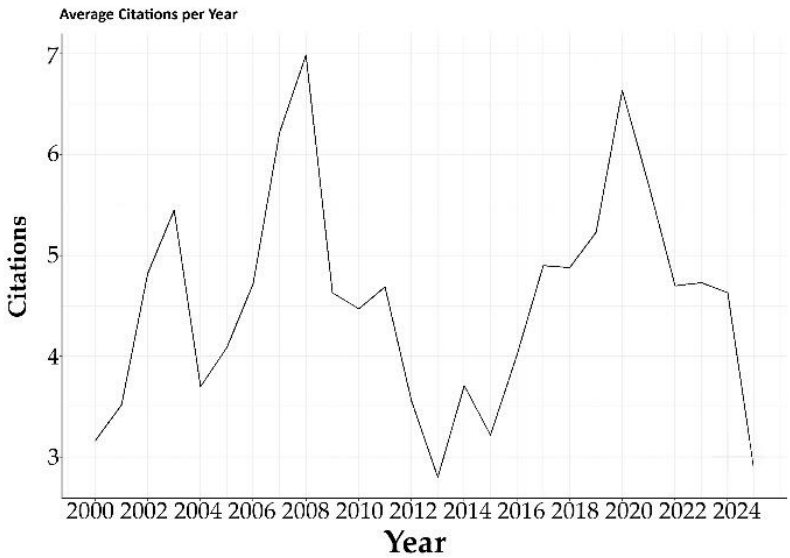


Figure 2. Average annual number of citations for publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents

The most frequently used keywords in studies on forest-derived waste adsorbents demonstrate the main trends in the research area (Figure 3). The most commonly used keyword was "adsorption" with 3,234 uses, followed by "removal" with 1,827 uses. This indicates that the studies primarily focus on the removal of pollutants through adsorption processes. Terms referring to the types of adsorbents used also stand out among the keywords. "Sawdust" and "activated carbon" were used 1,249 and 1,246 times, respectively. This shows that forest-derived wastes such as sawdust and activated carbon are commonly studied adsorbent materials. Furthermore, the frequent use of terms such as "kinetic," "equilibrium," and "aqueous solution" indicates that the studies focus on adsorption mechanisms, process characteristics, and pollutant removal in aqueous environments. The prominence of the term "biosorption" reveals that this approach is an important research topic.

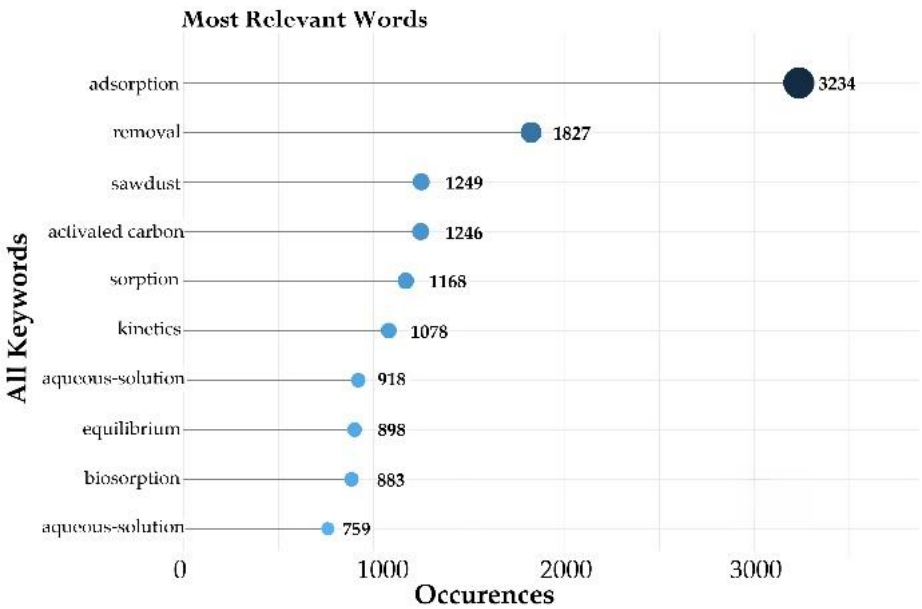


Figure 3. Most frequently used keywords in publications regarding the use of forest-derived waste materials as adsorbents

The journals with the most publications on forest-derived waste adsorbents are ranked according to the number of publications (Figure 4). "Desalination and Water Treatment" ranks first with 257 publications, followed by "Journal of Hazardous Materials" and "Bioresource Technology". The prominence of these journals indicates that the research is mostly focused on water and wastewater treatment and pollutant removal. The journals examined show that the research area encompasses different disciplines such as environmental science, chemical engineering, and biomass evaluation. Environmentally focused journals concentrate on pollution removal and environmental applications, while chemical engineering journals focus on the development and modeling of adsorption processes. Publications in journals such as "Bioresource Technology" and "Biomass Conversion and Biorefinery" show that forest-derived waste is evaluated not only as an adsorbent but also as a valuable biomass resource. This reveals the relationship between the subject and sustainability and circular economy approaches.

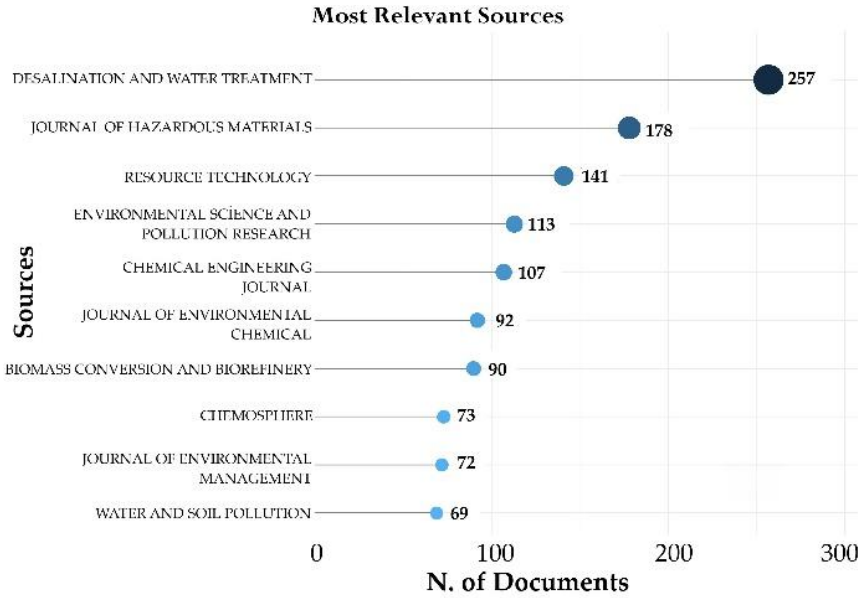


Figure 4. The most effective sources in publications regarding the use of forest-derived waste materials as adsorbents

The country distribution of the most productive countries and responsible authors (Figure 5) shows that publications are concentrated in certain countries. Considering single-country studies (SCP) and multinational collaborations (MCP), China has the most publications, followed by India, Iran, Türkiye, and Brazil. Türkiye's high ranking indicates a high level of research interest in this field.

Analysis of cross-country collaboration shows that most studies are conducted by a single country, and international cooperation remains limited. The international co-authorship rate of 23.85% (Table 1) indicates that there is still potential for collaboration in this field. Publications are particularly concentrated in Asian countries such as China, India, Iran, Malaysia, and Pakistan. This is attributed to the biomass resources these countries possess and the increasing need for low-cost adsorbents to address growing environmental problems (Crini and Lichtfouse, 2019).

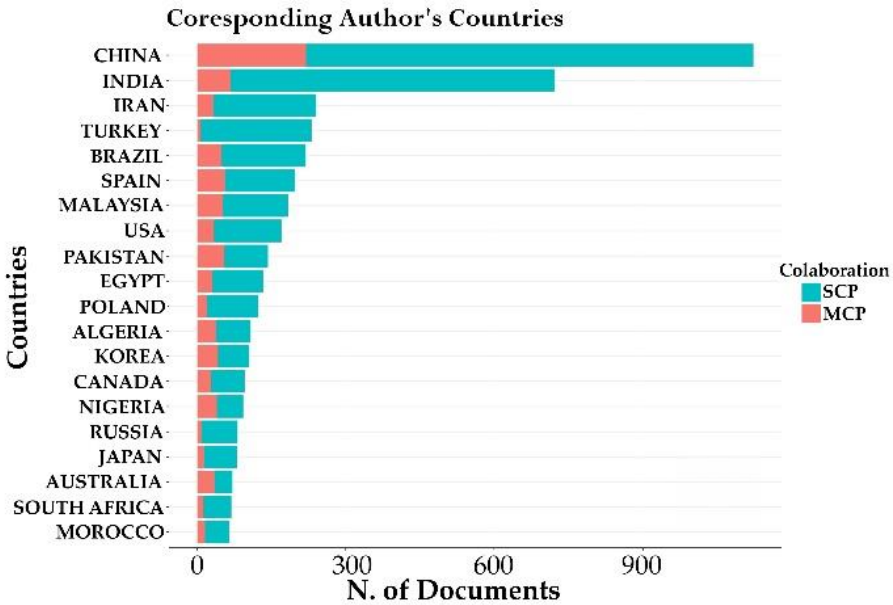


Figure 5. The most productive countries in publications regarding the use of forest-derived waste materials as adsorbents

Conceptual and Intellectual Structure

The three area graphs (Figure 6) illustrate the relationships between primary sources, prolific authors, and keywords. The theoretical basis of the studies relies on adsorption isotherms, kinetic models, and the evaluation of surface properties. In this context, Langmuir (1918) and Freundlich (1906) represent fundamental work on adsorption isotherms, Lagergren (1898), Ho and McKay (1998, 1999) on adsorption kinetics, and Brunauer et al. (1938), Weber and Morris (1963), and Thommes et al. (2015) on surface area and pore analysis. Furthermore, Bailey et al. (1999) and Taty-Costodes et al. (2003) stand out with their significant work on the use of low-cost adsorbents. Among the most prolific authors are Ofomaja, Núñez-Delgado, Arias-Estévez, Dotto, Gupta, and Ok, whose work focuses on topics such as "adsorption," "removal," "sorption," "biomass," "biochar," and "pyrolysis." Overall, these results demonstrate that research is building upon fundamental adsorption knowledge and moving towards new biomass-derived adsorbents.

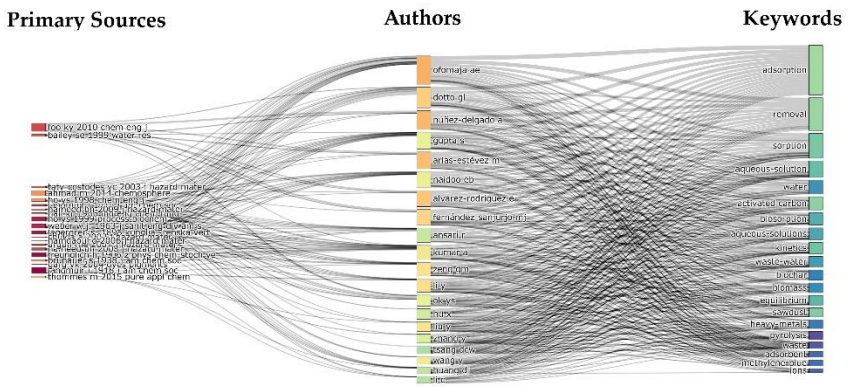


Figure 6. Three field graphs in publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents

The visual distribution of the most frequently used keywords in the analyzed publications is presented as a word cloud (Figure 7). The size of the words indicates their frequency of use. "Adsorption" stands out as the most prominent term, followed by "removal", "activated carbon", and "sawdust". Terms such as "sorption" and "kinetic" are also frequently used. These results show that the research primarily focuses on adsorption processes and forest-derived materials.

The word cloud also reveals terms with lower frequency in the rank-based keyword analysis but which indicate research trends. These terms include those related to material transformation, such as "biochar," "biomass," and "pyrolysis." Terms related to adsorption mechanisms and modeling, such as "equilibrium," "isotherm," and "thermodynamics," also stand out. The appearance of pollutant names such as lead, cadmium, copper, chromium, and methylene blue indicates that forest-derived waste adsorbents are used in the removal of both heavy metals and organic pollutants.

Figure 7. Keywords cloud of publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents

The keyword co-occurrence network in the analyzed publications (Figure 8) was divided into three main categories, where node sizes indicate the frequency of term use and links indicate the co-occurrence of terms in the same studies. Strongly related terms were grouped under red, blue, and green groups, revealing the main research axes of the field (Van Eck and Waltman, 2010). The red group focuses on adsorbent materials and production processes, with "adsorption" at its center; terms such as "activated carbon," "biochar," "biomass," "cellulose," "wood," "pyrolysis," and "chemical activation" are found around this node. This group represents studies on the conversion of forest-derived materials into adsorbents. The blue group focuses particularly on pollutant removal processes and includes terms such as "removal," "sorption," "biosorption," "sawdust," "heavy metals," "chromium," "cadmium," "lead," and "copper." This group demonstrates the use of forest waste in heavy metal removal. The green group, focusing on adsorption mechanism and process modeling, encompasses the terms "kinetic," "equilibrium," "isotherm," "thermodynamic," "methylene blue," and "dye." This shows that kinetic and equilibrium analyses are important in dye removal studies. The three groups are strongly interconnected via the "adsorption" node, revealing that the adsorbent material, pollutant type, and adsorption process dimensions are evaluated together.

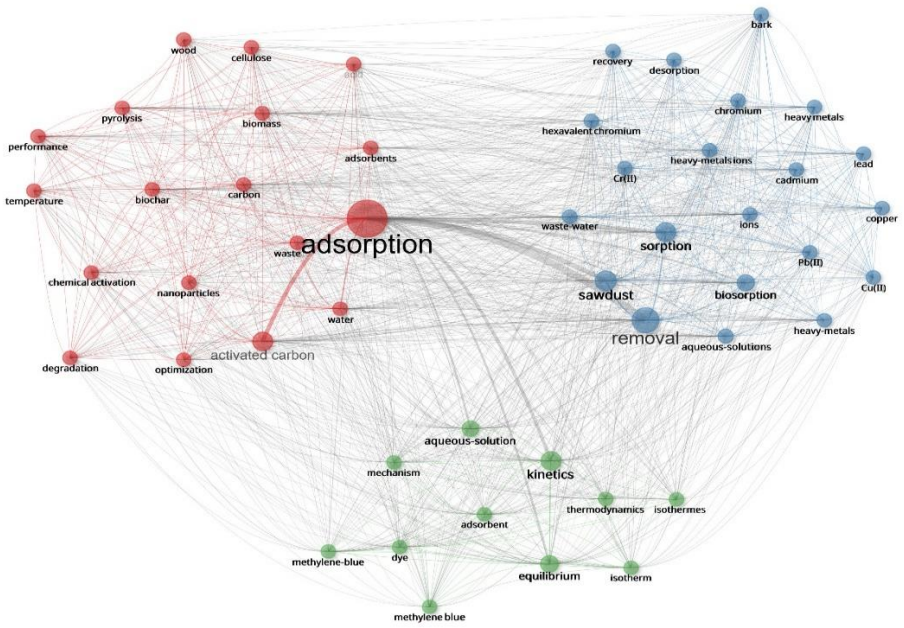


Figure 8. Common keyword usage network in publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents

Thematic Structure and Temporal Development

The thematic map, based on keywords (Figure 9), shows the conceptual structure of the studies according to centrality and density values. The horizontal axis represents centrality values, and the vertical axis represents density values. The themes are divided into four groups: motor themes, niche themes, emerging or declining themes, and core themes (Aria and Cuccurullo, 2017). Centrality indicates the relationship of a theme to other themes and its importance in the research field, while density indicates the level of development of the theme. Among the motor themes, activated carbon, kinetics, and aqueous solutions stand out with high centrality and density values. This indicates that these topics form the basis of the research field and guide its development. Studies on the use of activated carbon and adsorption kinetics are among the most focused research topics. Adsorption, water, and biomass themes are classified as niche themes due to their high density but low centrality values. Although these themes are well-developed in themselves, their impact on other research topics is more limited. Biomass-based adsorption studies represent more specific and detailed topics within this group. Removal, sawdust, and sorption themes are considered developing or declining themes due to their low

centrality and density values. This suggests that these topics may not yet be sufficiently developed or may be areas of decreasing research interest. Studies focusing on low-cost adsorbents, such as sawdust, appear to have a more limited place in the research field. The core themes, exhibiting high centrality but low density values, did not form a separate group in this study. These themes represent important topics for the research field but require further investigation (Cobo et al., 2011). Overall, the studies examined appear to focus primarily on activated carbon and adsorption kinetics. In contrast, alternative adsorbents such as biomass and forest waste stand out as research areas with more limited but developing potential. These results illustrate current research trends and the direction of development in the field.

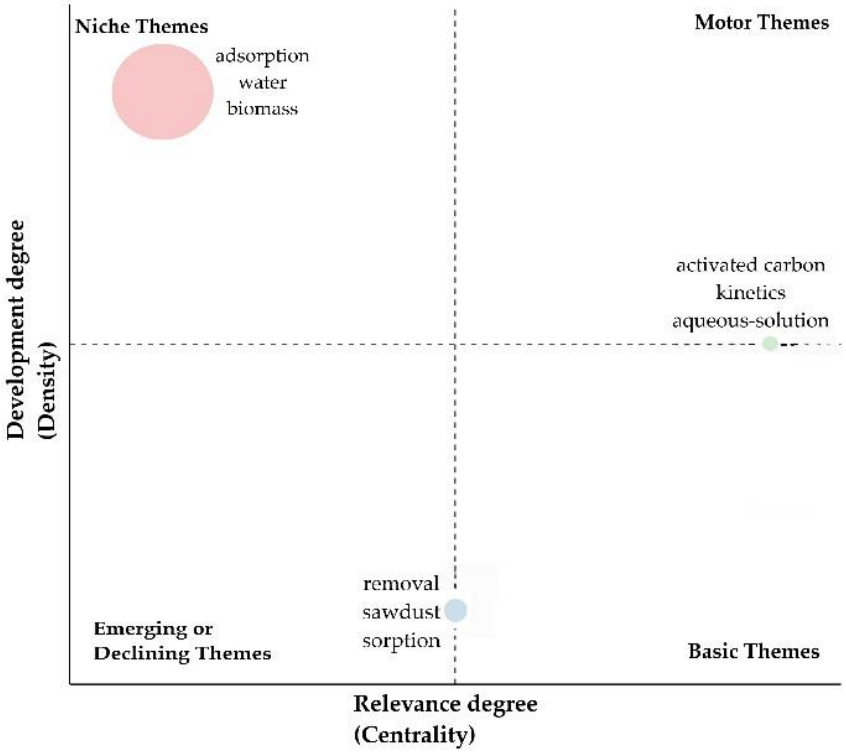


Figure 9. Thematic map of publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents.

In this study, a thematic evolution diagram (Figure 10) was created to show the change of themes over time. The analysis period was divided into two periods, 2000-2013 and 2014-2025, to ensure a balanced examination of the dataset. The left side of the diagram shows the dominant themes in the 2000-2013 period, and the right side shows the dominant themes in the 2014-2025 period. The connections between themes reveal which themes the prominent concepts of one period continued with or became related to in the next period. In thematic evolution analysis, the total time interval is divided into sub-periods to determine the transition between periods, and this dividing point is defined as the cutoff year (Cobo et al., 2011). In this study, the cutoff year was determined as 2013 to ensure a balanced data distribution. It is observed that studies conducted between 2000 and 2013 mainly focused on the themes of "chip," "adsorption," "removal," and "chromium." It appears that research during this period primarily focused on the use of sawdust-based adsorbents, particularly in the removal of heavy metals. Between 2014 and 2025, the themes of "adsorption" and "removal" are seen to retain their importance. The presence of these themes in both periods indicates that they remain among the core research topics. In addition, new themes such as "biochar" and "degradation" are emerging.

The themes of "sawdust" and "chromium" from the 2000-2013 period are followed by "adsorption," "removal," and "biochar" themes in the 2014-2025 period. This shows a shift in research from sawdust use to biochar-based adsorbents. Furthermore, the emergence of the "degradation" theme indicates a shift in research towards different methods of pollutant removal. Overall, it can be said that the core research topics have been maintained over time, while evolving with new approaches.

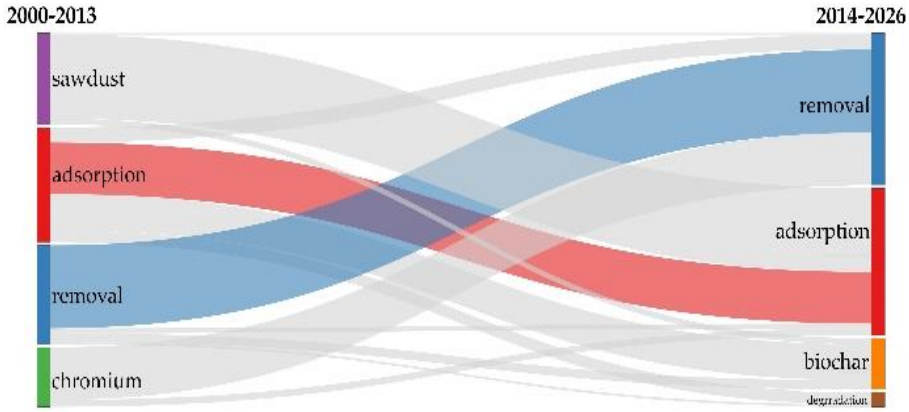


Figure 10. Thematic evolution of publications on the use of forest-derived waste materials as adsorbents (2000-2013, 2014-2025)

The topic graph (Figure 11), which illustrates the changes in keyword importance over time, provides an overview of the evolution of research trends. Each term is positioned according to the period in which it was most frequently used, while the bubble size represents its occurrence frequency (Cobo et al., 2011). During the early stage of the analyzed period (2002–2008), research mainly focused on natural and untreated biosorbents. The most prominent terms included "mercury," "modified bark," "sphagnum moss peat," "tree fern," and "sawdust adsorption," indicating a strong interest in the removal of heavy metals using natural waste-derived materials. The following period (2009–2017) was characterized by increased attention to the mechanisms and modeling of adsorption processes. Key concepts such as "adsorption isotherm," "Freundlich isotherm," "kinetics," "equilibrium," "sorption," and "biosorption" became more prominent. At the same time, studies investigating pollutants such as "chromium," "cadmium," "copper," and "methylene blue" gained importance. This stage represents the development and establishment of fundamental concepts in adsorption research.

In the most recent period (2018–2025), research trends have shifted toward advanced materials and sustainable approaches. Terms such as "biochar," "pyrolysis," "porous carbons," "nanoparticles," "composites," and "metal-organic frameworks" became increasingly important. Additionally, sustainability-related concepts, including "waste repurposing," "life cycle assessment," "green synthesis," and "photocatalysis," emerged as significant research topics. Overall, the topic graph (Figure 11) demonstrates a gradual transition in the research field, starting from the use of natural biosorbents, progressing through the understanding of adsorption mechanisms, and moving toward the development of innovative and environmentally friendly materials.

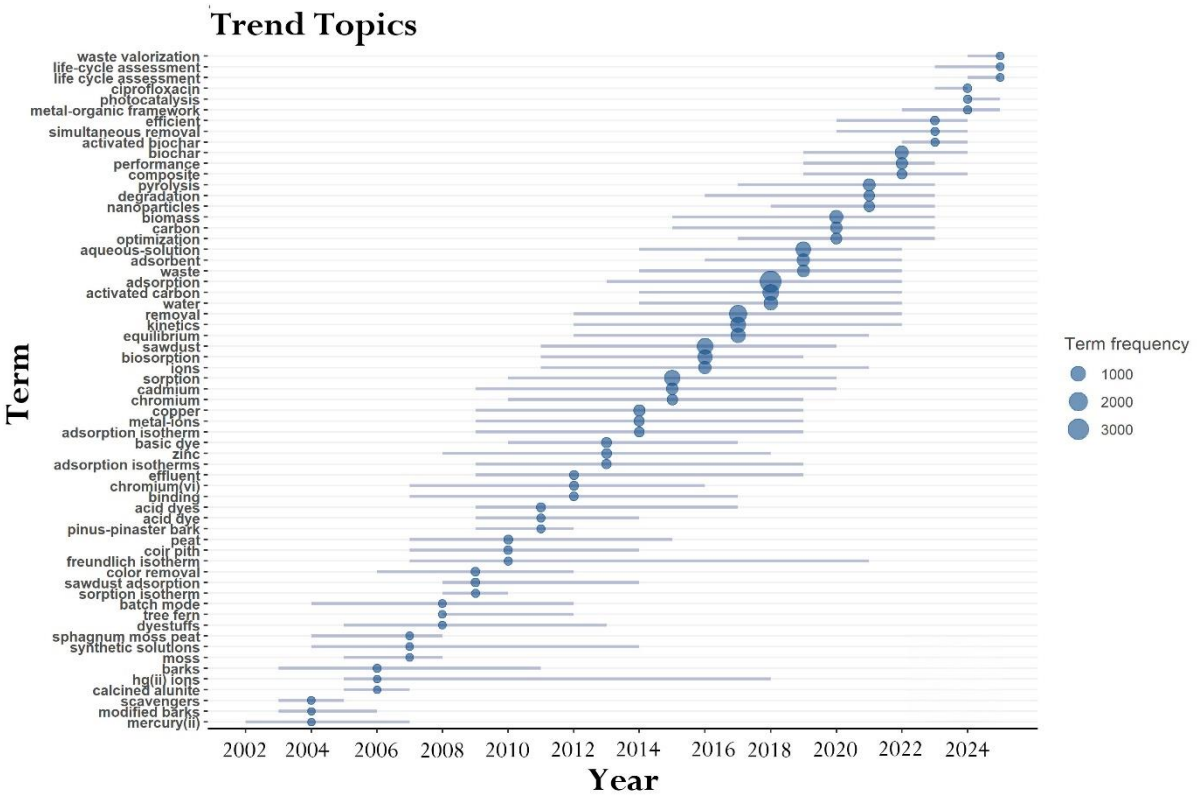


Figure 11. Trending topics in publications regarding the use of forest-derived waste materials as adsorbents.

CONCLUSION

This research systematically evaluates studies on forest-derived waste used as adsorbents from a bibliometric perspective. The analysis considers the structure of the research, its development over time, and its main areas of interest as a whole. The findings show a significant upward trend in scientific output during the 2000-2025 period and that research activities are concentrated around a limited number of countries, primarily China, India, and Türkiye. Keyword and thematic analyses reveal that dye and heavy metal removal are the dominant applications in the studies, while the research focus has shifted over time towards natural biosorbents, biochar, pyrolysis, and sustainability-oriented approaches. This shift is significant because it shows that the studies are not limited solely to environmental remediation applications but are also linked to circular economy and sustainable material development approaches. However, the limited structure of international collaboration networks and the concentration in specific thematic areas indicate the need to increase both geographical and conceptual diversity in the studies. In particular, encouraging interdisciplinary studies, developing holistic approaches encompassing different types of pollutants, and researching innovative methods for sustainable adsorbent production will be crucial for the future development of these studies.

In conclusion, this study not only analyzes existing research but also provides a reference framework for researchers by revealing the trends, gaps, and transformation dynamics of these studies. In this respect, it will contribute to the advancement of research on the use of forest-derived waste as adsorbents in a more inclusive, collaborative, and sustainable direction.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Düzce University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project No: 2026.06.02.1704).

REFERENCES

Ali, N. S., Kalash, K. R., Ahmed, A. N., & Albayati, T. M. (2024). Eco-friendly adsorption of cationic (methylene blue) and anionic (Congo red) dyes from aqueous solutions using sawdust. *Engineering Proceedings, 59*(1), 213.https://doi.org/10.3390/engproc2023059213

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics, 11*(4), 959–975. https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007

Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M., & Adrian, D. D. (1999). A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water Research, 33*(11), 2469–2479.

Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R., & Sadeghi, M. (2021). Toxic mechanisms of five heavy metals: Mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology, 12*, 643972. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972

Ben Amar, M., Walha, K., Salvadó, V., & Salvestrini, S. (2021). Valorisation of pine cone as an efficient biosorbent for the removal of Pb(II), Cd(II), Cu(II), and Cr(VI). *Adsorption Science & Technology, 2021*, 6678530. https://doi.org/10.1155/2021/6678530

Brunauer, S., Emmett, P. H., & Teller, E. (1938). Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society, 60*(2), 309–319.

Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. *Journal of Informetrics, 5*(1), 146–166. https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002

Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. *Environmental Chemistry Letters, 17*, 145–155. https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 133*, 285–296. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070

Freundlich, H. (1906). Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie, 57*, 385–470.

Gül, S., Gül, A., Gül, H., Khattak, R., İsmail, M., Khan, S. U., Han, M. S., Aouissi, H. A., & Krauklis, A. (2023). Removal of brilliant green dye from water using *Ficus benghalensis* tree leaves as an efficient biosorbent. *Materials, 16*(2), 521. https://doi.org/10.3390/ma16020521

Ho, Y. S., & McKay, G. (1998). Sorption of dye from aqueous solution by peat. *Chemical Engineering Journal, 70*(1–3), 115–124.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process Biochemistry, 34*(5), 451–465. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5

Lagergren, S. (1898). Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 24*(4), 1–39.

Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society, 40*(9), 1361–1403.

Markandeya, Shukla, S. P., & Mohan, D. (2015). Adsorptive capacity of sawdust for the adsorption of MB dye and designing of two-stage batch adsorber. *Cogent Environmental Science, 1*(1), 1075856. https://doi.org/10.1080/23311843.2015.1075856

Mergbi, M., Galloni, M. G., Aboagye, D., Elimian, E., Su, P., Ikram, B. M., & Djellabi, R. (2023). Valorization of lignocellulosic biomass into sustainable materials for adsorption and photocatalytic applications in water and air remediation. *Environmental Science and Pollution Research, 30*, 74544–74574. https://doi.org/10.1007/s11356-023-27484-2

Nouacer, I., Chekhoum, Y. S., Nouacer, A., Benalia, M., Djedid, M., & Tounsi, A. (2025). Advances in nano-chitosan adsorbents and mechanistic insights for dyes and heavy metals removal in wastewater: A systematic and bibliometric review. *Journal of Nanoparticle Research, 27*(11), 300. https://doi.org/10.1007/s11051-025-06470-4

Roa, K., Oyarce, E., Boulett, A., ALSamman, M., Oyarzún, D., Pizarro, G. D. C., & Sánchez, J. (2021). Lignocellulose-based materials and their application in the removal of dyes from water: A review.

Sustainable Materials and Technologies, 29, e00320. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2021.e00320

Singh, V. K., Singh, P., Karmakar, M., Leta, J., & Mayr, P. (2021). The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. *Scientometrics, 126*(6), 5113–5142. https://doi.org/10.1007/s11192-021-03948-5

Taty-Costodes, V. C., Fauduet, H., Porte, C., & Delacroix, A. (2003). Removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Materials, 105*(1–3), 121–142. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2003.07.009

Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC technical report). *Pure and Applied Chemistry, 87*(9–10), 1051–1069.

Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics, 84*(2), 523–538. https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3

Wang, Y., Chen, L., Zhu, Y., Fang, W., Tan, Y., He, Z., & Liao, H. (2024). Research status, trends, and mechanisms of biochar adsorption for wastewater treatment: A scientometric review. *Environmental Sciences Europe, 36*, 25. https://doi.org/10.1186/s12302-024-00859-z

Weber, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the Sanitary Engineering Division, 89*(2), 31–60.

Yadav, M., Singh, N., Khan, S. A., Raorane, C. J., & Shin, D. K. (2024). Recent advances in utilizing lignocellulosic biomass materials as adsorbents for textile dye removal: A comprehensive review. *Polymers, 16*(17), 2417. https://doi.org/10.3390/polym16172417

COW MANURE INCREASES THE CHLOROPHYLL CONTENT (SPAD) AND IMPROVES CABBAGE YIELD UNDER FULL AND DEFICIT IRRIGATION

İNEK GÜBRESİ TAM VE KISINTILI SULAMADA KLOROFİL İÇERİĞİNİ (SPAD) ARTIRIR VE LAHANA VERİMİNİ İYİLEŞTİRİR

Dr. Samiratou ABDOULAYE MAMANE
Ataturk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Erzurum, Türkiye
ORCID: 0009-0003-5976-6326

Prof. Dr. Ustun SAHIN
Ataturk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Erzurum, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1924-1715

ABSTRACT
Chlorophyll content is a pivotal physiological characteristic of plants that is affected by water restriction and organic fertilization. The present study examined the effect of three irrigation levels on chlorophyll content (SPAD) in white cabbage plants under three different fertilization treatments over a period of two years. The irrigation levels were W100 (full irrigation), W75 (25% less than W100), and W50 (50% less than W100). The fertilization treatments were F0 (mineral fertilization), F1 (cow manure fertilization providing 3% organic matter content in the topsoil), and F2 (cow manure fertilization providing 4.5% organic matter content in the topsoil). When two-year means are considered, a substantial decline in SPAD values is observed in response to water scarcity. The W100 treatment resulted in a higher SPAD value of 42.6% in comparison to the W50 treatment. Applying manure demonstrably increased the SPAD value. The maximum value of 62.3% was observed in the F2-W100 treatment. This signifies a 52.7% increase compared to the F0-W100 treatment. At the W50 irrigation level, the F2 treatment had a SPAD value similar to the F0-W100 treatment. A similar outcome was observed in the F1-W75 treatment, which produced a significantly higher SPAD value than the F0-W100 treatment. A substantial linear relationship was identified between cabbage marketable yield and SPAD values. In conclusion, the findings of this study demonstrate that applying cow manure is more effective than mineral fertilization for achieving high plant yields under water-scarce conditions due to increased chlorophyll content.
Keywords: White cabbage, Organic fertilization, Water scarcity, Chlorophyll content (SPAD).

ÖZET
Klorofil içeriği, bitkilerin su kısıtlaması ve organik gübrelemeden etkilenen önemli fizyolojik özelliklerinden biridir. Bu çalışmada, üç farklı gübreleme uygulamasında üç farklı sulama düzeyinin beyaz lahananın klorofil içeriği (SPAD) üzerindeki etkisi iki yıl boyunca araştırılmıştır. Sulama düzeyleri W100 (tam sulama), W75 (W100'e göre %25 daha az sulama) ve W50 (W100'e göre %50 daha az sulama) olarak belirlenmiştir. Gübreleme uygulamaları ise F0 (mineral gübreleme), F1 (üst toprakta %3 organik madde sağlayacak miktarda inek gübresi uygulaması) ve F2 (üst toprakta %4.5 organik madde sağlayacak miktarda inek gübresi uygulaması) şeklinde oluşturulmuştur. İki yıllık ortalamalar değerlendirildiğinde, su kısıntısının SPAD değerlerinde önemli bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. W100 uygulamasında SPAD değeri, W50 uygulamasına kıyasla %42.6 daha yüksek bulunmuştur. İnek gübresi uygulaması ise SPAD değerlerini belirgin şekilde artırmıştır. En yüksek SPAD değeri (%62.3) F2-W100 uygulamasında belirlenmiş ve bu değer F0-W100 uygulamasına göre %52.7 daha yüksek olmuştur. W50 sulama düzeyinde F2 uygulamasında elde edilen SPAD değeri, F0-W100 uygulamasında elde edilen değere benzer bulunmuştur. Benzer şekilde, F1-W75 uygulamasında da F0-W100 uygulamasına kıyasla önemli ölçüde daha yüksek SPAD değeri elde edilmiştir. Lahananın pazarlanabilir verimi ile SPAD değerleri arasında önemli düzeyde doğrusal bir ilişki belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışmanın bulguları, suyun kıt olduğu koşullarda inek gübresi uygulamasının klorofil içeriğini artırarak yüksek verim elde edilmesinde mineral gübrelemeye kıyasla daha etkili olduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Beyaz lahana, organik gübreleme, su kısıtı, klorofil içeriği (SPAD)

INTRODUCTION

Cabbage is one of the most popular brassica vegetables because it is affordable, widely available, and nutritious (Moreb et al., 2020). Like other popular Brassica species, cabbage is widely consumed for its nutritional benefits, including antioxidants, vitamins, and other bioactive compounds (Rijal et al., 2026). Observations of various aspects of plant growth, such as leaf area index and biomass, revealed the white cabbage's sensitivity to drought stress (Seidel et al., 2017). Drought stress affects Brassica plants in several ways. It disrupts physiological functions such as photosynthesis and triggers oxidative stress by causing the accumulation of reactive oxygen species (Mohan et al., 2025). Therefore, maintaining adequate photosynthetic activity is essential for producing a high-yield cabbage due to leaf photosynthesis directly impacts biomass accumulation and head formation (Khramov et al., 2022).

The SPAD chlorophyll meter measures the amount of chlorophyll in leaves. It provides a quick, non-destructive estimate of foliar chlorophyll concentration and is widely used as an indirect indicator of photosynthetic capacity and overall physiological performance (Sharma, 2015; Sim et al., 2015; Jiang et al., 2017). Generally, higher SPAD values are associated with better physiological activity, increased biomass accumulation, and higher yields (Altun and Sahin, 2025). Environmental stresses can weaken the relationship between chlorophyll content and productivity. Water deficits, nutrient imbalances, and oxidative stress can decrease photosynthetic activity by degrading chlorophyll and limiting stomata, which results in lower cabbage yields (Samancıoğlu, 2016). However, appropriately managing soil fertility, particularly through the use of organic amendments, can improve nitrogen availability and maintain chlorophyll concentration. This is because chlorophyll content is closely associated with leaf nitrogen concentration and photosynthetic capacity (Cakmakci and Sahin, 2021; Cao et al., 2023; Yerli et al., 2023; Altun and Sahin, 2025; Jeong et al., 2025).

Therefore, SPAD can be used as an effective physiological indicator for planning deficit irrigation and estimating yields in cabbage production systems that use organic fertilizer. However, investigating this relationship further at different manure doses and water restrictions will contribute to developing cabbage production strategies. This study examined the relationship between SPAD values and white cabbage yield under various levels of irrigation and cow manure application rates compared to mineral fertilization.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted at the Atatürk University Plant Production Application and Research Center in the Erzurum region from June to September of 2023 and 2024. The average temperature during the vegetation period was 18.3°C in both years, with total precipitation of 107.8 mm in 2023 and 108.7 mm in 2024. The topsoil (0-30 cm layer) of the experimental field was clay loam with a bulk density of 1.29 g cm^{-3}, an organic matter content of 1.65%, an electrical conductivity of 0.245 dS m^{-1}, a pH of 7.68, and a $CaCO_3$ content of 0.26%. The water-holding capacity of the 60-cm effective root depth was 83.5 mm.

The experiment used a fully randomized 3x3 factorial design with three replications for a total of 27 plots. Three different fertilizer treatments were considered: F0 (chemical fertilizer), F1 (cow manure application providing 3% organic matter content in the soil), and F2 (cow manure application providing 4.5% organic matter content in the soil). Three irrigation levels were considered: W100 (full irrigation), W75, and W50 (75% and 50% of full irrigation, respectively).

The amount of mature cow manure required for a soil depth of 20 cm was calculated for the F1 and F2 treatments in the experimental field. Then, it was mixed into the top 15 cm of soil with a hoe machine before planting. The F0 treatment plots were also tilled to a depth of 15 cm, and nitrogen and phosphorus fertilizers were applied according to the results of a topsoil analysis. The nitrogen fertilizer dose was 160 kg of urea per hectare, and the phosphorus fertilizer dose was 100 kg of P_2O_5 per hectare (Samancıoğlu, 2016). Madalya F1 cabbage seedlings were planted in five rows within plots measuring 3.0 by 2.5 meters, with 60 centimeters between rows and 50 centimeters between plants.

Groundwater that met irrigation standards was transported from the storage pool to the experimental field via a pressurized pipeline. The line was connected to a drip irrigation system with driplines in each row. For the first month, all plants received the same amount of water considering the 0.30 wetting ratio. During this time, all plots were irrigated equally with enough water to increase existing soil moisture at a depth of 30 cm to field capacity when the total (ETc - precipitation) value reached 45% of the available water at a depth of 30 cm. The amount of water applied was considered the soil moisture deficit relative to field capacity in the fully irrigated control plots (F0-W100). Subsequently, when the total (ETc - precipitation) value reached 45% of the available water at 60 cm, the required amount of water was applied to plots W100, W75, and W50 at 100%, 75%, and 50%, respectively. This amount was determined by moisture loss in the control plots. The wetting ratio was increased to 0.70 until the end of the season (Samancıoğlu, 2016). The soil moisture content of each treatment was determined using a TDR probe (Trime-Pico, IPH/T3, IMKO) for the top layer (0-30 cm) and gravimetrically for the sublayer (30-60 cm).

Estimated evapotranspiration (ETc) was calculated using the equation ETc = kc x ETo. Reference evapotranspiration (ETo) was calculated using the FAO Penman-Monteith equation with Cropwat software and daily climate data, and kc values were obtained from national resources (TAGEM, 2017). Climate data were obtained from the Erzurum Airport Meteorological Station. Precipitation was measured with a pluviometer in the experimental field.

SPAD values were determined at harvest using an SPAD-502 device (Konica Minolta) on the three most developed leaves of five plants in each plot. Subsequent to the removal of the external leaves, the weight of the cabbage heads was measured, and the plot's marketable yield was calculated.

SPAD values were analyzed using a general linear model in SPSS software. The model incorporated fertilization treatments and irrigation levels as the variables. The interaction effects were evaluated using a One-Way ANOVA test. The Duncan test was utilized to ascertain mean differences. The relationship between SPAD values and marketable yield was examined using Pearson's correlation analysis.

RESULTS AND DISCUSSIONS

Treatments involving fertilizers and irrigation had statistically significant effects ($p < 0.01$) on SPAD value (Figs. 1-3). Examining the two-year averages in terms of fertilizer treatments revealed that the F2 treatment yielded the highest value of 51.4%. This value was 13.7% and 43.2% higher than the values of the F1 and F0 treatments, respectively. This increase exhibited significant ($p < 0.01$) linear change, as illustrated in Figure 1.

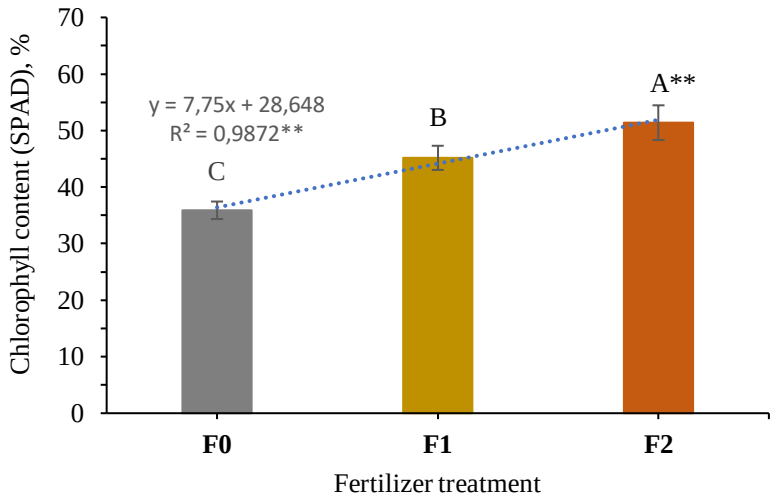


Figure 1. The chlorophyll content (SPAD) values at different fertilizer treatments. Means marked with different letters are significantly different at the 0.01 level

Organic fertilizers play a vital role in various physiological processes in plants and act as crucial nutrients for crops. Animal manure stands out due to its high concentration of amino acids, organic

matter, and other vital nutrients, such as nitrogen, phosphorus, and potassium, which are essential for plant health. Furthermore, implementing this practice has been shown to improve soil fertility by enhancing the composition of the rhizospheric microbial community. This leads to sustained soil productivity over an extended period (Zhang et al., 2025). Research has shown that bio-fertilizers increase chlorophyll synthesis by activating essential enzymes (Alshamary et al., 2025). Additionally, the concentration of photosynthetic pigments in plants is influenced by nutritional elements. A nitrogen deficiency has been shown to result in decreased chlorophyll content (Liu et al., 2025). Enhancing microbial populations through organic fertilizer application is also crucial for improving nutrient absorption (Rayne & Ala, 2020). Consequently, it was determined that organic fertilization, characterized by sustained nutrient provision and enhanced plant nutrition, positively influences physiological function, leading to notable increases in SPAD value. Furthermore, a study by Qiu et al. (2013) revealed that Chinese cabbage plants treated with organic fertilizer exhibited augmented chlorophyll levels.

When evaluated in terms of irrigation levels, the average SPAD value was 51.9% in the W100 treatment, while this value decreased to 44.1% in W75 and 36.4% in W50 (Fig. 2). The W1 treatment demonstrated a 17.7% increase compared to W2 and a 42.6% increase compared to W3. A substantial ($p<0.01$) linear decrease in SPAD values was identified as a consequence of water restriction (Fig. 2).

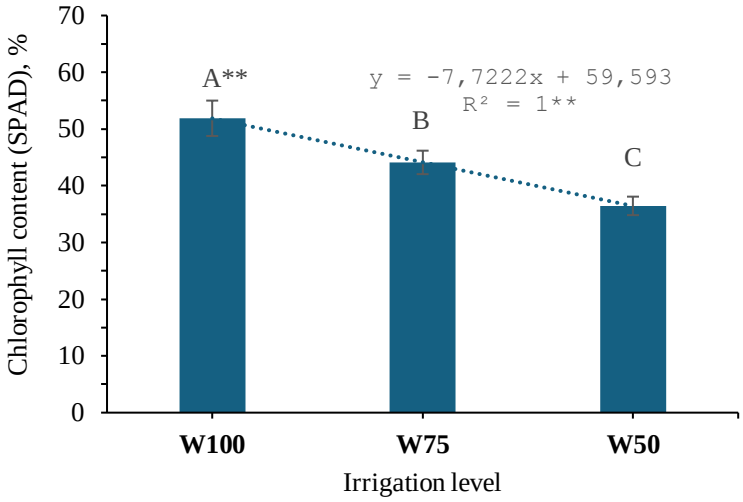


Figure 2. Chlorophyll content (SPAD) values at different irrigation levels. Means marked with different letters are significantly different at the 0.01 level

White cabbage is a plant with a high leaf area index, which results in relatively high transpiration rates and rapid soil drying (Seidal et al., 2017). It has been proposed that the decline in photosynthetic electron transport during water deficiency stress contributes to a reduction in overall photosynthetic performance in Brassica plants (Mohan et al., 2025). The findings of this study demonstrated that elevated stress levels, precipitated by escalating soil drought, exert a deleterious influence on plant physiological processes and result in a decline in SPAD content. In a similar vein, Sahin et al. (2018) have demonstrated a strong correlation between leaf chlorophyll content and photosynthetic activity, suggesting that SPAD values decline in response to increasing drought stress.

It is imperative to investigate the interplay between water and fertilizer, as this knowledge is crucial for the establishment of sustainable agricultural practices, thereby enhancing the resilience of crops in the face of water scarcity (Chaudhry and Sidhu, 2022). As illustrated in Figure 3, an analysis of the interactions among the treatments indicated that the F2-W100 treatment exhibited the highest SPAD value of 62.3%, while the F0-W50 treatment demonstrated the lowest value of 30.3%. The F2-W100, F2-W75, and F2-W50 treatments for SPAD exhibited increases of 52.7%, 38.9%, and 36.0%, respectively, in comparison to the F0-W100, F0-W75, and F0-W50 treatments.

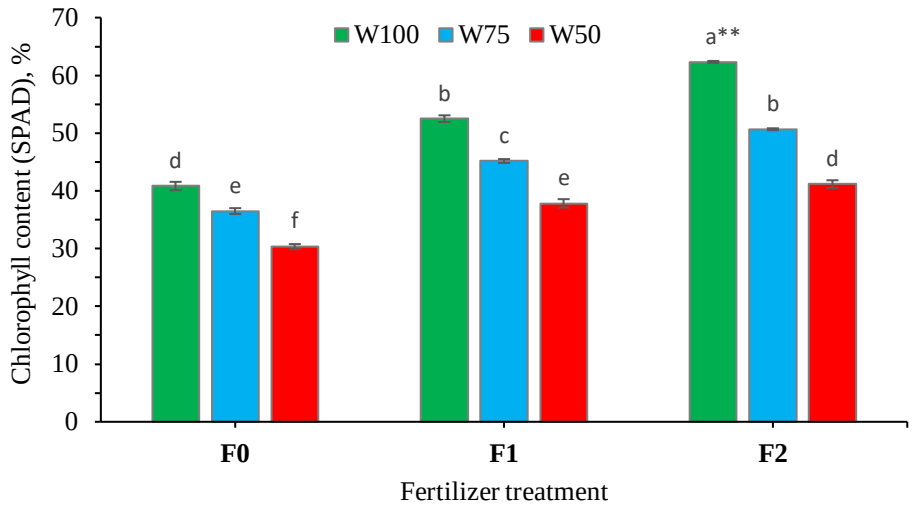


Figure 3. Chlorophyll content (SPAD) values under different combinations of fertilizer treatments and irrigation levels. Means marked with different letters are significantly different at the 0.01 level

The value ascertained in the implementation of cow manure under the most stringent water restriction condition exhibited statistical similarity to the value under full irrigation conditions with mineral fertilizer. Moreover, a statistically higher SPAD value was observed in the F1-W75 treatment in comparison to the F0-W100 treatment. Concurrently, the provision of nutrients by organic fertilizers and the enhancement of soil conditions have been demonstrated to promote chlorophyll formation, thereby increasing photosynthetic capacity in numerous studies (Altun, 2024; Badaou, 2025; Yusuf, 2025). This finding indicates that organic fertilization promotes plant physiology not only under optimal conditions but also in response to stress by improving easily available water content (Rayne and Aula, 2020; Badaou, 2025; Yusuf, 2025). According to Zhang et al. (2025), maintaining optimal moisture conditions is imperative to ensure sustained high-speed metabolic activity within microbial cells, and that the application of organic fertilizers in the presence of sufficient water leads to a significant increase in microbial activity and biomass, thereby optimizing the microbial community structure and improving basic ecological functions.

A substantial ($p<0.01$) correlation was identified between marketable cabbage yield and SPAD, indicating that enhanced SPAD values resulted in considerable increases in yield (Fig. 4). Numerous studies have demonstrated that drought stress can result in a reduction of chlorophyll content in plants, which can subsequently lead to yield losses (Farooq et al. 2009; Altun, 2024; Badaou, 2025; Mohan et al. 2025; Yusuf, 2025).

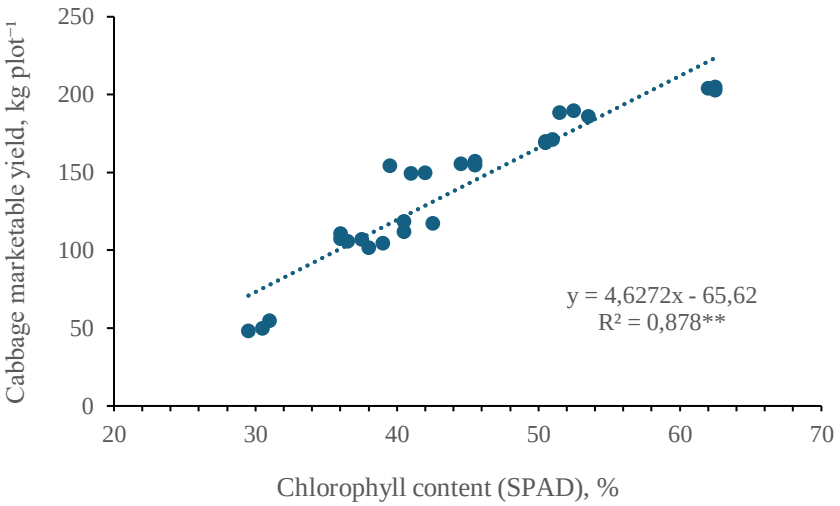


Figure 4. The relationship between chlorophyll content (SPAD) and marke**table** cabbage yield. ** Significant at the 0.01 level

CONCLUSION

The findings indicate that chlorophyll (SPAD) content attains its maximum level under optimal water and nutritional conditions. The application of organic fertilizers has been observed to exert a protective effect on chlorophyll content, particularly under conditions of water restriction. The findings indicate that the incorporation of organic matter and the implementation of regulated irrigation limitations are pivotal in enhancing photosynthetic activity, thereby contributing to an increase in the yield of cabbage plants.

Acknowledgment

The authors express gratitude to the Scientific Research Projects Unit at Atatürk University for providing financial support for this study (project no. FDK-2022-11298).

REFERENCES

Alshamary, W.F.A., Lateef, N.S., Hisham, B.A.A., Ghani, E.T.A. (2025). Optimizing water use efficiency and cabbage yield under surface and subsurface drip irrigation with Bio-fertilizer WSG. International Journal of Design & Nature and Ecodynamics, 20(4), 753-760. https://doi.org/10.18280/ijdne.200406

Altun, M. (2024). Effects of Sewage Sludge Application on Soil Productivity Parameters and Changes in Carbon Stock in Silage Maize Cultivation Under Different Irrigation Regimes. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Altun, M., Sahin, U. (2025). Improving fertility in reduced-tilled soil with sewage sludge and frequent irrigation enhances maize silage yield and water productivity. Bragantia, 84, e20250035. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20250035

Badaou, A.N.A.D. (2025). The Effect of Different Irrigation Regimes on Water Productivity Soil Fertility and CO_2 Emission in Silage Maize Grown with Manuring. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Cakmakci, T., Sahin, U. (2021). Improving silage maize productivity using recycled wastewater under different irrigation methods. Agricultural Water Management, 255, 107051. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107051

Cao, H., Zhang, F., Fu, J., Ma, X., Wang, J., Liu, F., Guo, G., Tian, Y., Liang, T., Zhou, N., Wang, Y., Chen, X., Wang, X. (2023). Optimized Nitrogen Fertilizer Rate Can Increase Yield and Nitrogen Use Efficiency for Open-Field Chinese Cabbage in Southwest China. Agronomy, 13(6), 1578. https://doi.org/10.3390/agronomy13061578

Chaudhry, S., Sidhu, G.P.S. (2022). Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review. Plant Cell Reports, 41, 1-31. https://doi.org/10.1007/s00299-021-02759-5

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29, 185-212. https://doi.org/10.1051/agro:2008021

Jeong, Y.J., Vyavahare, G.D., Kim, S.H., Jeon, S.H., Roh, A.S., Yun, J.J., Shim, J.H. (2025). Effect of fertilizer and food waste compost on soil carbon, nitrogen use efficiency, and yield of Chinese cabbage (Brassica Rapa L.). Applied Biological Chemistry, 68, 77. https://doi.org/10.1186/s13765-025-01044-3

Jiang, C., Johkan, M., Hohjo, M., Tsukagoshi, S., Maturo, T. (2017). A correlation analysis on chlorophyll content and SPAD value in tomato leaves. HortResearch,. 71, 37-42. http://doi.org/10.20776/S18808824-71-P37

Khramov, R., Kosobryukhov, A., Kreslavski, V., Balakirev, D., Khudyakova, A., Svidchenko, E., Surin, N., Ponomarenko, S., Luponosov, Y. (2022). Luminescence of agrotextiles based on red-light-emitting organic luminophore and polypropylene spunbond enhances the growth and photosynthesis of vegetable plants. Frontiers in Plant Science, 13, 827679. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.827679

Liu, X., Wang, Y., Qian, X., Wu, Z., Zhou, R., Hou, X., Qi, Y., Jiang, F. (2025). Maintaining high yield and improving quality of non-heading Chinese cabbage through nitrogen reduction in different seasons. Agronomy, 15(3), 571. https://doi.org/10.3390/agronomy15030571

Mohan, V.R., MacDonald, M.T., Abbey, L. (2025). Impact of water deficit stress on brassica crops: growth and yield, physiological and biochemical responses. Plants, 14(13), 1942. https://doi.org/10.3390/plants14131942

Moreb, N., Murphy, A., Jaiswal, S., Jaiswal, A.K. (2020). Cabbage. In: Jaiswal, A.K. (ed). Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables, Academic Press, pp. 33-54. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00003-9

Qiu, X., Wang, Y., Hu, G., Wang, Q., Zhang, X., Dong, Y. (2013). Effect of different fertilization modes on physiological characteristics, yield and quality of Chinese cabbage. Journal of Plant Nutrition, 36, 948–962. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.759972

Rayne, N., Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. Soil Systems. 4(4), 64. https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064

Rijal, R., Sharm, A.K., Kumar, A. (2026). Economic Importance of Brassica Crops. In: Kumar, A., Koul, B. (eds). Crop Improvement Strategies in Brassica species: Applied Science. Springer, Singapore, pp. 1-36. https://doi.org/10.1007/978-981-95-3861-4_1

Sahin, U., Ekinci, M., Ors, S., Turan, M., Yildiz, S., Yildirim, E. (2018). Effects of individual and combined effects of salinity and drought on physiological, nutritional and biochemical properties of cabbage (Brassica oleracea var. capitata). Scientia Horticulturae, 240, 196-204. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.016

Samancıoğlu, A. (2016). Effects of Bacteria Applications on Water Use Efficiency, Plant Growth, Yield and Quality of Cabbage Grown Under Different Irrigation Levels. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Seidel, S.J., Werisch, S., Schütze, N., Laber, H. (2017). Impact of irrigation on plant growth and development of white cabbage. Agricultural Water Management, 187, 99-111. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.03.011

Sharma, P. (2015). Chlorophyll Fluorescence parameters, SPAD chlorophyll and yield in Brassica cultivars. Journal of Oilseed Brassica, 6 (2): 249-256.

Sim, C.C., Zaharah, A.R., Tan, M.S., Goh, K.J. (2015). Rapid determination of leaf chlorophyll concentration, photosynthetic activity and NK concentration of Elaies guineensis via correlated SPAD-502 chlorophyll index. Asian Journal of Agricultural Research, 9(3), 132-138. https://doi.org/10.3923/ajar.2015.132.138

TAGEM, (2017). Plant Water Consumption of Irrigated Plants in Turkey. Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Agricultural Research and Policies, General Directorate of State Hydraulic Works, Ankara.

Yerli, C., Sahin, U., Ors, S., Kiziloglu, F.M. (2023). Improvement of water and crop productivity of silage maize by irrigation with different levels of recycled wastewater under conventional and zero tillage conditions. Agricultural Water Management, 277, 108100. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108100

Yusuf, G.B. (2025). Water and Soil Productivity and Soil CO2 Emissions in Curly Lettuce at Different Cattle Manure Doses and Irrigation Intervals. Master's Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Zhang, C., Zhang, Y., Wang, X.X., Zhang, J., Li, H., Zhang, R., Zhang, J. (2025). Optimizing water and organic fertilizer use to enhance seedling growth and soil health in Chinese cabbage (Brassica rapa spp. pekinensis) cultivation. BMC Plant Biology, 25(1), 1757. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07620-5

THE EFFECT OF COW MANURE FERTILIZATION ON MEMBRANE DAMAGE DIMINISHED YIELD IN DEFICIT-IRRIGATED WHITE CABBAGE

KISINTILI SULANAN BEYAZ LAHANADA İNEK GÜBRESİ UYGULAMASININ VERİM AZALMASINA NEDEN OLAN MEMBRAN ZARARLANMASINA ETKİSİ

Dr. Samiratou ABDOULAYE MAMANE
Ataturk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Erzurum, Türkiye
ORCID: 0009-0003-5976-6326

Prof. Dr. Ustun SAHIN
Ataturk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Erzurum, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1924-1715

ABSTRACT
The present study examined the potential of cow manure fertilization to mitigate membrane damage, which has been demonstrated to exert a substantial impact on the yield of white cabbage under conditions of water scarcity. The experiment was conducted under the semi-arid climatic conditions of Erzurum, Turkey, in 2023 and 2024. A 3 × 3 factorial experiment was conducted, with three irrigation levels (W100: full irrigation, W75: 25% water deficit, and W50: 50% water deficit) and three fertilization treatments (F0: mineral fertilizer, F1: cow manure providing approximately 3% soil organic matter, and F2: cow manure providing approximately 4.5% soil organic matter), with three replications. The combined results from 2023 to 2024 indicated a decrease in irrigation, which was accompanied by an increase in the membrane damage index. The mean membrane damage index values for W100, W75, and W50 were 8.1%, 17.8%, and 32.6%, respectively. The minimum membrane damage index value (6.1%) was identified in F2-W100, while the maximum value (40.0%) was observed in F0-W50. The application of cow manure resulted in lower membrane damage index values than mineral fertilizer at all levels of irrigation. The F2 treatment demonstrated a 29.0% reduction in membrane damage index under conditions of 50% water deficit when compared to the F0 treatment. A significant negative correlation was identified between cabbage yield and the membrane damage index. The findings suggest that the application of cow manure has the potential to mitigate the deleterious effects of water stress on membrane stability and to mitigate yield losses in white cabbage. In conclusion, in regions with scarce water resources, cow manuring may be a more effective option than mineral fertilization to mitigate the negative impact of water scarcity on yield through membrane damage.
Keywords: Water deficit, organic manuring, membrane damage, white cabbage.

ÖZET
Bu çalışmada, su yetersizliği koşullarında beyaz lahana verimini önemli ölçüde etkileyen membran zararlanmasının azaltılmasında inek gübresi uygulamasının potansiyel etkisi araştırılmıştır. Araştırma, 2023 ve 2024 yıllarında Türkiye'nin Erzurum ilinin yarı kurak iklim koşullarında yürütülmüştür. Deneme, üç sulama düzeyi (W100: tam sulama, W75: %25 su kısıtı ve W50: %50 su kısıtı) ile üç farklı gübreleme uygulamasının (F0: mineral gübreleme, F1: toprak organik maddesini yaklaşık %3 düzeyine çıkaracak miktarda inek gübresi ve F2: toprak organik maddesini yaklaşık %4.5 düzeyine çıkaracak miktarda inek gübresi) kombinasyonundan oluşan 3 × 3 faktöriyel deneme deseninde, üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. 2023 ve 2024 yıllarının birleşik sonuçları, sulama düzeyi azaldıkça membran zararlanma indeksinin arttığını ortaya koymuştur. W100, W75 ve W50 sulama düzeylerinde ortalama membran zararlanma indeksi sırasıyla %8.1, %17.8 ve %32.6 olarak belirlenmiştir. En düşük membran zararlanma indeksi %6.1 ile F2-W100 uygulamasında, en yüksek değer ise %40.0 ile F0-W50 uygulamasında elde edilmiştir. İnek gübresi uygulamaları, tüm sulama düzeylerinde mineral gübre uygulamasına göre daha düşük membran zararlanma indeksi sağlamıştır. F2 uygulaması, %50 su kısıtı koşullarında F0 uygulamasına kıyasla membran zararlanma indeksini %29.0 azaltmıştır.

Lahana verimi ile membran zararlanma indeksi arasında önemli düzeyde negatif bir korelasyon belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, inek gübresi uygulamasının su stresinin membran stabilitesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltabileceğini ve beyaz lahanada su kısıntısından kaynaklanan verim kayıplarını sınırlayabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, su kaynaklarının kıt olduğu bölgelerde, su kısıtının membran zararlanması üzerinden verime olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla inek gübresi uygulamasının mineral gübrelemeden daha etkili bir uygulama olabileceği değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Su kısıtı, organik gübreleme, membran zararlanması, beyaz lahana

INTRODUCTION

Water scarcity and climate change are increasingly threatening the availability of freshwater resources, thereby putting considerable pressures on the global agriculture sector to ensure the secure and reliable acquisition of water (Obayomi et al., 2026). As stated in the 2018 report by the UNESCO World Water Assessment Programme, water scarcity poses a significant threat to global agriculture (UNESCO, 2018). In order to optimise the utilisation of water resources, it is imperative to implement practical irrigation techniques such as deficit irrigation, which are not contingent upon meeting the complete water demand (Biswas et al., 2025).

The impact of water stress on plant life has been the subject of extensive research, which has elucidated that it instigates an integrated physiological response chain. In order to minimize water loss through transpiration, a process occurs that begins with the closure of the stomata. This results in the gradual inhibition of photosynthetic carbon assimilation. As the influx of internal carbon dioxide diminishes, the equilibrium between light availability and carbon fixation undergoes a shift, resulting in the production of reactive oxygen species (ROS). These ROS pose a threat to cellular integrity unless neutralized by antioxidant defenses. Therefore, the hypothesis that an excessive accumulation of reactive oxygen species contributes to the acceleration of lipid peroxidation in cell membranes has been proposed (Song et al., 2026). Consequently, the membrane damage index has been identified as a reliable metric for evaluating cell injury and assessing plant response to water stress.

Brassica plants are distinguished by their capacity to thrive in diverse ecological settings, and their cultivation is pervasive on a global scale (Šamec et al., 2017). Research has demonstrated that white cabbage's growth and yield are influenced by drought conditions, leading to its classification as a moderately drought-sensitive plant. While white cabbage has demonstrated tolerance to water stress to a certain extent, the precise resistance mechanisms are not yet fully understood (Babić et al., 2024).

In the context of drought conditions, the pivotal function of microbiota associated with plant-soil interactions in fostering plant resilience to environmental stressors has garnered heightened significance (Babić et al., 2024). This phenomenon can be interpreted as a contributing factor to the heightened significance of organic fertilization. The addition of organic matter to soil has been shown to enhance soil health and plant root distribution by increasing physical and microbial populations and functions (Ray et al., 2025). This can improve water stress management by enabling plants to utilize water and nutrients more efficiently by improving nutrient cycling.

The membrane damage index is a reliable physiological parameter that can be used to assess the response of plants to water scarcity (Parkash and Singh, 2020). The objective of this study was to determine the potential contribution of white cabbage cultivated with organic fertilizers to water scarcity planning by reducing membrane damage to obtain a high yield. This determination was made by comparing the results of the study to those obtained from mineral fertilization. The fundamental premise of this study is that membrane damage will be mitigated by water restriction, while the implementation of cow manure will reduce this deleterious effect and lead to enhanced yield.

MATERIAL AND METHODS

Experimental site and layout

The experiment was conducted in Erzurum, Türkiye, during the 2023 and 2024. The experimental area has a semi-arid climate. The soil from the experimental field exhibited medium texture and initially presented low levels of salinity, organic matter, and lime content.

The experiment was designed using a 3 × 3 factorial design, encompassing three levels of irrigation and three levels of fertilization. Each treatment was replicated thrice. A total of 27 experimental plots were

subjected to a nine-combination treatment. Madalya F1 cabbage seedlings were planted in five rows in plots.
The following fertilization treatments were applied:
The F0 treatment consisted of mineral fertilization, while the F1 and F2 treatments involved the application of cow manure, providing in 3% and 4.5% soil organic matter for the topsoil of 20 cm, respectively. In the mineral fertilizer plots, the application of nitrogen and phosphorus was executed in accordance with the recommended doses for the region, with consideration given to the initial soil nutrient levels at the commencement of the experiment (Samancıoğlu, 2016).
The irrigation treatments were described as follows:
The W100 treatment entailed full irrigation, which restored soil water depletion in the effective root zone to field capacity. The W75 and W50 treatments are represented by 75% and 50% of the full irrigation, respectively.

Management of irrigation
Irrigation was applied surface drip irrigation system. It was ensured that all plots received an equivalent amount of irrigation during the initial stage of growth. In the subsequent phase of growth, deficit irrigation treatments were implemented. The irrigation schedule was determined based on the difference between the estimated crop evapotranspiration and the precipitation. The irrigation was scheduled when the difference between the two was 45% of the available water in the effective root zone. The estimation of crop evapotranspiration (ETc) was conducted using the CROPWAT software. The estimation of ETc was determined by calculating reference evapotranspiration using the FAO Penman-Monteith method with daily climatic data, with subsequent modification to account for crop coefficients (Altun, 2024; Badaou, 2025). The W100 treatment successfully completed the depleted soil water to field capacity. The W75 and W50 treatments were equivalent to 75% and 50% of the W100 treatment irrigation amount, respectively. The quantity of water applied was calibrated based on the wetting ratio during the growing period, and the water volume was also measured with a flow meter. The soil moisture content was monitored in the surface top layer (0-30 cm) using a TDR (Time Domain Reflectometry) and in the sublayer (30-60 cm) employing gravimetric methods.

Determination of membrane damage index and yield
Prior to harvest, disc samples were collected from the leaves of three plants in each plot and stored in ionized water at room temperature for a 24-hour period. Subsequently, the electrical conductivity (EC1) values of these samples were measured. Subsequent to being maintained in a water bath at 95°C for a period of 20 minutes, the EC values (EC2) of the samples were once more measured. The membrane damage index was determined by the EC1/EC2 ratio, subsequently multiplied by 100 to yield the percentage (Hniličková et al. 2019).
At the time of harvest, the cabbage heads from each experimental plot were harvested and subsequently weighed after the removal of outdoor leaves. The marketable yield of each plot was determined by the total fresh weight of cabbage heads harvested from the plot and expressed as kilograms per plot.

Statistical Methods
The effects of irrigation level, fertilization treatment, and their interaction were evaluated using analysis of variance (ANOVA) in SPSS software. To ascertain the differences among the treatment means, the Duncan multiple comparison test was employed. Pearson's correlation analysis was implemented to ascertain the relationship between the membrane damage index and the marketable yield of cabbage.

RESULTS AND DISCUSSIONS
As indicated by the analysis of treatments for the combined 2023-2024 results, the membrane damage index exhibited a substantial response to fertilization treatment, irrigation level, and the fertilization x irrigation interaction ($P < 0.01$) (Figs. 1-3). The mean membrane damage index values of the F0, F1, and F2 treatments were 23.8%, 18.0%, and 16.7%, respectively, and decreased linearly from F0 to F2 (Fig. 1). The F1 and F2 treatments resulted in a 24.4% and 29.8% reduction in membrane damage index, respectively, in comparison to the use of mineral fertilization.

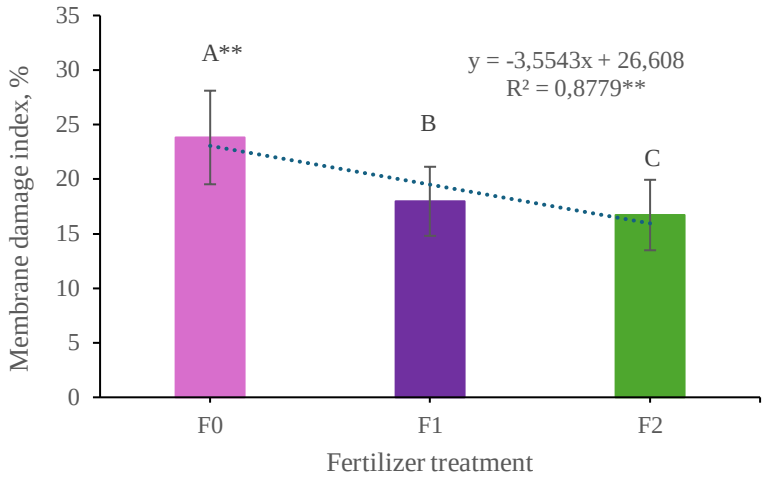


Figure 1. The effect of fertilizer treatment on the membrane damage index of white cabbage plants. ** indicates statistical significance at the 0.01 level

The membrane damage index exhibited a marked increase in conjunction with decreasing irrigation levels. The mean values for membrane damage index were 8.1% (W100), 17.8% (W75), and 32.6% (W50), and linearly increased with decreasing water deficit (Fig. 2).

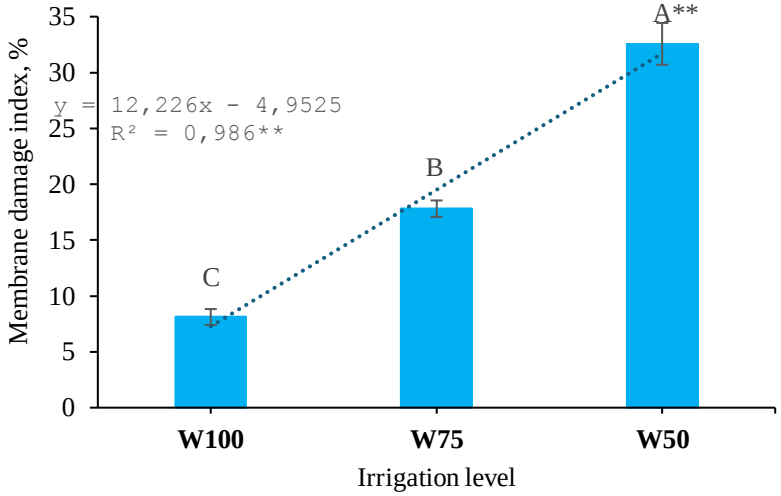


Figure 2. The effect of irrigation levels on the membrane damage index of white cabbage plants. ** indicates statistical significance at the 0.01 level

The membrane damage index exhibited an approximate 119.8% increase in W75 and a 302.5% increase in W50 compared with full irrigation. The results demonstrated that as the water deficit increased, there was a progressive damage to cell membranes. In plants, there is an occurrence of excessive production of reactive oxygen species (ROS), which are byproducts of stress responses. These ROS can function as signaling molecules indicating stress in the initial stages; however, excessive accumulation leads to oxidative damage. Research has demonstrated that oxidative damage resulting from water deficiency stress manifests promptly in Brassica plants, accompanied by elevated lipid peroxidation and membrane impairment (Mohan et al., 2025).

The observed interaction was found to be statistically significant, indicating that the extent of irrigation had a substantial impact on the effect of cow manure on membrane integrity. As illustrated in Figure 3, the membrane damage index values were 10.9%, 7.4%, and 6.1%, respectively, for F0, F1, and F2 under full irrigation. The equivalent figures under W75 were 20.6%, 17.3%, and 15.6%, respectively.

The membrane damage index was 40.0% under W50 in F0 treatment, whereas it was lower in F1 and F2 treatments at 29.3% and 28.4%, respectively. F1 and F2 exhibited a 26.8% and 29.0% reduction in membrane damage index, respectively, in comparison to mineral fertilizer under conditions of severe water deficit.

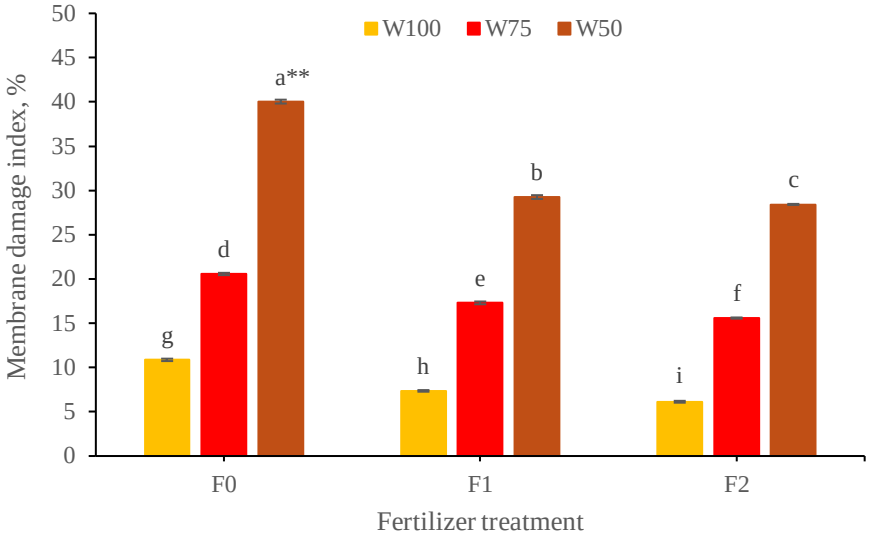


Figure 3. The effect of different irrigation levels on the membrane damage index of white cabbage plants under various fertilizer treatments. ** indicates statistical significance at the 0.01 level

The application of cow manure resulted in a reduction of membrane damage index and a linear increase in marketable yield of cabbage (Fig. 4). It has been stated that elevated membrane damage, observed in the majority of vegetables, due to water stress, can result in a substantial decline in yield (Parkash and Singh, 2020). Therefore, the findings indicate that the enhancement of soil water relations and nutrient availability in manure fertilization has led to an increase in tolerance to water stress and an enhancement in crop performance. In a similar vein, Altun (2024), Badaou (2025), and Yusuf (2025) have demonstrated that the application of organic material enhances yield by effectively managing stress.

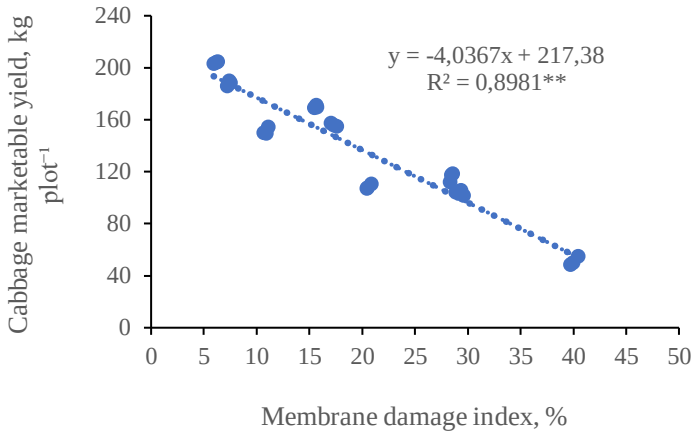


Figure 4. The relationship between the membrane damage index and the marketable yield of cabbage plants. ** indicates statistical significance at the 0.01 level

Reactive oxygen species (ROS) have been demonstrated to exert a detrimental effect on overall efficiency by instigating lipid peroxidation, membrane destabilization, and ion leakage. (Zou et al., 2021). The production of ROS is triggered by water scarcity and conditions conducive to drought, resulting in oxidative damage to plant cells (Cruz de Carvalho, 2008; Choudhury et al., 2017).

The utilization of organic materials has been proposed as a method for regulating nutrient uptake and mitigating drought stress and other abiotic stresses in various plant species. Furthermore, it has been posited that this application may possess the capacity to modify the composition of the rhizospheric microbial community. Furthermore, the presence of microbial agents containing various beneficial microorganisms has been demonstrated to support increased resistance in vegetables (Shi et al., 2021). The activation of antioxidant enzymes functions as a defensive mechanism; nevertheless, protracted stress can culminate in irreversible cellular deterioration and impaired functionality (Mohan et al., 2025). As demonstrated by Shi et al. (2021), the utilization of organic fertilizers has been shown to enhance root development and stimulate enzyme activity within soil, taking into consideration crop physiology. The augmentation of antioxidant enzyme activity in plants is pivotal in the elimination of free oxygen radicals, thereby safeguarding plant cells from oxidative stress-induced damage. it has been observed that organic fertilizers can curtail the accumulation of membrane lipid peroxidation. This reduction is widely regarded as an effective metric for evaluating the magnitude of destructive oxidative reactions. Therefore, it has been indicated that the incorporation of organic material into the cultivation practices of Chinese cabbage resulted in a substantial enhancement in the plants' stress tolerance, thereby leading to an increase in overall yield. Le et al. (2025) also demonstrate the positive effect of liquid bio-fertilizer on the antioxidant profile of Chinese cabbage, indicating a reduction in stress perception in response to environmental stressors.

CONCLUSION

The study's findings suggest that the application of cow manure can mitigate the negative impacts of water stress on cell membrane integrity. This response is likely associated with the beneficial effects of cow manure on improving soil easily available water content, increasing nutrient availability, and enhancing biological activity that can manipulate plant physiology. These factors contribute to improved plant water and nutrient uptake. These physiological and biochemical improvements could help maintain cell membrane integrity under conditions of limited water availability, thereby enhancing white cabbage tolerance to water stress.

Acknowledgment

The authors express gratitude to the Scientific Research Projects Unit at Atatürk University for financial support of this study (project no. FDK-2022-11298).

REFERENCES

Altun, M., (2024). Effects of Sewage Sludge Application on Soil Productivity Parameters and Changes in Carbon Stock in Silage Maize Cultivation Under Different Irrigation Regimes. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Babić, I., Šamec, D., Hižak, M., Hud, A., Senko, H., Šangut, I.J., Mlinarić, S., Petek, M., Palijan, G., Kolić, N.U., Petrić, I. (2024). Evaluating drought impact on white cabbage: Plant stress response and soil microbiome adaptation. Plant Stress, 14, 100683. https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100683

Badaou, A.N.A.D., (2025). The Effect of Different Irrigation Regimes on Water Productivity Soil Fertility and CO_2 Emission in Silage Maize Grown with Manuring. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Biswas, A., Sarkar, S., Das, S., Dutta, S., Choudhury, M.R., Giri, A., Bera, B., Bag, K., Mukherjee, B, Banerjee, K., Gupta, D., Paul, D. (2025). Water scarcity: A global hindrance to sustainable development and agricultural production – A critical review of the impacts and adaptation strategies. Cambridge Prisms: Water, 3, e4, 1-22. https://doi.org/10.1017/wat.2024.16

Choudhury, F.K., Rivero, R.M., Blumwald, E., Mittler, R. (2017). Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. Plant Journal, 90, 856-867. https://doi.org/10.1111/tpj.13299

Cruz de Carvalho, M.H. (2008). Drought stress and reactive oxygen species. Plant Signaling & Behavior, 3, 156-165. https://doi.org/10.4161/psb.3.3.5536

Hniličková, H., Hnilička, F., Orsák, M., Hejnák, V. (2019). Effect of salt stress on growth, electrolyte leakage, Na+ and K+ content in selected plant species. Plant, Soil and Environment, 65(2), 90-96. https://doi.org/10.17221/620/2018-PSE

Le, T. Y. L., Lee, J., Shim, S.Y., Jung, J., Kim, S.R., Hong, S.H., Lee, M.G., Hwang, S.G. (2025). Effects of liquid bio-fertilizer on plant growth, antioxidant activity, and soil bacterial community during cultivation of Chinese cabbage (Brassica rapa L. ssp. pekinensis). Microorganisms, 13(5), 1036. https://doi.org/10.3390/microorganisms13051036

Mohan, V. R., MacDonald, M. T., Abbey, L. (2025). Impact of water deficit stress on brassica crops: growth and yield, physiological and biochemical responses. Plants, 14(13), 1942. https://doi.org/10.3390/plants14131942

Obayomi, O.V., Attah, R., Sayem, S.Md.S., Mustapha, L.S., Kolade, S.O., Obayomi, K.S. (2026). Sustainable agriculture in the face of water scarcity: Opportunities, challenges, and global perspectives. Next Research, 5, 101293. https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.101293

Parkash, V., Singh, S. (2020). A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. Sustainability, 12(10), 3945. https://doi.org/10.3390/su12103945

Ray, R.L., Kularathna, K.M., Griffin, R.W., Abeysingha, N., Woldesenbet, S., Elhassan, A., Awal, R., Fares, A. (2025). Enhancing plant and soil health through organic amendments in a humid environment. Rhizosphere, 35, 101126. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2025.101126

Samancıoğlu, A. (2016). Effects of Bacteria Applications on Water Use Efficiency, Plant Growth, Yield and Quality of Cabbage Grown Under Different Irrigation Levels. Doctoral Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Šamec, D., Pavlović, I., Salopek-Sondi, B. (2017). White cabbage (Brassica oleracea var. capitata f. alba): botanical, phytochemical and pharmacological overview. Phytochemistry Reviews, 16, 117-135. https://doi.org/10.1007/s11101-016-9454-4

Shi, L., Zheng, W., Lei, T., Hui, M. (2021). The Effect of different soil amendments on soil properties and on the morphological and physiological characteristics of Chinese cabbage. Journal of Soil Science and Plant Nutrution, 21, 1500–1510. https://doi.org/10.1007/s42729-021-00456-6

Song, F., Yang, Q., Huang, J., Guo, Z., Li, Y., Deng, W. (2026). Plant drought stress: physiological, biochemical and molecular mechanisms. Plant Stress, 19, 101153, https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101153

UNESCO. (2018). The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. UNESCO World Water Assessment Programme (WWAP), Paris, p. 139.

Yusuf, G.B. (2025). Water and Soil Productivity and Soil CO2 Emissions in Curly Lettuce at Different Cattle Manure Doses and Irrigation Intervals. Master's Thesis, Atatürk University, Institute of Science, Erzurum.

Zou, Y.N., Wu, Q.S., Kuča, K. (2021). Unravelling the role of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating the oxidative burst of plants under drought stress. Plant Biology, 23 (Suppl. S1), 50–57. https://doi.org/10.1111/plb.13161

FARKLI METAL MERKEZLİ FTALOSİYANİNLERİN KARABUĞDAY (FAGOPYRUM ESCULENTUM) BİTKİSİNDE FİZYOLOJİK STRES YANITLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF PHTHALOCYANİNES WİTH DİFFERENT METAL CENTERS ON PHYSİOLOGİCAL STRESS RESPONSES İN BUCKWHEAT (FAGOPYRUM ESCULENTUM)

Lecturer Kamil ÖZTÜRK
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Center, Artvin, Turkey, ORCID: ID/0000-0003-2036-9780

Dr. Mesut NAMLI
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Center, Artvin, Turkey, ORCİD: ID/0000-0001-9929-021X,

Abstract
Phthalocyanines are macrocyclic compounds characterized by an extended conjugated π-electron system and high chemical and thermal stability. The ability to incorporate different metal ions into the central cavity of the macrocycle and to modify the peripheral positions with various functional groups imparts diverse physicochemical and biological properties to phthalocyanines. In particular, the nature of the central metal ion plays a decisive role in electron-transfer processes, redox behavior, and molecular interactions, whereas peripheral functional groups can substantially influence solubility, reactivity, and the capacity of these compounds to interact with biological systems. Owing to these characteristics, investigating the physiological effects of phthalocyanines in plant systems is important for elucidating their potential applications beyond their conventional fields of use. Plants develop a range of stress-related responses at the levels of the photosynthetic apparatus, pigment content, and cellular metabolism in response to chemical or environmental changes encountered during growth and development. In the present study, the effects of different phthalocyanine compounds containing cobalt (Co), nickel (Ni), copper (Cu), or zinc (Zn) as the central metal ion and bearing azo (-N=N-), carbonyl (C=O), hydroxyl (-OH), and methoxy (O-CH_3) functional groups within their ligand structures were evaluated in terms of physiological stress-related changes in buckwheat (*Fagopyrum esculentum*). Buckwheat was selected as a suitable plant model for this type of investigation because of its short growth cycle, rapid biomass accumulation, pronounced physiological responses to diverse environmental conditions, and agricultural and nutritional importance. Moreover, the ability to monitor developmental changes over a relatively short period facilitates the comparative assessment of plant responses to different chemical treatments. SPAD values, proline levels, and chlorophyll fluorescence were used as key indicators to characterize plant responses to phthalocyanine treatments. SPAD values provide an indirect measure of changes in leaf pigment status, whereas proline accumulation serves as an indicator of cellular stress and osmotic adjustment. Chlorophyll fluorescence, in turn, enables the assessment of the functional status of photosystem II and alterations in photosynthetic performance. By evaluating these parameters collectively, this study aimed to elucidate the effects of phthalocyanines with different metal centers and functionalized ligand structures on the stress physiology of buckwheat and to obtain preliminary insights into the relationship between molecular structure and biological response.
Keywords: Phthalocyanine, Azo Dye, *Fagopyrum esculentum*, Physiological Stress, Chlorophyll Fluorescence, Proline

Özet
Ftalosiyaninler, geniş konjuge π-elektron sistemine sahip, yüksek kimyasal ve termal kararlılık gösteren makrosiklik bileşiklerdir. Molekülün merkez boşluğuna farklı metal iyonlarının yerleştirilebilmesi ve periferal konumlarının çeşitli fonksiyonel gruplarla modifiye edilebilmesi, ftalosiyaninlere farklı fizikokimyasal ve biyolojik özellikler kazandırmaktadır. Özellikle merkez metalinin türü; elektron transferi, redoks davranışı ve moleküler etkileşimler üzerinde belirleyici olurken, çevresel fonksiyonel gruplar çözünürlük, reaktivite ve biyolojik sistemlerle etkileşim kapasitesini değiştirebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle ftalosiyaninlerin bitkisel sistemlerde oluşturabileceği fizyolojik yanıtların

araştırılması, bu bileşiklerin klasik kullanım alanlarının ötesindeki potansiyellerinin anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Bitkiler, büyüme ve gelişme süreçlerinde maruz kaldıkları kimyasal veya çevresel değişikliklere karşı fotosentetik sistem, pigment içeriği ve hücresel metabolizma düzeyinde çeşitli stres yanıtları geliştirmektedir. Bu çalışmada, merkez atomu olarak kobalt (Co), nikel (Ni), bakır (Cu) ve çinko (Zn) içeren; ligand yapılarında azo (-N=N-) grubu ile karbonil (C=O), hidroksil (-OH) ve metoksi (O-CH_3) fonksiyonel grupları bulunan farklı ftalosiyanin bileşiklerinin karabuğday (*Fagopyrum esculentum*) bitkisindeki fizyolojik stres yanıtları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Karabuğday; kısa gelişme süresi, hızlı biyokütle oluşturabilmesi, farklı çevresel koşullara karşı belirgin fizyolojik yanıtlar gösterebilmesi ve tarımsal-besinsel önem taşıması nedeniyle bu tür çalışmalar için uygun bir bitkisel model olarak tercih edilmiştir. Ayrıca gelişim sürecindeki değişimlerin nispeten kısa sürede izlenebilmesi, farklı kimyasal uygulamaların bitki üzerindeki etkilerinin karşılaştırılmasını kolaylaştırmaktadır. Ftalosiyanin uygulamalarına karşı oluşan bitkisel yanıtların belirlenmesinde SPAD değeri, prolin düzeyi ve klorofil floresansı temel göstergeler olarak ele alınmıştır. SPAD değeri yaprak pigment durumundaki değişimleri yansıtırken, prolin birikimi hücresel stres ve ozmotik uyum süreçlerine ilişkin bilgi sağlamaktadır. Klorofil floresansı ise fotosistem II'nin işlevsel durumu ve fotosentetik performanstaki değişimlerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Bu parametrelerin birlikte incelenmesiyle, farklı metal merkezleri ve fonksiyonel ligand yapıları taşıyan ftalosiyaninlerin karabuğdayın stres fizyolojisi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması ve yapı-biyolojik yanıt ilişkisine yönelik ön bilgiler elde edilmesi amaçlanmıştır.
Anahtar kelimeler: Ftalosiyanin, Azo Boya, *Fagopyrum esculentum*, Fizyolojik Stres, Klorofil Floresansı, Prolin

INTRODUCTION

Phthalocyanines are planar aromatic macrocyclic compounds characterized by an 18 π-electron conjugated system and a 16-membered ring framework composed of eight nitrogen and eight carbon atoms. The phthalocyanine macrocycle is formed through the condensation of four iminoisoindoline units and is also commonly described in the literature as a tetrabenzotetraazaporphyrin derivative. Depending on whether a metal ion is coordinated within the central cavity of the macrocyclic core, phthalocyanines are generally classified into two main categories: metallophthalocyanines and metal-free phthalocyanines (McKeown, 1998; Kadish et al., 2003) (Figure 1).

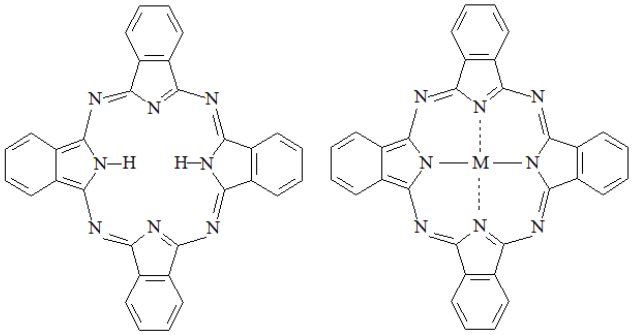


Figure 1. General structures of hydrogen and metal phthalocyanines (H: hydrogen; M: metal)

Since their accidental discovery, phthalocyanine compounds have attracted considerable scientific interest from the early twentieth century onward, particularly in medicine, pharmaceutical sciences, and fundamental research, and have become one of the most extensively investigated classes of organic compounds. Their intense blue-green coloration, remarkable chemical stability, and high resistance to photodegradation have contributed significantly to their commercial importance. In addition, the ability of the macrocyclic cavity to coordinate nearly 70 different metal ions, together with the possibility of modifying substituents at peripheral or non-peripheral positions, enables the physicochemical properties of phthalocyanines to be tailored for specific applications. This pronounced structural tunability represents one of the major advantages of phthalocyanines and underlies their broad utility across a wide range of technological and scientific fields (Tanaka, 2009).

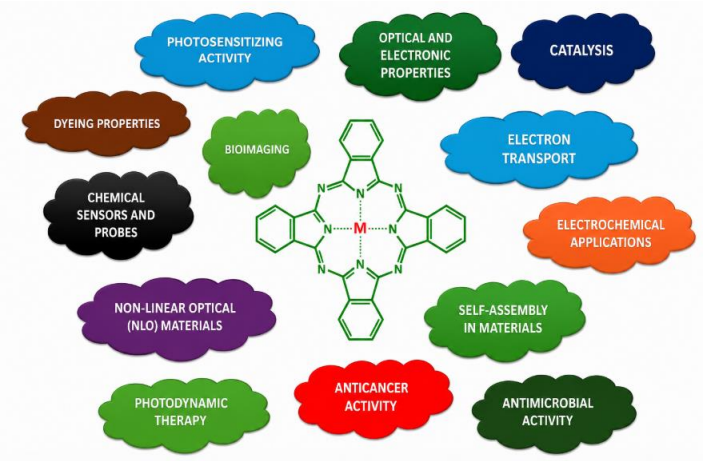


Figure 2. Application areas of phthalocyanines.

Stress in plants refers to internally or externally derived factors that adversely affect physiological and biochemical processes, ultimately resulting in reductions in growth, development, and productivity (Taiz et al., 2015). These stress factors are broadly classified into two major categories: biotic and abiotic stresses (Figure 3). Biotic stress arises from living organisms such as microorganisms, pathogens, weeds, and insects, whereas abiotic stress is associated with unfavorable environmental conditions, including temperature fluctuations, drought, salinity, and oxygen deficiency (Umar et al., 2022). Therefore, identifying the effects of stress and developing effective strategies to mitigate them are essential for maintaining plant health and ensuring sustainable agricultural productivity.

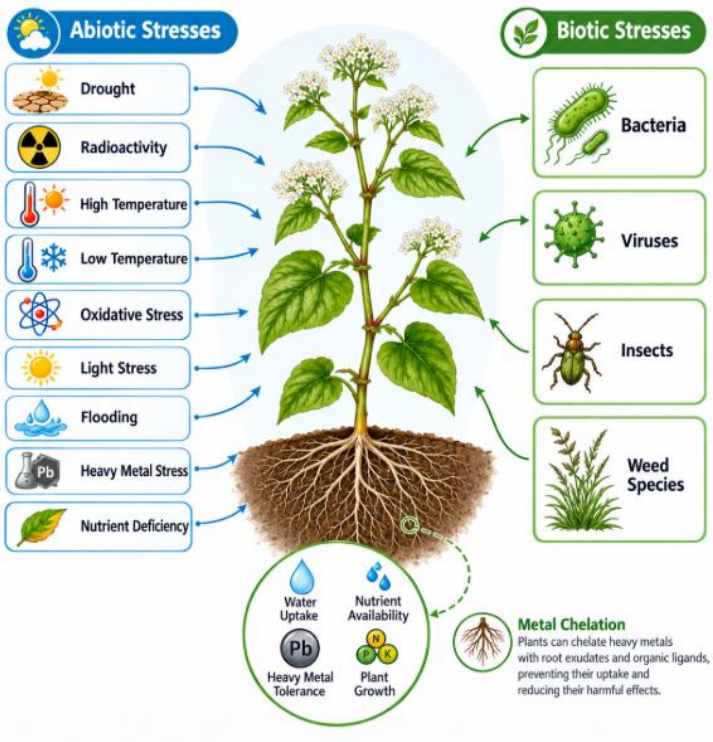


Figure 3. Stress factors affecting plants.

Abiotic stress arises when unfavorable environmental conditions adversely affect plant growth, development, and survival. Anthropogenic activities, including industrialization, urbanization, fossil fuel consumption, mining, wastewater discharge, and the excessive use of fertilizers and pesticides, have contributed substantially to the accumulation of heavy metals in soil, water, and air, thereby posing

serious risks to plant health and ecosystem stability (Zhou et al., 2023). Although elements such as iron, zinc, and copper are essential for normal plant metabolism, their excessive accumulation, together with that of toxic metals such as cadmium, lead, and mercury, can disrupt fundamental physiological processes, including water and nutrient uptake, photosynthesis, and respiration (Küpper and Andresen, 2016). Metal toxicity may also promote the excessive generation of reactive oxygen species (ROS), resulting in membrane deterioration, DNA damage, oxidative stress, and ultimately cell death. Plants counteract these detrimental effects by activating antioxidant defense mechanisms; however, the effectiveness of these protective responses largely depends on the type and concentration of the metal as well as the duration of exposure (Tang et al., 2022). Medicinal and aromatic plants have been utilized for centuries in healthcare and cosmetic applications owing to their naturally occurring constituents and diverse biological activities. Rich in a wide range of bioactive compounds, these plants are extensively used in the pharmaceutical, cosmetic, food, and perfumery industries because of their potential benefits to human health (Bakkali et al., 2008). Medicinal and aromatic species contain numerous secondary metabolites, including essential oils, alkaloids, tannins, flavonoids, and glycosides. These phytochemicals may contribute to antioxidant, anti-inflammatory, and antimicrobial activities and thereby support various beneficial health effects. While essential oils are commonly employed in aromatherapy, several medicinal and aromatic plants are also consumed as dietary supplements or used as culinary spices. In addition to their economic and therapeutic importance, these plants contribute to ecosystem stability and biodiversity by supporting pollination processes (Acıbuca and Bostan Budak, 2018). Türkiye exports medicinal and aromatic plants to approximately 100 countries and ranks 18th in the global market, accounting for nearly 5% of international trade. Thyme, bay leaves, cumin, anise, fennel, rosemary, mint, sumac, sage, and linden are among the country's major export products. Despite its favorable climatic conditions and remarkable plant diversity, Türkiye has not yet fully exploited its existing potential in this sector. Nevertheless, growing interest in medicinal and aromatic plants has accelerated efforts toward their domestication, cultivation, and large-scale agricultural production (Özgüven et al., 2005).

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*), recognized as a medicinally important plant, is an annual herbaceous species belonging to the Polygonaceae family. Although it is not taxonomically related to true cereals, it is classified as a pseudocereal because of its cereal-like utilization and nutritional characteristics. The most widely cultivated species are Fagopyrum esculentum and *Fagopyrum tartaricum*, both of which are grown in various regions worldwide, particularly across Asia (Dizlek et al., 2009; Peng et al., 2012). Owing to its strong ecological adaptability, buckwheat can successfully develop under diverse environmental conditions and is utilized for food production, the preparation of various traditional dishes, and animal nutrition (Guo et al., 2007). Its high nutritional value is associated with its rich content of proteins, dietary fiber, vitamins, minerals, polyunsaturated fatty acids, and antioxidant compounds such as rutin and quercetin. These nutritional and bioactive properties make buckwheat a promising raw material for the development of functional food products (Fessas et al., 2008).

A review of the available literature indicates that, although numerous studies have investigated the biological and technological applications of phthalocyanine compounds, no study has, to the best of our knowledge, specifically examined the application of phthalocyanines to buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) or evaluated the associated physiological stress responses in this plant species. Accordingly, the present study was designed as a preliminary investigation to assess the potential stress-related effects of phthalocyanine compounds on buckwheat. For this purpose, a series of phthalocyanine derivatives containing cobalt (Co), nickel (Ni), copper (Cu), or zinc (Zn) as central metal ions and bearing azo moieties with different substituent groups were investigated. Physiological alterations induced by phthalocyanine treatments were evaluated using the SPAD index, proline content, and chlorophyll fluorescence parameters. The study aimed to determine and comparatively assess how these structurally distinct phthalocyanine compounds influence plant stress responses in buckwheat.

MATERIALS AND METHODS

Materials

The phthalocyanine compound used as the stress-inducing agent in this study was synthesized according to a previously reported procedure (Figure 4), and the obtained spectroscopic characterization data were found to be consistent with those reported in the literature (Namlı et al., 2025). Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) plants used in the stress experiments (Figure 5) were grown from seeds commercially obtained from certified seed suppliers. All experimental procedures were carried out at the Medicinal and Aromatic Plants Application and Research Centre (TABMER) of Artvin Coruh University.

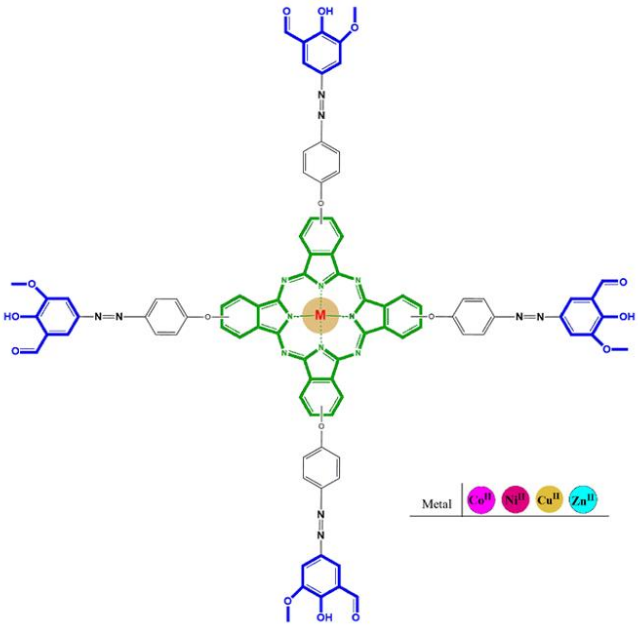


Figure 4. General structures of the phthalocyanine compounds used in the experimental studies.

Figure 5. Buckwheat plant (Fagopyrum esculentum)

Methods

Plant material and experimental design

Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) seeds were sown in a vermiculite-containing growing medium and grown under controlled conditions. Plants were grown under a 16-hour light/8-hour dark photoperiod, 400 µmol m^{-2} s^{-1} light intensity, 65% relative humidity, and 40% fan conditions. The temperature in the growing chamber was set at 25/21 °C during the day and night, respectively.

Hoagland nutrient solution was used to feed the plants. Until the three-leaf stage, 2.5 mL of Hoagland nutrient solution was applied per 10 L of water, and after the three-leaf stage, 7 mL per 10 L of water was applied to maintain plant growth. When the plants reached a sufficient growth level at 21 days old, phthalocyanine applications were carried out. Different metal-centered phthalocyanine compounds soluble in DMSO were prepared at concentrations of 50 and 200 µM and applied to the root zone of the plants. Two concentrations were chosen considering the comparison of concentration-dependent responses and the limited amount of compound available. To differentiate the potential effect of the solvent, a control group was treated with phthalocyanine-free DMSO. Physiological measurements were performed on the plants 24 hours after phthalocyanine application. To evaluate the stress responses induced by the applications, the SPAD index, proline content, and chlorophyll fluorescence parameters were determined, and the effects of different metal centers and application concentrations were compared with the control group.

Determination of chlorophyll index (SPAD)

Leaf chlorophyll index (SPAD) was measured using a portable SPAD meter (SPAD-502 Plus; Konica Minolta, Tokyo, Japan). Measurements were taken on fully expanded leaves located at the third to fourth node from the apex, with three readings averaged per leaf. One leaf per plant was measured, and 10 plants per treatment were sampled.

Determination of chlorophyll fluorescence

Chlorophyll a fluorescence parameters, maximum quantum yield of photosystem II (Fv/Fm) and Fv/Fo, were measured using a portable fluorometer (OS5+; Opti-Sciences, Hudson, NH, USA) on the uppermost fully expanded third leaf of five plants per treatment. Leaves were dark-adapted for 20 min using leaf clips, after which minimum fluorescence (Fo) was recorded under a weak modulated measuring light. A saturating light pulse (~3000 µmol m^{-2} s^{-1}, 0.8 s) was then applied to determine maximum fluorescence (Fm). Variable fluorescence (Fv = Fm − Fo), Fv/Fm, and Fv/Fo were calculated from these values.

Determination of endogenous proline

To determine proline content, fresh leaf samples (0.1 g) were homogenized in 1.8 mL of 40% ethanol (Merck, Germany) and incubated overnight at 4°C. The homogenate was centrifuged at 15,000 rpm for 15 min at 4°C using a high-speed refrigerated centrifuge (Hermle Z 36 HK; Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Germany). Subsequently, 1 mL of the supernatant was collected and mixed with ninhydrin reagent to a final volume of 2 mL (1 g ninhydrin dissolved in a 3:1, v/v acetic acid:ethanol mixture; Sigma-Aldrich, USA). The reaction mixture was incubated at 95°C for 20 min using an Eppendorf ThermoMixer® C equipped with a 1.5 mL SmartBlock (Eppendorf SE, Hamburg, Germany). Absorbance was measured at 520 nm using a Cary 3500 Multicell UV-Visible spectrophotometer (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA). Proline concentrations were calculated using a standard curve prepared with L-proline (Bates et al. 1973).

Statistical analysis

All data are presented as mean ± standard error (SE). Differences among groups were evaluated by one-way analysis of variance (one-way ANOVA), and Duncan's multiple range test was applied to determine significant differences. The level of statistical significance was accepted as $p < 0.05$.

CONCLUSION AND DISCUSSION

- **Chlorophyll Index (SPAD)**

In this study, it was determined that the physiological effects of Co, Ni, Cu, and Zn-centered phthalocyanine compounds on buckwheat plants varied depending on both the concentration and the type of center metal. SPAD values increased especially in 200 µM applications, and the highest value was detected in the Ni-200 µM group. However, the observation of significant phytotoxicity and mortality in these groups despite high SPAD values indicates that the increase in SPAD should not be directly interpreted as an increase in photosynthetic performance.

Due to the strong light absorption properties of the phthalocyanines and azo groups used, it should also be considered that optical measurements may have been affected at high concentrations.

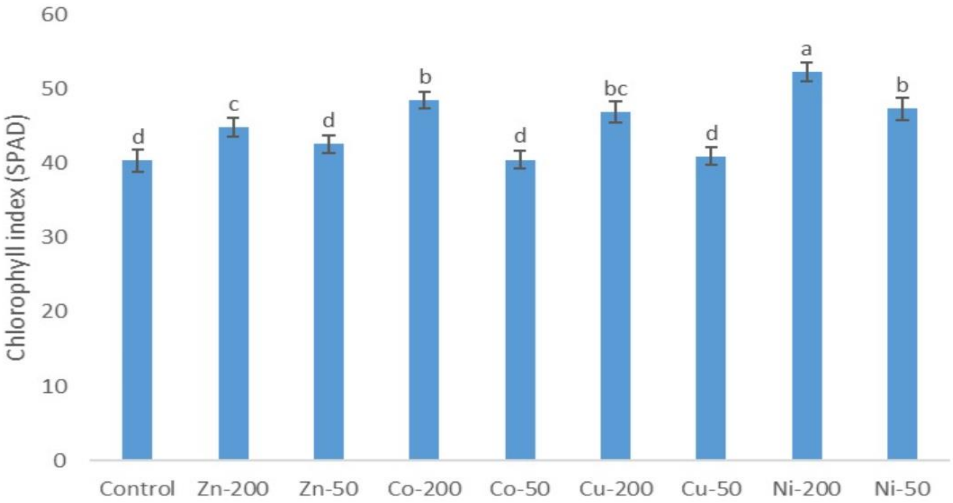


Figure 6. Chlorophyll index (SPAD) results

- **Proline Content**

Proline content generally increased with phthalocyanine applications, and this increase was particularly pronounced at the 200 µM concentration. The highest proline accumulation observed in the Cu-200 µM group suggests that the stress response may differ depending on the center metal. Considering that proline plays a role in cellular protection and osmotic regulation under stress conditions, this increase indicates that phthalocyanines induce a strong biochemical stress response in buckwheat. However, the observation of plant mortality despite high proline levels in the 200 µM groups suggests that the stress intensity at high concentrations may have exceeded the plant's tolerance capacity.

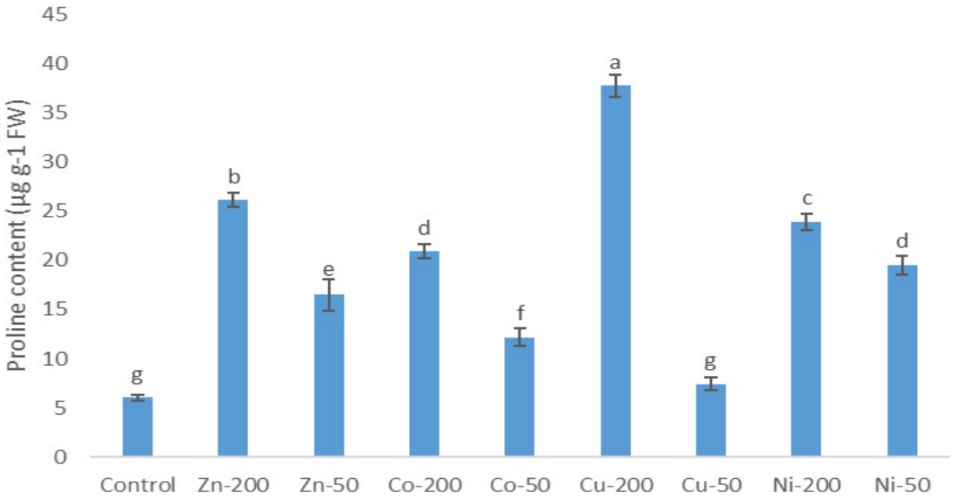


Figure 7. Proline content results

- **Chlorophyll Fluorescence**

Chlorophyll fluorescence results supported this assessment. While Fv/Fm values were largely preserved in 50 µM Zn, Co, and Cu applications, a more pronounced decrease was observed in the Ni-50 µM application; Fv/Fo results showed a similar trend. In contrast, the fact that Fv/Fm and Fv/Fo values approached zero in the 200 µM applications and high mortality was observed in the plants indicates that PSII function is severely suppressed at this concentration and a strong phytotoxic effect occurs. These findings suggest that the potential herbicidal effects of phthalocyanines at high concentrations could be investigated further through larger dose-response studies using different plant species.

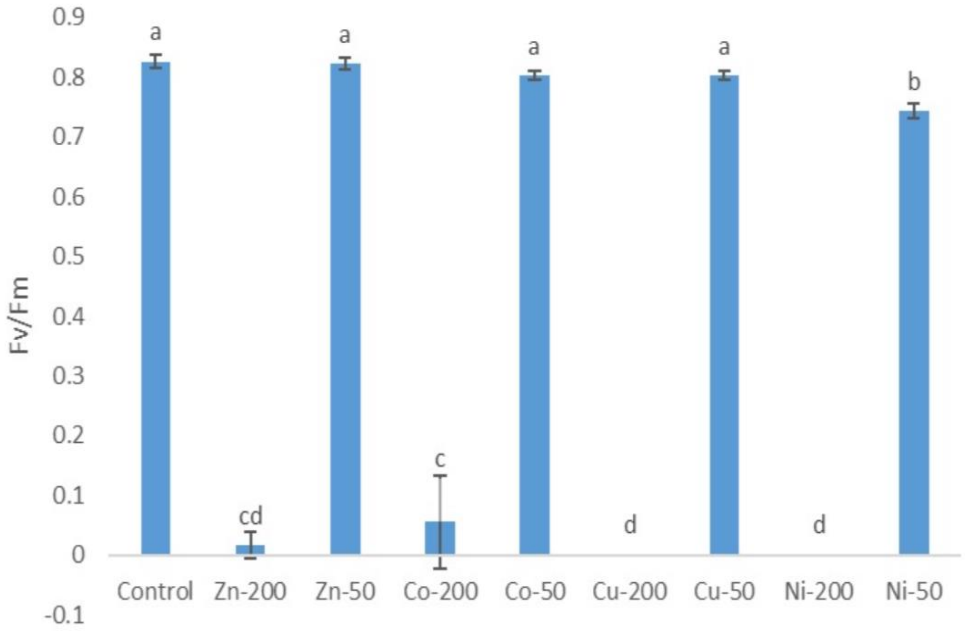


Figure 8. Fv/Fm results

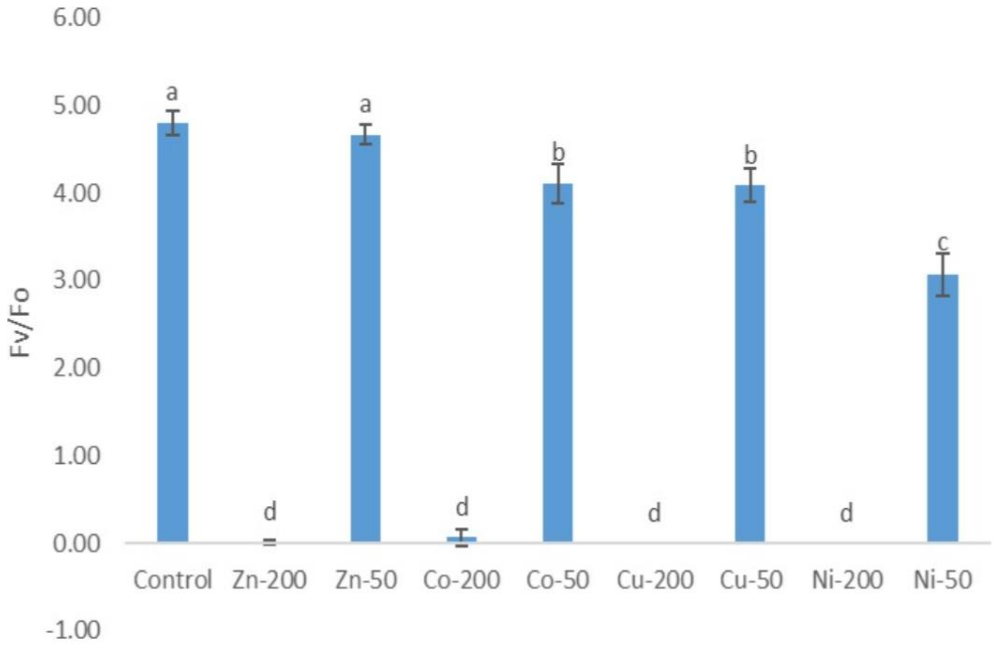


Figure 9. Fv/Fo results

REFERENCES

Acıbuca, V., Bostan Budak, D. (2018). Dünya'da ve Türkiye'de Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Yeri ve Önemi Çukurova Tarım Gıda Bil. Der. 33(1), 37-44.

Bakkalı, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M., (2008). Biological Effects of Essential Oils-A Review. Food and Chemical Toxicology, 46, 446-475.

Dizlek, H., M. Özer, E. İnanç ve H. Gül. (2009). Karabuğday'ın bileşimi ve gıda sanayiinde kullanım olanakları. Gıda. 34, 337-324.

Fessas D, Signorelli M, Pagani A, Mariotti M, Iametti S, Schiraldi A. (2008). Guidelines for buckwheat enriched bread. J Therm Anal Calorim. 91(1), 9-16.

Guo, Y., Chen, F., Yang, L. Y., Huang, Y. (2007). Analyses of Theseed Protein Contents on the Cultivated and Wild Buckwheat Fagopyrum esculentum Resources. Genet. Resour. Crop. Evol. 54, 1465-1472.

Kadish, K. M., Smith, K. M., ve Guilard, R. (Ed.). (2003). The porphyrin handbook: Phthalocyanines: Properties and applications (Cilt 15). Academic Press.

Küpper, H., & Andresen, E. (2016). Mechanisms of metal toxicity in plants. Metallomics, 8(11), 1090–1104.

McKeown, N. B. (1998). Phthalocyanine materials: Synthesis, structure and function. Cambridge University Press

Namlı, M., Işık, U., Kantar, C., Şaşmaz, S., & Aydemir, M. (2025). Novel azo-substituted metallophthalocyanines (M: Co, Ni, Cu, Zn) bearing hydroxy, carbonyl, and methoxy groups: Synthesis and evaluation as pre-catalysts for the transfer hydrogenation of aldehydes and ketones. Journal of Molecular Structure, 144939.

Özgüven, M., S. Sekin, B. Gürbüz, N. Şekeroğlu, F. Ayanoğlu, S. Ekren, (2005). Tütün, Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Üretimi ve Ticareti. Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, Ankara, Türkiye

Peng, L., S. Wang, L.Zou, J. Zhao ve G. Zhao. (2012). HPLC fingerprint of buckwheat from different habitats and varieties. Phcog Journal, 31, 5-10.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). Plant physiology and development (6th ed.). Sinauer Associates.

Tanaka, M. (2009). Phthalocyanines–high performance pigments and their applications. High performance pigments, 275-291.

Tang, X., Luo, Q., Zheng, J., & Liu, J. (2022). Molecular mechanisms underlying the toxicity and detoxification of trace metals and metalloids in plants. Journal of Integrative Plant Biology, 64(3), 534–551.

Umar, O. B., Ranti, L. A., Abdulbaki, A. S., Bola, A. L., Abdulhamid, A. K., Biola, M. R., & Victor, K. O. (2022). Stresses in plants: Biotic and abiotic. Current trends in wheat research.

Zhou, J., Dang, Z., Qiu, Y., Hou, L., & Wu, Y. (2023). Heavy metal contamination in agricultural soil: Effects on crop health and management strategies. Agronomy, 13(6), 1521.

ASSESSMENT OF THE PROBLEM AND PROSPECTS OF SMALL AND MEDIUM SCALE ENTERPRISES (SMES) IN NIGERIA: A STUDY OF SOME SELECTED SMES IN KADUNA METROPOLIS, KADUNA STATE

Mulikat Folashade USMAN
Department of Business Administration, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-7710-3533

Jameelah USMAN
Department of Business Administration, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria.

ABSTRACT
The study aims at assessing the problems and prospect of small and medium enterprises (SMEs) in Nigeria. The objectives of the study are to identify and assess the key factors responsible for the relatively low performance and failure of the SMEs survival, investigate the reasons why programme designed by government to boost manufacturing small and medium scale enterprises. Performance do not effectively achief its role: make appropriate recommendation towards alleviating the problems facing small and medium scale enterprises: identify ways and means , which will establish and sustain the vibrancy for Nigeria small and medium scale enterprises. Primary sources of data collection was used,where questionnaire was distributed to respondent which was used to test the hypothesis of the study using multiple regression. The study revealed that finance has a positive significant relationship on the performance of small and medium scale enterprises in Kaduna State. It is recommended that the government through the central bank of Nigeria should establish the much awaited National Credit Guarantee Scheme for small and medium scale enterprises, which should guarantee at least 80 percent of loans needed by small and medium enterprises in Nigeria
Keywords: Assessment, Enterprises, Medium, Small,Scale, Problem, Prospects, Nigeria.

BEYOND ENVIRONMENTAL CONCERN: WHAT DRIVES SUSTAINABLE FASHION CONSUMPTION AMONG GENERATION Z?

Muhammad IMRAN
Department of Economics and Business Management, University of Veterinary and Animal Sciences, Lahore, Pakistan.

ABSTRACT
The fashion industry generates more than 92 million tons of waste annually and remains a major contributor to global carbon emissions, posing a substantial challenge to Sustainable Development Goal 12. The rapid expansion of fast fashion has further complicated efforts to encourage sustainable consumption. Although consumers are increasingly aware of the environmental consequences of fashion, their purchasing decisions often remain inconsistent with their sustainability values, creating a persistent attitude–behavior gap. This issue is particularly important among Generation Z, who are highly engaged with fashion and social media. This study extends the Theory of Planned Behavior (TPB) by examining the influence of self-transcendence values, fashion leadership, facilitating conditions, social media influence, and subjective norms on sustainable fashion consumption intentions among Gen Z consumers in Lahore, Pakistan. Data were collected from 400 participants through an online survey, personal interviews, and a structured questionnaire and analyzed using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM). The measurement model was assessed for reliability and validity before estimating the structural relationships. The findings show that self-transcendence, fashion leadership, subjective norms, and facilitating conditions significantly and positively influenced attitudes ($\beta \geq 0.16$, $p = 0.001$). Facilitating conditions also demonstrated a significant positive effect on perceived behavioral control ($\beta = 0.357$, $p = 0.001$). Social media had a small but significant negative influence on subjective norms ($\beta = -0.02$, $p = 0.02$). However, environmental concern was not significantly associated with attitudes, and social media did not have a significant direct effect on attitudes. The model explained 31% of the variance in attitudes. Overall, the findings support the applicability of the TPB for understanding sustainable fashion consumption among Gen Z. The results further suggest that personal values, fashion-related orientations, social expectations, and enabling conditions may play a more influential role in shaping sustainable fashion attitudes than environmental concern alone.
Keywords: Sustainable fashion consumption; Generation Z; Theory of Planned Behavior; Social media influence; Sustainable consumer behavior.

INTERNAL MARKETING, CUSTOMER ORIENTATION, AND MARKETING PERFORMANCE: A STUDY AT BAMBOO HANDICRAFT

Assoc. Prof. Dr. Depy Muhamad PAUZY
Management Study Program, Faculty of Economics and Business, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Tasikmalaya, Indonesia.
ORCID ID: 0000-0002-5310-8520

Assoc. Prof. Dr. Ristina Siti SUNDARI
Agribusiness Study Program, Faculty of Economics and Business, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Tasikmalaya, Indonesia.
ORCID ID: 0000-0002-3770-3346

Hary FIRMANSYAH
Management Study Program, Faculty of Economics and Business, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Tasikmalaya, Indonesia.
ORCID ID: 0009-0005-7181-9536

Abstract
The creative economy is a key pillar of Indonesia's economy, as it plays a major role in absorbing the workforce and increasing public income. This study aims to analyze the effect of internal marketing on marketing performance, with customer orientation as a mediating variable, among handicraft business actors in Rajapolah, Tasikmalaya. Data were collected through questionnaires distributed to 30 handicraft entrepreneurs. The analysis employed validity and reliability testing, classical assumption testing, path analysis, and the Sobel test. The results indicate that all indicators are valid and reliable, with Cronbach's Alpha values greater than 0.96. The data are normally distributed ($p > 0.10$), with no heteroscedasticity or autocorrelation detected, although high multicollinearity was observed between variables X and Z. Path analysis reveals that internal marketing has a significant positive effect on customer orientation ($\beta = 1.1337$; $p < 0.001$) and marketing performance ($\beta = 0.4427$; $p < 0.001$). Customer orientation also positively affects marketing performance ($\beta = 0.5304$; $p < 0.001$). The Sobel test ($z = 5.3446$; $p < 0.001$) confirms that customer orientation partially mediates the effect of internal marketing on marketing performance.
Keywords: internal marketing; customer orientation; marketing performance; handicraft; creative business.

MAULUD CELEBRATIONS AS URBAN RELIGIOUS EVENTS IN NIGERIA: CULTURAL DYNAMICS, SIGNIFICANCE, LOGISTICS MANAGEMENT AND CHALLENGES

Murtala Mohammed ALAMAI
Department of Tourism Management Technology, School of Science and Technology, Federal Polytechnic Bauchi, Bauchi, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-0185-2251

Fatima ABDULAZEEZ
Department of Tourism Management Technology, School of Science and Technology, Federal Polytechnic Bauchi, Bauchi, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0003-4394-3025

Abstract
Maulud (Mawlid) celebrations, commemorating the birth of Prophet Muhammad, are among the largest annual urban religious gatherings in northern Nigeria, attracting hundreds of thousands of participants in cities such as Kano and Bauchi. These events embody religious devotion, cultural identity and social solidarity, while also functioning as platforms for civic engagement and mass mobilization. However, their magnitude poses significant challenges for urban event management, particularly in relation to crowd control, public safety, stakeholder coordination and infrastructural capacity. The study examines the organizational structures, planning processes and logistical arrangements underpinning Maulud celebrations in Kano and Bauchi during 2024. Using a qualitative multiple case study approach, data were gathered through participant observation, key informant interviews and document analysis. The analysis focused on crowd management strategies, stakeholder coordination, spatial dynamics and governance mechanisms. Findings reveal that while Maulud celebrations reinforce social cohesion, foster urban identity and legitimize religious leadership, they simultaneously expose systemic weaknesses in emergency preparedness, regulatory oversight and infrastructural adequacy. Inadequate stakeholder collaboration and limited institutional frameworks further exacerbate risks such as congestion, health hazards and security vulnerabilities. The study concludes that the effective management of large-scale religious events in Nigeria requires comprehensive crowd-management guidelines, inclusive stakeholder planning and strategic investment in urban infrastructure tailored to mass gatherings. Addressing these gaps will ensure that Maulud celebrations, and similar events, become safer, more sustainable and socially inclusive, thereby strengthening both urban governance and community well-being.
Keywords: Maulud Celebrations, Urban Religious Events, Crowd management, Stakeholder Coordination, Urban Infrastructure, Social Cohesion

INTRODUCTION

The word *Mawlud* in Arabic means "birth" or "birthday." In Islamic tradition, it specifically refers to the celebration of the Prophet Muhammad's birthday Mawlud (also spelled *Mawlid* or *Maulid*), observed annually on the 12th day of Rabiʿ al-Awwal in the Islamic lunar calendar. The term derives from the Arabic *mawlid*, meaning "birth." While not observed during the earliest generations of Islam, the celebration gained prominence from the 12th century onwards, particularly under the influence of Sufi traditions, and has since evolved into both a religious and cultural festival in many Muslim societies (Knappert, 1990; Katz, 2007). The observance typically includes Qur'anic recitations, praise poetry, sermons and communal gatherings that emphasize the Prophet's exemplary life and teachings (*Seerah*). Although widely practiced across Africa, the Middle East and South Asia, the Mawlud remains contested, with some Islamic scholars arguing that it constitutes an innovation (*bidʿah*), while others view it as a legitimate means of expressing devotion and reinforcing communal identity (Schimmel, 1985).

In Nigeria, Maulud events and celebrations also holds deep spiritual and cultural meaning amongst Muslim communities, commemorating the birth of Prophet Muhammad peace be upon him (PBUH), and defining features of urban religious life in Nigeria's northern cities such as Kano, Bauchi, Kaduna,

and Maiduguri. These events blend religious devotion, civic expression and cultural symbolism, often drawing hundreds of thousands of participants. They typically include mosque-based lectures, Qur'anic recitations, to city-wide processions and charitable distributions of food and clothing, transforming ordinary city spaces into vibrant religious arenas. The prominence of Maulud in Nigeria illustrates how religion continues to shape public life, urban space, and collective identity in contemporary African societies (Garbin, 2012; Kong, 2010).

Nigeria is home to one of the largest Muslim populations in Africa, estimated at over 100 million, concentrated primarily in the northern regions (Pew Research Center, 2017). In this context, Maulud celebrations have evolved into annual mass gatherings that are both devotional and civic in character. The events often extend beyond mosques into city centers, stadiums and open squares, engaging a wide spectrum of participants including Sufi orders, such as the Tijjaniyya and Qadiriyya, municipal governments, security agencies, and informal community groups (Daily Post, 2025).

These celebrations demonstrate the dual nature of religion in African cities: as a source of spiritual renewal and as a medium for urban expression and mobilization (Krause & Van Dijk, 2016). While they embody communal solidarity and religious devotion, their scale introduces serious challenges in terms of crowd control, public safety, sanitation and infrastructural stress. In cities such as Kano, attendance at Maulud events can rival that of major political rallies, yet crowd management systems remain rudimentary (Kusanu, 2024).

Beyond logistics, Maulud holds profound cultural and theological significance. For Sufi communities, the celebration is an expression of love for the Prophet (PBUH), conveyed through poetry, drumming and oral recitations (Garbin, 2012). The events often feature public sermons highlighting ethical values, peace and moral discipline, thereby functioning as tools of religious education and community formation (Trimingham, 1990). For many participants, attending Maulud enhances spiritual identity and strengthens ties to the broader Muslim ummah.

However, Maulud is not without controversy. Salafi-oriented groups often criticize the celebration as bid'ah (innovation), arguing that it has no precedent in early Islamic tradition. These theological contestations sometimes spill into public disputes, creating intra-faith tensions that add further complexity to urban management of such events yet, it attracs diverse audiences and involves coordination among religious authorities, municipal governments and security agencies. Meanwhile, the scale of participation and associated disruptions pose significant urban management challenges related to security, crowd control, infrastructure strain, urban governance and cultural diversity.

Nigeria has experienced multiple tragedies during mass gatherings including stampedes at religious events, charity distributions and political rallies, underscoring deficiencies in crowd management and emergency preparedness (Akande, 2018; Vanguard, 2025). Weak institutional frameworks mean that much of the burden falls on local security agencies, who often adopt reactive rather than preventive strategies (Leadership, 2024). Furthermore, urban infrastructure compounds the problem more. Roads are often blocked by processions, sanitation systems become overwhelmed and public spaces lack proper design for mass gatherings. Women and youth, although active participants, are frequently underrepresented in planning and decision-making, limiting inclusivity and weakening governance (Jauro & Abubakar, 2019).

Statement of Problem

Despite the significance of Maulud, scholarly attention to its urban governance dimensions in Nigeria remains limited. Existing literature often focuses on its theological debates (Trimingham, 1990), symbolic dimensions (Garbin, 2012), or cultural roles in community identity (Picard & Robinson, 2016). Far less has been written about the organizational structures, planning processes and logistical arrangements underpinning these mass gatherings in contemporary Nigerian cities.

This gap is critical given Nigeria's vulnerability to crowd disasters and the increasing securitization of religious events due to extremist threats. For instance, reports of attempted IED attacks during processions in Kano have heightened anxieties about security preparedness (Daily Post, 2025). Furthermore, governance authorities remain caught between respecting religious freedoms and ensuring public safety, a tension reflective of broader debates about religion in African urban governance (Kong, 2010).

Objectives of the Study

i. Identify challenges in urban event management, including crowd control, security and public infrastructure use.
ii. Examine the organizational structure and logistical planning of Maulud events in urban Nigerian contexts.
iii. Propose actionable recommendations for safer, more inclusive urban religious event management.

Significance of the Study

By analyzing Maulud as both a religious and urban phenomenon, the study contributes to scholarship at the intersection of religious studies, urban governance and event management. It offers insights into how African cities negotiate the opportunities and risks of mass religious events, while proposing frameworks for safer and more inclusive urban religious practices. Beyond Nigeria, the findings resonate with global debates on managing large religious gatherings such as the Hajj in Saudi Arabia (Alnabulsi & Drury, 2014) and Kumbh Mela in India (Shinde, 2012).

Literature Review

Cultural Role of Festivals

Festivals occupy a critical role in human societies as cultural expressions that embody social cohesion, community identity and symbolic renewal. Classic sociological perspectives, such as those of Émile Durkheim (1915/1995), argue that religious festivals are integral to the collective conscience, reinforcing shared values and strengthening social solidarity. Similarly, Turner (1969) highlights the role of ritual and performance in fostering *communitas*, the sense of collective unity experienced during liminal events. Within the tourism and events literature, festivals are understood as "time-out-of-time" occasions that mobilize community participation, stimulate local economies and consolidate cultural identity (Getz, 2010; Picard & Robinson, 2016).

In African contexts, religious and cultural festivals not only celebrate faith but also serve as instruments for political expression, civic engagement and intergenerational transmission of tradition (Peel, 2003). In Nigeria, festivals are deeply embedded in the cultural and social fabric, fostering resilience and adaptability in urban environments marked by ethnic and religious diversity (Jauro & Abubakar, 2019). The Maulud (Mawlid) celebrations are a striking example: they merge spiritual devotion with public festivity, creating avenues for communal bonding, charitable giving and public visibility of religious authority. As Adebanwi (2017) observes, festivals in Nigeria often act as sites where collective identity is negotiated and contested in the public sphere.

From an event management perspective, the cultural role of Maulud parallels other religious festivals worldwide in its ability to mobilize massive crowds, contribute to local economies through hospitality and transportation services, and enhance cultural tourism (Smith, 2009). Yet, unlike many secular or cultural festivals, Maulud's grounding in religious devotion intensifies its communal importance while complicating its management, as religious symbolism constrains regulatory intervention.

Cultural and Religious Significance of Maulud

Maulud celebrations carry immense religious significance in Muslim-majority regions of Nigeria. Rooted in Sufi traditions, the events are framed as expressions of love and reverence for Prophet Muhammad (PBUH), conveyed through poetry, Qur'anic recitations, sermons, and devotional songs (Garbin, 2012). These activities are not merely commemorative but pedagogical, serving as opportunities for religious education and moral guidance. As Trimingham (1990) and Brenner (2001) argue, Sufi practices in West Africa have historically integrated ritual performance with community teaching, making festivals like Maulud essential to the dissemination of Islamic ethics and values. The celebrations also reinforce religious authority, as clerics and Sufi leaders gain visibility and legitimacy through their central roles in organizing and leading processions. In many cases, political leaders participate symbolically, using Maulud as a platform to align themselves with religious sentiments and demonstrate their legitimacy to Muslim constituencies (Last, 1988).

However, Maulud is not without controversy. While Sufi orders such as Tijjaniyya and Qadiriyya embrace it as spiritually beneficial, reformist Salafi and Wahhabi movements criticize it as *bid'ah* (innovation), lacking basis in early Islamic tradition (OsunDefender, 2024). This intra-faith contestation reflects broader theological debates within global Islam (Brown, 2011), but in Nigeria it also intersects with issues of power, authority and urban governance. The controversies occasionally spill into public disputes, underscoring how theological debates can manifest as struggles over public space and legitimacy. Culturally, Maulud acts as a civic celebration that integrates artistic expression such as drumming, praise poetry and motorcades of camels and horses into religious devotion. These performative aspects highlight Islam's adaptability to local contexts while also attracting critique from purists (Eickelman & Piscatori, 1996). Thus, Maulud serves as both a religious commemoration and a cultural performance embedded in Nigeria's urban landscapes.

Religious Events in Urban Spaces

Religious events profoundly shape the sensory and spatial dynamics of urban life. Scholars such as Garbin (2012) have shown how Maulud processions in cities like Jos transform public spaces into sacred arenas, creating visibility for Islamic identity while provoking contestation over noise, traffic and access. Eisenlohr (2018) similarly examines how soundscapes particularly the use of loudspeakers and religious chants reshape urban atmospheres, embedding religious authority into the sensory environment.

In Nigerian cities, Maulud celebrations involve expansive processions, amplified sermons, and occupation of major roads and squares. These practices highlight what Hirschkind (2006) terms the "ethical soundscape," where religious aural practices not only transmit teachings but also create public environments charged with moral and political meaning. As Deeb and Harb (2013) note in their study of Beirut, such religious occupation of urban spaces often provokes negotiation between religious groups, state authorities and secular interests, making them arenas of contestation. Maulud demonstrates how urban space becomes a stage for religious visibility, identity assertion and power dynamics Iin Nigeria. The events highlight tensions between state governance concerned with traffic management, security and infrastructure, and religious groups seeking recognition and legitimacy. Thus, Maulud contributes to what Kong (2010) describes as the "religionization of urban space," whereby cities become arenas for the expression and regulation of religious life.

Urban Governance and Public Events

The management of large religious events poses significant governance challenges, particularly in African cities marked by rapid urbanization, weak infrastructure and limited institutional capacity (Pieterse, 2010). Effective governance requires inter-agency collaboration between municipal authorities, police, traffic regulators, sanitation departments, and religious leaders. Yet in Nigeria, coordination is often reactive, fragmented, and politicized (Ellis & Haar, 2007). Religious freedom complicates state regulation. While the Nigerian constitution guarantees freedom of worship, attempts to regulate religious gatherings often provoke accusations of bias or repression (Campbell, 2013). Thus, governments frequently oscillate between accommodation and securitization. For example, Kano's police directives banning large gatherings in 2025 were widely defied by Tijjaniyya groups, reflecting the limits of state authority (Daily Post, 2025).

Inclusivity remains another governance challenge. Women and youth, although active participants, are often excluded from planning processes, perpetuating gender imbalances and limiting the representativeness of governance structures (Okonkwo, 2020). Such exclusions undermine the potential for religious events to foster inclusive civic engagement.

Crowd Management and Safety

Crowd management has become a global priority in the study of mass gatherings due to the recurring risks of stampedes, fires and terrorist attacks (Challenger & Clegg, 2011). Crowd psychology research emphasizes that disasters are not simply caused by crowd size but by poor planning, lack of infrastructure and failures in communication (Reicher, 2001). Internationally, large-scale religious gatherings such as the Hajj in Saudi Arabia and Kumbh Mela in India have spurred significant academic and policy attention to crowd management (Alnabulsi & Drury, 2014; Shinde, 2012). Lessons from these events emphasize the importance of controlled entry and exit points, emergency medical facilities, real-time monitoring and trained personnel.

Nigeria's record highlights serious gaps. Fatal crowd incidents have occurred during Christian revivals, Islamic gatherings and political events (Akande, 2018). Stampedes at charity distributions and festivals reveal poor risk assessment and inadequate emergency response capacity (Kusanu, 2024). Despite repeated tragedies, Nigeria lacks national guidelines for crowd safety, leaving security agencies to adopt ad hoc measures. Maulud events, with their massive turnouts and lack of controlled venues, remain particularly vulnerable.

Contestations and Diversity

Maulud reflects Nigeria's religious diversity and intra-faith contestation. Sufi orders consider it integral to spiritual life, while Salafi reformists criticize it as un-Islamic (Brown, 2011). This tension illustrates broader struggles within Nigerian Islam between tradition and reform, authority and authenticity. Beyond theological debates, Maulud embodies cultural diversity. Practices such as drumming, dancing and horse parades blend local cultural forms with Islamic devotion (Eickelman & Piscatori, 1996). These adaptations highlight Islam's localization in West Africa but also fuel contestations over legitimacy.

The celebrations also reveal socio-political diversity. Different sects, ethnic groups and gender constituencies interpret and participate in Maulud differently, underscoring the pluralistic nature of Nigerian Muslim identity (Adebanwi, 2017). Yet this diversity complicates governance, as state authorities must navigate competing demands and sensitivities.

Security Risks and Policing

Large religious gatherings are inherently vulnerable to security threats, ranging from stampedes to terrorist attacks. In Nigeria, Islamist extremist groups such as Boko Haram have historically targeted religious events, heightening concerns about Maulud celebrations (Campbell, 2013). Reports of attempted IEDs in Kano during 2025 underscore the risks (Daily Post, 2025). Policing strategies have been inconsistent. While security forces sometimes attempt to regulate gatherings, their interventions often spark controversy and resistance. For instance, disruptions of Shi'ite gatherings in Abuja in 2025 highlighted tensions between state authority and religious freedom (Vanguard, 2025). Such incidents reinforce public distrust of security agencies and complicate cooperative governance.

Effective policing of religious gatherings requires trust-building, community collaboration, and proactive planning (Ellis & Haar, 2007). However, in Nigeria, security responses remain dominated by force rather than negotiation, perpetuating a cycle of confrontation.

Theoretical framework

Urban religious theory: Spatial Theory of Religion (Kim Knott)

Religion is not only belief or institution; it is *produced through spatial practices*. Sacred/secular boundaries are continually made and remade as religious actors occupy, represent, regulate, and contest urban spaces. Knott's framework (and the broader "spatial turn") shows how sound, bodies, movement, signage and regulation sacralize ordinary places and bring religion into the public realm. This theory underpinned Maulud celebration because Maulud processions temporarily re-code streets, squares and traffic corridors as sacred/communal spaces; loudspeakers and chants rework the sonic city; processions negotiate visibility, access, and authority with the state and other publics. The theory analyzes how (not just that) religion "appears" in the city through procession routes, crowd density at nodes, police cordons, stage placement, vendor clusters and soundscapes.

Crowd psychology: Elaborated Social Identity Model (ESIM)

Crowds behave through shared social identities shaped by interactions with authorities. When police actions are perceived as illegitimate or indiscriminate, crowd members' ingroup identity becomes more salient and empowered, producing collective coordination (sometimes escalation). ESIM extends classic Social Identity work to explain *when* and *why* crowds self-organize, cooperate, or confront.

This theory underpinned Maulud gatherings as peaceful devotional crowds whose behavior and safety depend on mutual understandings between organizers, participants, and security agencies. ESIM predicts that respectful, well-communicated, facilitative policing and clear crowd-management design foster orderly flows and collective self-regulation; perceived hostility or arbitrary restrictions can unify disparate subgroups and trigger risky density shifts or confrontations.

Methodology

Research Design.

This study adopted a qualitative multiple case study design to investigate Maulud celebrations as urban religious events in (Kano and Bauchi) Nigeria. The method allows for an in-depth exploration of the social, spatial and organizational dynamics of Maulud events and the roles of stakeholders involved in their planning and execution. Case study approaches are appropriate for exploring complex social phenomena embedded in real-life contexts, where the boundaries between the phenomenon and its setting are not clearly defined (Yin, 2018). Observation method was applied where the researchers as participant-observers studied crowd behaviour, speaker themes, infrastructure usage, gender arrangements and security presence. By focusing on two cities, Kano and Bauchi. The research was able to capture contrasts in scale, governance models and community dynamics, thereby enabling comparative insights.

The qualitative orientation is justified on two grounds. First, it allows an in-depth exploration of religious meanings, spatial practices and crowd experiences that cannot be adequately understood through quantitative surveys alone (Creswell & Poth, 2018). Second, qualitative inquiry aligns with the theoretical frameworks underpinning this study. Knott's Spatial Theory of Religion emphasizes the need to analyze how religious practices produce space through embodied, sonic and regulatory interactions (Knott, 2010). Similarly, the Elaborated Social Identity Model (ESIM) requires close attention to participants' perceptions of legitimacy, authority, and shared identity (Stott & Drury, 2017).

Study Locations

The research focused on two urban centers with prominent Maulud traditions:

i. Kano: Known for large-scale, state-supported Sunni/Tijjaniyya celebrations, often attracting hundreds of thousands of participants. Kano's events are heavily politicized, with close involvement of political elites and heightened security presence (Daily Post, 2025).
ii. Bauchi: Reflects a more pluralistic religious environment with smaller but symbolically significant Maulud events, marked by inter-sectarian contestation and local adaptations.

These two sites were chosen purposively to reflect variations in governance structures, crowd dynamics and the interplay between religious authority and state regulation.

Methods of Data Collection

Data were collected between September and October 2024, using three complementary qualitative techniques within the following targeted respondents:

i. Event organizers (religious leaders, logistics teams)
ii. Government officials (urban planning, religious affairs)
iii. Security personnel (police, civil defence)
iv. Community members, especially youth and women who attend but are less often in leadership roles.

i. **Participant Observation**

The researchers adopted a participant-observer role, attending Maulud processions, mosque-based lectures and city-wide parades.

Fieldnotes captured spatial dynamics (routes, crowd flows, use of loudspeakers), organizational features (staging, signage, stewarding), and crowd behaviors (movement, chanting, interactions with security). This method aligns with Knott's emphasis on studying the embodied and spatial dimensions of religion (Knott, 2005).

ii. **Semi-Structured Interviews**

34 interviews were conducted with diverse stakeholders. Interview guides explored themes of organizational planning, crowd management, security, inclusivity and cultural meanings. Questions relating to perceptions of legitimacy of policing, shared identity cues and empowerment in crowds were informed by ESIM (Reicher, 2001).

iii. **Document Analysis**

Media reports, government directives and organizational pamphlets related to Maulud 2024 were reviewed. Documents provided insights into public narratives, regulations and contestations over the events.

Instruments:

a. Observation checklist (covering crowd size, signage, emergency response setups, seating, prayer zones, noise levels).
b. Interview guide with open-ended questions (themes: event logistics, security concerns, cultural meanings, interfaith relations).
c. Thematic coding sheet for content analysis.

Sampling Techniques

Purposive sampling was employed to recruit participants with direct experience in organizing or managing Maulud events (clerics, government officials, police). To capture less-visible perspectives, particularly from marginalized groups, snowball sampling was used, whereby initial interviewees referred researchers to other participants (especially youth and women). The two states (Kano and Bauchi) functioned as the case boundaries. Within each case, sampling sought to reflect stakeholder diversity, ensuring triangulation of perspectives across organizers, authorities and participants.

Method of Data Analysis

All interviews were transcribed exact, and observation notes were digitized. The data were coded thematically using NVivo software. Analysis proceeded in three steps:

- **Open Coding**: Initial codes were generated inductively from the data, including themes such as "crowd safety," "police legitimacy," "soundscapes," "religious authority," and "urban disruption."
- **Theoretical Coding**: Codes were then grouped according to the theoretical frameworks:
  - Knott's Spatial Theory: spatial appropriation, sonic inscription, regulatory interfaces.
  - ESIM: perceptions of legitimacy, ingroup identity, collective resilience.
- **Cross-Case Analysis**: Themes from Kano and Bauchi were compared to highlight similarities and divergences in event management, governance and participant experiences.

This hybrid approach enabled both inductive discovery and deductive interpretation, ensuring theoretical robustness and contextual sensitivity (Braun & Clarke, 2019).

Research Ethics

Given the sensitive nature of religious gatherings in Nigeria, ethics were paramount. Participants were informed of the study's objectives, and informed consent was obtained orally and in writing. Anonymity was maintained using pseudonyms and data were stored securely. To minimize risks, interviews were conducted in safe locations and participant observation avoided obstructing security or religious protocols. Ethical clearance was granted by the Institutional Research Ethics Committees of Nasarawa State University and Afe Babalola University Ado-Ekiti.

Results

The findings from the case studies of Kano and Bauchi Maulud celebrations in 2024 are presented thematically. They reflect how organizational structures, spatial practices and crowd experiences reveal both the cultural vitality and the management challenges of large-scale urban religious events in Nigeria.

Cultural and Religious Meanings

Across both sites, participants consistently described Maulud as a spiritual duty and an occasion of communal pride. Respondents emphasized that celebrating the Prophet's birth reinforced their religious identity, cultivated solidarity and offered moral renewal. As one Tijjaniyya cleric in Kano noted, *"To gather in thousands for Maulud shows our unity, and it reminds us that our city belongs to the Prophet's people."*

In Bauchi, participants stressed the festival's integrative character, where Qur'anic recitations, processions with camels and horses, and the distribution of food to the poor reinforced cultural belonging and compassion. These findings confirm earlier scholarship that religious festivals in Africa combine pedagogy, moral community and civic symbolism (Trimingham, 1990; Brenner, 2001).

Yet, meanings were also contested. In both cities, Salafi respondents criticized the celebration as *bid'ah*, reflecting theological divides. Their critique underscores the intra-faith contestations noted in the literature (Brown, 2011; OsunDefender, 2024), which sometimes complicate efforts at inclusive governance.

Spatial Dynamics of Maulud

Observations revealed that Maulud significantly reconfigures urban space, consistent with Knott's (2010) spatial theory of religion. In Kano, entire arterial roads were closed as processions extended for several kilometers, with participants chanting, waving banners and amplifying sermons through loudspeakers. Markets, junctions and public squares were temporarily sacralized, suspending their secular functions.

Soundscapes also transformed the city. In both Kano and Bauchi, chants, drumming and amplified lectures carried across wide distances, producing what Hirschkind (2006) calls an "ethical soundscape." These sonic practices asserted Islamic presence and reshaped the sensory character of the urban environment.

However, this spatial appropriation generated urban disruption. Traffic gridlocks extended for hours, sanitation facilities were overwhelmed and public transport systems were paralyzed. Municipal authorities in both cities lacked clear plans for rerouting, signage or waste management, illustrating infrastructural weaknesses in accommodating mass gatherings.

Organizational Structures and Stakeholder Roles

Both cities exhibited multi-stakeholder involvement, though with significant variation. In Kano, religious leaders dominated planning, with clerics and their logistics teams coordinating processions, sermons, and charitable distributions. Political elites also participated symbolically, using the celebrations to project solidarity with the Muslim public. Municipal authorities provided security and traffic control but were largely reactive, responding to clerics' decisions rather than co-leading planning.

In Bauchi, by contrast, local government officials played a more visible role in coordinating with clerics. Yet, tensions emerged between Sufi groups, who sought to maximize visibility, and Salafi critics, who petitioned against road closures. These dynamics confirm Ellis and Haar's (2007) observation that religious events in African cities often expose fractures in state religion relations.

Respondents also noted limited inclusivity. Women and youth were active participants in processions and lectures, yet few were represented in organizational decision-making. This exclusion reflects governance gaps identified in the literature on religious events and inclusivity (Okonkwo, 2020).

Crowd Management Practices

Crowd management during Maulud relied heavily on informal structures. Organizers deployed volunteer stewards (often drawn from youth groups) to marshal processions and direct participants. In Kano, some groups used makeshift ropes to guide pedestrian flows. However, there were no standardized entry and exit systems, no visible evacuation routes and minimal signage.

Security personnel were deployed but adopted a deterrent posture rather than facilitative crowd management. Interviews with attendees revealed mixed perceptions: while some appreciated the police presence as reassuring, others perceived the heavy deployments and occasional use of force as illegitimate. According to ESIM, such perceptions of legitimacy are crucial in shaping crowd behavior (Stott & Drury, 2017). Indeed, in Bauchi, participants reported pushing and congestion at points where police cordons appeared arbitrary, heightening risks.

Despite these weaknesses, both cities exhibited instances of collective resilience. When elderly participants stumbled, younger attendees spontaneously created protective circles, lifted them to safety and resumed chanting. Such behaviors align with the Social Identity Model of Collective Resilience (Drury, 2012), where shared religious identity fosters cooperation even in high-density settings.

Security Risks and Vulnerabilities

The findings also highlighted security vulnerabilities. In Kano, several respondents reported rumors of attempted improvised explosive devices (IEDs) during the 2024 celebrations, although these were not confirmed by authorities. Nonetheless, such rumors heightened anxieties and underscored Maulud's susceptibility to extremist targeting, consistent with Campbell's (2013) warning about religious gatherings as soft targets in Nigeria.

In both Kano and Bauchi, police interventions were primarily reactive focused on dispersing suspected troublemakers rather than preventing risks through planning. This reactive style reinforced mistrust between religious groups and security agencies, echoing earlier findings about securitized religious governance in Nigeria (Vanguard, 2025).

Governance and Regulatory Gaps

The study revealed significant governance gaps. Neither city had comprehensive guidelines for managing religious mass gatherings. Instead, ad hoc arrangements are made annually, with responsibilities shifting between clerics and municipal authorities. Respondents noted the absence of clear accountability structures, emergency preparedness drills or legal frameworks for regulating processions.

This absence contrasts with international best practices. For example, Saudi Arabia's Hajj management system includes real-time monitoring, structured crowd flows and medical emergency hubs (Alnabulsi & Drury, 2014), while India's Kumbh Mela incorporates temporary urban planning measures for sanitation and traffic (Shinde, 2012). The Nigerian case reveals how, in the absence of such frameworks, celebrations rely on improvisation, exposing vulnerabilities.

Summary of Findings

1. Cultural Significance: Maulud reinforces religious devotion, communal solidarity and urban identity, but remains contested within intra-faith debates.
2. Spatial Practices: Celebrations sacralize urban spaces and reshape soundscapes, while simultaneously disrupting traffic and sanitation systems.
3. Organizational Structures: Planning is dominated by religious leaders, with weak governmental co-leadership and limited inclusivity.
4. Crowd Management: Reliance on informal stewards and reactive policing creates safety risks; yet shared religious identity fosters resilience.
5. Security Risks: Large gatherings remain vulnerable to extremist threats and rumors of violence, while policing strategies provoke mistrust.
6. Governance Gaps: Absence of national or municipal frameworks for crowd management leaves events dependent on improvisation.

Discussion

The findings of this study reveal the complex interplay of cultural meaning, spatial practices, organizational structures and governance challenges in the management of Maulud celebrations in Northern Nigeria. In this section, the results are critically examined in relation to the Spatial Theory of Religion (Knott, 2005, 2010) and the Elaborated Social Identity Model (ESIM) of crowd psychology (Stott & Drury, 2017), alongside comparative literature on global religious gatherings.

Knott's spatial framework suggests that religion manifests in the city not as a fixed entity but through spatial practices, movements, sounds, symbols and regulatory encounters that sacralize everyday places (Knott, 2005). The findings confirm this proposition: in both Kano and Bauchi, streets, markets and public squares were transformed into sacred spaces through processions, chants and banners. Ordinary roads became religious corridors; loudspeakers redefined the sonic boundaries of the city; and crowd density itself produced a sense of sanctified community. This resonates with Garbin's (2012) study of Mawlid in Jos, where festivals generated visibility for Islam in urban space while simultaneously provoking contestation over noise and access. Similarly, Eisenlohr (2018) highlights how amplified sermons in Indian Ocean cities create "sonic atmospheres" that inscribe religion onto public environments.

The Nigerian Maulud celebrations demonstrate that such spatial sacralization is not merely symbolic but materially reconfigures urban life halting transport, rerouting flows and overwhelming infrastructure. Yet, unlike more regulated religious events such as the Hajj (Alnabulsi & Drury, 2014), Maulud in Nigeria unfolds in largely improvised spatial conditions. The absence of urban design tailored to mass gatherings amplifies risks. Thus, while Knott's theory helps explain the cultural and religious significance of spatial appropriation, it also highlights tensions between sacralization and secular governance in Nigerian cities.

The findings also show that Maulud celebrations are not universally accepted within Nigerian Islam, with Salafi respondents rejecting the practice as *bid'ah*. This reflects Casanova's (1994) concept of public religion, where religious practices in public space generate visibility but also provoke contestation. In the Nigerian case, the contestations are intra-faith, reflecting struggles over religious authority and authenticity. Similar dynamics are observed elsewhere. In Senegal, Sufi processions dominate urban religious life, while reformist critiques persist at the margins (Villalón, 1995). In Beirut, Shi'ite religious practices occupying public space have sparked tensions with secular authorities and other communities (Deeb & Harb, 2013). In Nigeria, Maulud functions as a stage where religious identity is asserted, negotiated, and disputed within the urban arena, underscoring the political stakes of religious festivals. This suggests that governance strategies cannot treat Maulud merely as cultural events to be facilitated or repressed; they must engage with the underlying theological and political diversity within Islam itself.

The study revealed that organizational control of Maulud is largely in the hands of religious leaders, with governmental authorities playing a reactive role. This confirms Ellis and Haar's (2007) observation that African states often oscillate between accommodation and securitization of religion. In Kano, clerics exercised significant autonomy, while police interventions were limited to traffic control and crowd containment. In Bauchi, officials were more visible, but inter-sectarian tensions complicated coordination.

Globally, best practices in managing large religious gatherings highlight the importance of multi-stakeholder governance. During the Kumbh Mela, for example, Indian authorities construct temporary urban infrastructures, bridges, sanitation and housing to accommodate millions of pilgrims (Shinde, 2012). Saudi Arabia's Hajj management system integrates religious leaders, security agencies and medical services into a comprehensive governance framework (Alnabulsi & Drury, 2014). In contrast, Nigerian Maulud events remain governed by fragmented authority, undermining both inclusivity and safety. The exclusion of women and youth from planning structures further exacerbates governance weaknesses. While they participate actively in processions and rituals, their absence from decision-making mirrors broader patterns of gendered exclusion in Nigerian urban governance (Okonkwo, 2020). This limits the potential for inclusive event design and ignores the unique safety concerns of vulnerable groups.

The findings around crowd behavior align closely with the Elaborated Social Identity Model (Stott & Drury, 2017). Participants described moments of collective resilience, where strangers assisted the elderly or formed protective barriers around children. Such acts reflect the salience of a shared religious identity, which, according to ESIM, enables crowds to self-organize and maintain order. Drury (2012) has shown that in mass emergencies, shared identity fosters cooperation rather than chaos, a pattern confirmed in Maulud observations. However, the model also predicts that perceptions of illegitimate authority can unify crowds against external control. This was evident when arbitrary police cordons in Bauchi led to pushing and congestion, increasing risk rather than alleviating it. This supports Stott et al.'s (2018) argument that policing strategies must emphasize procedural justice and communication to maintain legitimacy.

Thus, the Nigerian case demonstrates both the potential of religious crowds for self-regulation and the dangers of heavy-handed or poorly communicated security measures. Unlike classic crowd psychology, which pathologized crowds as irrational (Le Bon, 1895), ESIM reframes them as rational, identity-driven collectivities whose behavior depends on intergroup dynamics. Maulud celebrations in Kano and Bauchi remain vulnerable to extremist threats, with rumors of IEDs circulating in 2024. This aligns with Campbell's (2013) warning that mass gatherings in Nigeria are soft targets for insurgent groups. The securitization of religion, however, introduces additional risks: heavy police deployments and

occasional disruptions of gatherings foster mistrust and fuel narratives of marginalization, particularly among sectarian minorities. This reflects a broader African pattern where security responses to religion oscillate between neglect and repression. For instance, Shi'ite processions in Abuja have repeatedly been disrupted by security forces, often with lethal consequences (Vanguard, 2025). Such interventions, while justified in the name of public order, often exacerbate tensions and erode trust.

From an ESIM perspective, security legitimacy is central. When policing is perceived as facilitative ensuring safe passage, clear communication and respectful treatment, crowds are more likely to cooperate. Conversely, when policing is perceived as coercive, crowds unify in opposition, increasing the risk of escalation. Nigerian Maulud celebrations reveal the urgent need for dialogue-based security strategies that integrate community trust rather than relying solely on force.

Comparisons with other global religious gatherings highlight both challenges and opportunities for Nigeria.

- **Hajj (Saudi Arabia):** Management of 2–3 million pilgrims annually has evolved into a highly technical field, with innovations in crowd monitoring, transport infrastructure, and emergency response (Alnabulsi & Drury, 2014). Central to this system is the integration of religious legitimacy with state authority pilgrims generally perceive management as facilitative of religious duty.
- **Kumbh Mela (India):** Temporary urban planning including sanitation systems, tent cities and floating bridges demonstrates how states can invest in infrastructure tailored to periodic mass gatherings (Shinde, 2012). While challenges persist, particularly with environmental sustainability, the event shows the value of pre-emptive planning rather than reactive improvisation.

For Nigeria, these cases illustrate the feasibility of developing national frameworks for religious event management. While resource constraints differ, principles such as planned crowd flows, medical facilities, and inter-agency collaboration are transferable. The Nigerian case demonstrates that religious events like Maulud cannot be reduced to either cultural festivals or security risks. They are hybrid events simultaneously sacred, civic, political and urban. Any governance model must therefore integrate cultural sensitivity, theological diversity and public safety. The findings point to several key components of a Nigerian model:

1. National Guidelines: Development of standardized protocols for crowd management, drawing on lessons from Hajj and Kumbh Mela but adapted to Nigerian realities.
2. Inclusive Stakeholder Structures: Institutionalized platforms for clerics, government agencies, women, and youth to co-plan events.
3. Infrastructure Investment: Designation of urban spaces with sanitation, traffic rerouting and emergency facilities for mass gatherings.
4. Community-Based Security: Training police and volunteers in facilitative, dialogue-based crowd management, grounded in ESIM insights.
5. Cultural Recognition: Affirmation of Maulud's cultural significance while engaging with theological diversity to reduce sectarian contestation.

Theoretical Contributions

The study contributes to both urban religious theory and crowd psychology.

- For Knott's spatial framework, the findings underscore how religious events sacralize urban space not only symbolically but materially through disruption, infrastructure strain and governance negotiations. Nigerian Maulud extends the theory by highlighting how spatial sacralization in African cities interacts with fragile infrastructures and contested governance.
- For ESIM, the study provides evidence from a non-Western, religiously grounded crowd. It shows how shared religious identity fosters cooperation but also how perceptions of illegitimacy in policing can quickly escalate risks. This supports calls for context-sensitive extensions of ESIM that account for religious devotion as a powerful identity marker.

Maulud celebrations in Nigeria exemplify both the opportunities and challenges of urban religious events. They embody cultural vitality, reinforce community identity and foster resilience. Yet, they also expose systemic weaknesses in governance, infrastructure and security. By situating these findings within the frameworks of spatial theory and social identity, the study advances scholarly understanding of religion in urban Africa and offers practical pathways toward safer, more inclusive management of mass religious gatherings.

Conclusion and Recommendations

Conclusion

The study examined Maulud (Mawlid) celebrations in Kano and Bauchi as urban religious events, exploring their cultural meanings, spatial dynamics, organizational structures, crowd behaviors and governance challenges. Using Knott's Spatial Theory of Religion and the Elaborated Social Identity Model (ESIM) as theoretical anchors, the analysis revealed how Maulud celebrations function simultaneously as sacred rituals, civic performances and urban challenges.

The findings demonstrate that Maulud celebrations are more than devotional gatherings; they are performative events that sacralize urban space, mobilize mass participation and reinforce communal identity. Processions, soundscapes and banners transform city streets into temporary religious arenas, while charitable acts highlight the integration of faith with social solidarity. These findings affirm earlier scholarship on the cultural role of festivals as vehicles of cohesion and identity (Getz, 2010; Picard & Robinson, 2016).

At the same time, the celebrations highlight contested religious meanings. For Sufi orders, Maulud symbolizes devotion to the Prophet; for Salafi reformists, it represents theological innovation. These intra-faith disputes illustrate Casanova's (1994) thesis of public religion, when religious expression in public spaces invites debate over legitimacy and authority.

From an organizational perspective, the findings show fragmented governance. Religious leaders dominate planning, while government authorities provide reactive support. Women and youth remain underrepresented in decision-making, and security agencies often adopt coercive rather than facilitative approaches. Such dynamics reveal systemic governance gaps, echoing Ellis and Haar's (2007) observation that African states often oscillate between accommodation and securitization of religion.

The crowd dynamics observed confirm the propositions of ESIM. Shared religious identity fostered collective resilience, as participants spontaneously helped vulnerable members. Yet, arbitrary or coercive policing triggered pushing, mistrust, and congestion. This demonstrates that crowd safety depends less on numbers than on the quality of authority-crowd interaction (Stott & Drury, 2017).

Finally, the study identified governance and infrastructural weaknesses. Unlike global examples such as the Hajj (Alnabulsi & Drury, 2014) or Kumbh Mela (Shinde, 2012), Nigeria lacks formal frameworks for managing religious mass gatherings. As a result, events depend on improvisation, leaving them vulnerable to congestion, health risks and extremist threats.

Overall, Maulud celebrations embody both the opportunities of urban religious festivals, community solidarity, identity reinforcement, cultural vitality and the risks of poor governance, crowd disasters, infrastructural stress and securitized conflict.

Recommendations

Based on the findings and global lessons, this study proposes a multi-level framework of recommendations spanning policy, governance, infrastructure, security and community engagement.

1. Development of National Guidelines for Religious Mass Gatherings

Nigeria urgently needs comprehensive national guidelines for managing large religious events. Such guidelines should be developed collaboratively by the Federal Ministry of Interior, the National Emergency Management Agency (NEMA), security agencies and representatives of religious organizations with components to include:

- Crowd management standards: Controlled entry/exit points, signage, steward training, and evacuation routes.
- Emergency preparedness protocols: On-site medical tents, rapid response teams, and communication systems.
- Permitting and accountability structures: Transparent processes for obtaining permits, with clear delineation of responsibilities between organizers and authorities.

By institutionalizing guidelines, Nigeria can move from reactive improvisation to proactive planning.

2. Inclusive Multi-Stakeholder Governance

Maulud planning must be restructured into inclusive stakeholder frameworks. Rather than clerics monopolizing decisions and the platforms should integrate:

- Religious leaders from different sects (Tijjaniyya, Qadiriyya and others).
- Government officials from transport and traffic planning, and sanitation agencies.
- Women's associations and youth groups.
- Civil society actors and health services.

Such inclusivity would not only enhance legitimacy but also ensure that diverse safety and cultural needs are incorporated into planning. Lessons can be drawn from India's Kumbh Mela, where multiple agencies collaborate under a temporary urban authority (Shinde, 2012).

3. Urban Infrastructure for Religious Events

Given the predictability of annual Maulud, Nigerian cities should invest in infrastructure tailored to mass gatherings. This includes:

- Designating event zones (stadiums, open grounds) with sanitation, waste management, and controlled access.
- Building temporary modular facilities (toilets, water stations) during celebrations.
- Upgrading transport networks to enable rerouting of traffic during processions.

Such investments would mitigate the infrastructural strain observed in Kano and Bauchi. They would also demonstrate government recognition of religious events as integral to urban life, reducing resistance to regulation.

4. Facilitative and Community-Based Security

Security strategies must shift from coercive to facilitative policing. Drawing on ESIM, police should prioritize:

- Dialogue and negotiation with organizers before and during events.
- Visible fairness and respect, ensuring that interventions are perceived as legitimate.
- Training in crowd psychology, focusing on de-escalation rather than confrontation.
- Integration of community stewards, who can help marshal crowds and communicate with participants.

By aligning security strategies with participants' sense of shared religious identity, authorities can foster cooperation rather than resistance.

5. **Addressing Theological Contestations**

Given intra-faith disputes over Maulud, efforts should be made to manage contestations constructively. This does not mean resolving theological disagreements but creating spaces for dialogue that reduce tensions. Inter-sect platforms, facilitated by respected neutral figures, could build mutual recognition while emphasizing shared commitments to safety and community welfare. Such dialogues can also help prevent sectarian groups from perceiving regulations as biased against them. As Casanova (1994) argues, public religion must be negotiated through inclusive frameworks rather than imposed by unilateral authority.

6. Leveraging Technology and Innovation

Modern technology offers opportunities for safer event management. Nigerian authorities could adopt:

- Mobile applications to disseminate real-time crowd updates, safety alerts and emergency contacts.
- Drone surveillance for monitoring crowd density and identifying risks.
- GIS mapping to plan procession routes, crowd flows and resource deployment.

Such innovations have been successfully used in managing the Hajj, where real-time monitoring systems have reduced risks of stampedes (Alnabulsi & Drury, 2014).

7. Public Education and Community Engagement

Finally, participants themselves must be part of the safety ecosystem. Public education campaigns, led jointly by clerics and government agencies, should promote:

- Awareness of crowd safety practices (orderly movement, attention to stewards).
- Respect for emergency protocols.
- Encouragement of collective responsibility, building on the observed resilience within Maulud crowds.

By embedding safety within religious teachings and community norms, public education can reinforce rather than undermine devotion.

Implications for Theory and Research

The study's findings and recommendations also have theoretical implications:

- For urban religious theory, Maulud illustrates how sacralization of space in African cities intersects with infrastructural fragility and governance contestation. Future research should expand comparative studies of how religion reshapes cities across the Global South.
- For crowd psychology, the Nigerian case demonstrates the utility of ESIM in religious contexts, highlighting both collective resilience and risks of illegitimacy. This invites further empirical testing of ESIM in African religious events.

Maulud celebrations in Nigeria epitomize the paradox of urban religion: they are simultaneously sources of cohesion and sites of vulnerability. They bind communities together through devotion and cultural pride, yet expose cities to infrastructural breakdowns, governance failures and security risks. Nigeria must recognize Maulud not as a marginal or problematic event but as a structural feature of urban religious life. By developing inclusive frameworks, investing in infrastructure and adopting facilitative security strategies, Nigeria can transform Maulud into a safer, more sustainable and socially inclusive celebration. In doing so, it can also offer valuable lessons to other societies grappling with the management of large-scale religious events in urban spaces.

References

Adebanwi, W. (2016). *Nation as grand narrative: The Nigerian press and the politics of meaning* (Rochester Studies in African History and the Diaspora, Vol. 70). University of Rochester Press. (boydellandbrewer.com, PagePlace)

Akande, A. (2018). Managing religious gatherings in Nigeria: Challenges and implications for public safety. *Journal of African Security Studies, 11*(2), 45–59.

Alnabulsi, H., & Drury, J. (2014). Social identification moderates the effect of crowd density on safety at the Hajj. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 111*(25), 9091–9096. https://doi.org/10.1073/pnas.1404953111

Braun, V., & Clarke, V. (2019). Reflecting on reflexive thematic analysis. *Qualitative Research in Sport, Exercise and Health, 11*(4), 589–597. https://doi.org/10.1080/2159676X.2019.1628806

Brenner, L. (2001). *Controlling knowledge: Religion, power and schooling in a West African Muslim society*. Indiana University Press.

Brown, J. A. (2011). *Misquoting Muhammad: The challenge and choices of interpreting the Prophet's legacy*. Oneworld Publications.

Campbell, J. (2013). *Nigeria: Dancing on the brink* (2nd ed.). Rowman & Littlefield.

Casanova, J. (1994). *Public religions in the modern world*. University of Chicago Press.

Challenger, R., & Clegg, C. W. (2011). Crowd disasters: A socio-technical perspective. *Contemporary Social Science, 6*(3), 343–360. https://doi.org/10.1080/21582041.2011.619509

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry & research design: Choosing among five approaches* (4th ed.). Sage Publications.

Daily Post. (2025, February 14). Security agencies foil attempted IED attack during Maulud procession in Kano. *Daily Post Nigeria*. https://dailypost.ng

Deeb, L., & Harb, M. (2013). *Leisurely Islam: Negotiating geography and morality in Shi'ite South Beirut*. Princeton University Press.

Drury, J. (2012). Collective resilience in mass emergencies and disasters: A social identity model. In J. Jetten, C. Haslam, & S. A. Haslam (Eds.), *The social cure: Identity, health and well-being* (pp. 195–215). Psychology Press.

Durkheim, É. (1995). *The elementary forms of religious life* (K. E. Fields, Trans.). Free Press. (Original work published 1915)

Eickelman, D. F., & Piscatori, J. (1996). *Muslim politics*. Princeton University Press.

Eisenlohr, P. (2018). *Sounding Islam: Voice, media, and sonic atmospheres in an Indian Ocean world*. University of California Press.

Ellis, S., & Haar, G. T. (2007). Religion and politics in sub-Saharan Africa. *Journal of Modern African Studies, 45*(2), 175–201. https://doi.org/10.1017/S0022278X07002428

Garbin, D. (2012). The visibility and invisibility of Islam in African urban spaces. *African Diaspora, 5*(2), 177–199. https://doi.org/10.1163/18725465-00502004

Getz, D. (2010). The nature and scope of festival studies. *International Journal of Event Management Research, 5*(1), 1–47.

Hirschkind, C. (2006). *The ethical soundscape: Cassette sermons and Islamic counterpublics*. Columbia University Press.

Jauro, A., & Abubakar, M. (2019). Gender inclusion in religious event planning: A study of Northern Nigeria. *Journal of Social Development in Africa, 34*(1), 85–102.

Katz, M. H. (2007). *The birth of the Prophet Muhammad: Devotional piety in Sunni Islam*. Routledge.

Knappert, J. (1990). *Islamic legends: Histories of the heroes, saints and prophets of Islam*. Brill.

Knott, K. (2005). *The location of religion: A spatial analysis*. Routledge.

Knott, K. (2010). Spatial theory and the study of religion. In T. A. Tweed (Ed.), *Retelling U.S. religious history* (pp. 110–123). University of California Press.

Kong, L. (2010). Global shifts, theoretical shifts: Changing geographies of religion. *Progress in Human Geography, 34*(6), 755–776. https://doi.org/10.1177/0309132510362602

Krause, K., & Van Dijk, R. (2016). *The anthropology of religion and urban life in Africa*. Brill.

Kusanu, A. (2024). Urban crowd control in Northern Nigeria: Lessons from mass religious gatherings. *African Governance Review, 18*(1), 55–73.

Last, M. (1988). Charisma and medicine in Northern Nigeria. In W. J. Blyden (Ed.), *Religion and power in Africa* (pp. 207–226). Brill.

Leadership. (2024, September 8). Security lapses during Maulud celebrations spark public concern. *Leadership Nigeria*. https://leadership.ng

Okonkwo, R. (2020). Gender and inclusivity in urban governance: Lessons from Nigerian cities. *African Journal of Governance & Development, 9*(1), 78–95.

OsunDefender. (2024, October 12). Salafi clerics condemn Maulud celebrations as un-Islamic innovation. *Osun Defender*. https://osundefender.com

Peel, J. D. Y. (2003). *Religious encounter and the making of the Yoruba*. Indiana University Press.

Pew Research Center. (2017). *The future of world religions: Population growth projections, 2015–2060*. Pew Research Center. https://www.pewresearch.org

Picard, D., & Robinson, M. (2016). *Festivals, tourism and social change: Remaking worlds*. Channel View Publications.

Pieterse, E. (2010). *City futures: Confronting the crisis of urban development*. Zed Books.

Reicher, S. (2001). The psychology of crowd dynamics. In M. Hogg & R. Tindale (Eds.), *Blackwell handbook of social psychology: Group processes* (pp. 182–208). Blackwell.

Schimmel, A. (1985). *And Muhammad is His Messenger: The veneration of the Prophet in Islamic piety*. University of North Carolina Press.

Shinde, K. A. (2012). Planning for the Kumbh Mela pilgrimage: Lessons from Nashik, India. *Current Issues in Tourism, 15*(4), 337–352. https://doi.org/10.1080/13683500.2011.610496

Smith, M. K. (2009). *Issues in cultural tourism studies*. Routledge.

Stott, C., & Drury, J. (2017). Contemporary understanding of riots: Classical crowd psychology, ideology and the social identity approach. *Public Understanding of Science, 26*(1), 2–14. https://doi.org/10.1177/0963662515597468

Trimingham, J. S. (1990). *A history of Islam in West Africa*. Oxford University Press.

Turner, V. (1969). *The ritual process: Structure and anti-structure*. Aldine Publishing.

Vanguard. (2025, January 12). Stampede at religious gathering claims lives in Northern Nigeria. *Vanguard Nigeria*. https://www.vanguardngr.com

Vanguard. (2025, January 18). Shi'ite processions and security crackdowns: A timeline of clashes. *Vanguard Nigeria*. https://www.vanguardngr.com

Villalón, L. A. (1995). *Islamic society and state power in Senegal: Disciples and citizens in Fatick*. Cambridge University Press.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). Sage Publications.

SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT IN KOSOVO: CHALLENGES, INNOVATION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN PEJA AND RUGOVA

MSc. Selvije LAJQI
Faculty of Management in Tourism, Hospitality and Environment, University "Haxhi Zeka", Pejë, Kosovo.
ORCID ID: 0009-0001-8777-7028

Soreja ADZAJLIC
Faculty of Business in Technology and Economy, University "Haxhi Zeka", Pejë, Kosovo.

BSc. Florinda VOKSHI
Faculty of Applied Business Sciences, University "Haxhi Zeka", Pejë, Kosovo.

Diana VOKSHI
Faculty of Psychology, University for Business and Technology (UBT), Prishtina, Kosovo.

Abstract
Sustainable tourism has become an increasingly important approach for balancing economic development, environmental protection, and the well-being of local communities. In Kosovo, destinations such as Peja and the Rugova region possess significant natural and cultural resources, yet their tourism potential is accompanied by challenges related to environmental management, regulatory frameworks, infrastructure, digitalization, and the involvement of local communities. This study examines the main challenges and opportunities for sustainable tourism development in Peja and Rugova, with particular emphasis on environmental management and innovative tourism practices.The research adopts a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative perspectives. Primary data were collected through a structured questionnaire involving 50 respondents, including local residents and tourism businesses in the Peja–Rugova area. The analysis focuses on perceptions of regulatory barriers, the implementation of sustainability practices, managerial innovation, digital tools, and future strategies for sustainable tourism development.The findings indicate that regulatory and institutional challenges represent significant barriers to sustainable tourism development, while the implementation of sustainability practices remains uneven among tourism stakeholders. At the same time, digital marketing, online reservation systems, staff training, and other innovative practices demonstrate considerable potential for improving destination competitiveness and sustainability. The results further highlight strong support for legal reforms, the adoption of international sustainability standards, public–private cooperation, and greater involvement of local communities.The study concludes that sustainable tourism in Peja and Rugova requires an integrated approach that connects environmental protection, innovation, effective governance, responsible business practices, and community participation. Strengthening these dimensions could contribute to the long-term competitiveness and resilience of Kosovo's tourism sector while supporting the conservation of its natural and cultural heritage.
Keywords: Sustainable Tourism; Kosovo; Peja; Rugova; Environmental Management; Tourism Innovation; Local Communities; Sustainable Development.

YOUTH-CENTRED AGRICULTURAL INITIATIVES AND ICT SKILLS ACQUISITION PROGRAMMES AS DUAL PATH-WAYS FOR SUSTAINABLE POVERTY REDUCTION IN CROSS RIVER STATE, NIGERIA

Dr. Obeten B. UKABI
Department of Business Education, Federal College of Education (Technical) Isu, Ebonyi State, Nigeria.
ORCID ID: 0000-0001-6387-5216

Adanna R. OKEKE
Department of Business Education, Federal College of Education (Technical) Isu, Ebonyi State, Nigeria.

Igoche JOHN
Department of Business Education, Federal College of Education (Technical) Isu, Ebonyi State, Nigeria.

Dr. Godwin E. AGBOR
Department of Business Education, University of Calabar, Calabar, Nigeria.

Ollawa Onyejiuwaka CHRISTIANA
Department of Business Education, Federal College of Education (Technical) Isu, Ebonyi State, Nigeria.

Oloyede Aduragbemi MOSES
Department of Business Education, Federal College of Education (Technical) Isu, Ebonyi State, Nigeria.

ABSTRACT
This study evaluates youth-centred agricultural initiatives and ICT skills acquisition programmes as dual path-ways for sustainable poverty reduction in Cross River State, Nigeria. The research adopted a survey design on a population of 37,778 youth beneficiaries of poverty reduction programmes in Cross River State, aged 18 years and above. From this population, a sample of 948 respondents was selected using a combination of stratified random and accidental sampling techniques to ensure adequate representation. Data were collected through a validated questionnaire developed by the researchers, titled "Youth-Centred Agricultural Initiatives and ICT Skills Acquisition Programmes for Sustainable Poverty Reduction Questionnaire" (YAIISASPRQ). The questionnaire comprised 12 items structured on a modified four-point Likert scale, with reliability established through the Cronbach Alpha method, yielding a coefficient of 0.90, indicating high internal consistency. Data obtained were analyzed using descriptive statistics of simple percentages and bar charts, to answer the two research questions that guide the study. Findings reveal that both youth-centred agricultural initiatives and ICT skills acquisition programmes are sustainable poverty reduction strategies in Cross River State. Recommending that government and development agencies should strengthen youth-centred agricultural and ICT skills acquisition initiatives by providing access to land, modern farm inputs, extension services, and ICT training facilities.
Key Words: Youth-centred, Agricultural Initiatives, ICT skills, Sustainable, Poverty Reduction.

INTRODUCTION
Poverty reduction remains central to global development efforts due to its multidimensional impact on individuals, households, institutions, and policies. The United Nations underscore this urgency by embedding poverty-related targets in several Sustainable Development Goals (SDGs), including ending extreme poverty (SDG-1), promoting food security (SDG-2), advancing education (SDG-4), empowering women (SDG-5), and fostering decent work and economic growth (SDG-8) (Ukabi, Uba, Ewum & Olubiyi, 2023; Ukabi, 2018; Oche, Ukabi & Agbor, 2024). Cross River State, with its fertile land and a large youth population, holds great potential in agriculture. Globally and nationally, youth-driven agribusiness programmes have reframed farming as a profitable venture, reducing poverty when supported with training, assets, and access to markets. Evidence shows youth participation in agriculture can reduce poverty by up to 17% (Osabohien et al., 2021).

In Cross River, programmes like N-Power Agro have recorded progress in skills training and input provision but remain limited by poor follow-up, weak market access, and minimal digital integration (Adaka, 2024; Cross River State Ministry of Economic Development and Agribusiness, 2025).
At the same time, Nigeria's rapid digital transformation highlights the importance of Information and Communication Technology (ICT) skills for employability, entrepreneurship, and agricultural modernization. Despite this, many young Nigerians still lack adequate digital skills, limiting the integration of ICT into poverty reduction strategies (World Bank, 2025; TechCabal, 2025; Nigerian Communications Commission, 2024). Poverty in Nigeria remains widespread, particularly in rural farming communities. The 2024 Global Multidimensional Poverty Index reports that over one billion people globally suffer multiple deprivations, while World Bank (2025) data shows most Nigerians live far below the $3–$4.20 daily poverty thresholds (United Nations Development Programme and Oxford Poverty and Human Development Initiative, 2024). In response, several programmes, such as the National Poverty Eradication Programme (NPEP), National Social Investment Programme (NSIP), Conditional Cash Transfers (CCT), Government Enterprise and Empowerment Programme (GEEP), and the Renewed Hope Transformation Agenda (RHTA) among many others, have been launched to mitigate poverty through social safety nets, cash support, and livelihood empowerment. However, these efforts put together have not charted a sustainable pathway for sustainable poverty reduction. Within Cross River State, combining youth-focused agricultural initiatives with ICT skills acquisition offers a dual strategy for poverty reduction. These approaches can provide young people with both productive assets and digital competencies, equipping them to create sustainable livelihoods and contribute to long-term development.

Statement of the problem

Poverty reduction remains a pressing challenge in Cross River State, where many young people face limited opportunities for meaningful livelihoods. Although agriculture provides enormous potential for wealth creation, most youths consider it unattractive due to poor access to modern farming inputs, entrepreneurial training, and supportive policies. Similarly, while ICT offers significant prospects for empowerment and job creation, many youths lack the required digital literacy and competencies to compete in today's knowledge- and technology-driven economy. The absence of robust youth-focused interventions in these two strategic sectors perpetuates and exponentially widens the cycles of unemployment, dependency, and poverty. Therefore, this study seeks to explore the role of youth-centred agricultural initiatives and ICT skills acquisition programmes as viable dual pathways for achieving sustainable poverty reduction in Cross River State.

Purpose of the study

The main purpose of this study was to evaluate youth-centred agricultural initiatives and ICT skills acquisition programmes as dual path-ways for sustainable poverty reduction in Cross River State, Nigeria. Specifically, this study sought to:

1. Evaluate the extent to which youth initiative for sustainable agriculture programme has helped in sustainable poverty reduction in Cross River State.
2. Evaluate the extent to which Information and Communication Technology programme has helped in sustainable poverty reduction in Cross River State.

Research questions

The following research questions were raised to guide the study:

1. To what extent has the youth initiative for sustainable agriculture helped in sustainable poverty reduction in Cross River State?
2. To what extent has the information and communication technology skills acquisition programme helped in sustainable poverty reduction in Cross River State?

REVIEW OF RELATED LITERATURE

Youth initiative for sustainable agriculture and sustainable poverty reduction

The Youth Initiative for Sustainable Agriculture (YISA) was introduced to reposition Nigerian youth toward agriculture as a viable Agribusiness platform for employment, food security, and generational renewal in farming. Its objectives focus on improving youth livelihoods, building leadership, promoting sustainable practices, and strengthening professional organizations. Studies show that youth involvement in agriculture enhances income and resilience (Slavash, Hossein, Mohammed & Dariush, 2018; Osabohien et al., 2021). However, barriers such as limited skills, inadequate funding, and weak post-training support persists (Segun-Alalade, Ibitoye, Alalade, Adesina & Elisha-Nissi, 2021). Research also highlights that unemployment and poverty contribute to social vices like cybercrime, trafficking, drug abuse, among others (Olajide, Akinlabi & Tijani, 2017; Aiyedogbon & Ohwofasa, 2018). Empowerment programmes such as NAPEP, YISA, Youth Integrated Training Farms, and Graduate Farmers Schemes have been initiated to tackle these issues, with evidence showing positive youth attitudes and participation when training, facilities, and support are adequate (Kehinde & Favour, 2016). Scholars generally agreed that sustainable youth engagement in agriculture requires capacity building, access to finance, and institutional support to drive productivity, reduce poverty, and advance national development (Kimaro, Towo & Moshi, 2015; Afande, Maina & Maina, 2015). Therefore, sustainable youth engagement in agriculture requires capacity building, funding access, and institutional support to transform agriculture into a driving force for sustainable poverty reduction and national development.

ICT skills acquisition and sustainable poverty reduction

Information and Communication Technology (ICT) has emerged as a catalyst for sustainable poverty reduction by improving access to information, market efficiency, and opportunities for empowerment. ICT contributes to poverty alleviation through expanded access to profitable ventures, innovation, and inclusion (Bogdan, 2017). Empirical evidence from Nigeria shows that ICT skills acquisition enhances diversification, entrepreneurship, and income generation (Nwankwo & Ugwuomu, 2017). Probit regression analysis further confirms that ownership of ICT tools reduces poverty likelihood, especially when combined with education, credit, and employment access (Wiedy & Nugrahana, 2020). Locally, ICT-driven jobs such as computer centre operation, tech-services, sales of phone accessories, POS, call centre operations, and lot more have been linked to youth employment in Calabar (Angioha & Ugal, 2019), while ICT training centres have proven effective in creating jobs and reducing poverty when adequately supported (Ayomide, Okeh & Emmanuel, 2017). Scholars emphasize that ICT skills are vital for efficiency in business and entrepreneurship (Nwosu, 2017; Okoli, 2018; Olaniyi, 2016). Despite challenges like illiteracy, poor infrastructure, and limited resources (Wilson, 2021), effective policies, infrastructure investment, and digital literacy promotion are critical to harness ICT's full potential. Overall, the reviewed studies confirmed that ICT skills and infrastructure creates opportunities for employment, entrepreneurship, and inclusion, thereby making ICT a vital tool for sustainable poverty reduction in Nigeria.

Theoretical building blocks of the study

The Capability Approach, developed by Amartya Sen and later refined by Martha Nussbaum (1999), offers a wider perspective on poverty by focusing on people's real opportunities rather than just income or consumption. It stresses the importance of expanding human freedoms and capabilities such as education, health, skills, and social participation, which enable individuals to live lives they value. Poverty is therefore seen as the denial of these essential capabilities, and overcoming it requires deliberate efforts to remove structural barriers, build human capital, and create enabling environments. In this study, youth-focused agricultural programmes and ICT skills acquisition strongly reflect this approach. Agricultural initiatives provide young people with resources, training, and market access, helping them treat farming as a viable business. Likewise, ICT skills improve digital literacy, employability, and entrepreneurship, opening access to new economic opportunities. Together, these pathways enhance both the "being" (self-reliance, dignity, empowerment) and the "doing" (engagement in agribusiness and ICT innovation) aspects of youth development.

Beyond immediate poverty reduction, they can build resilience, expand functional freedoms, and promote sustainable development in Cross River State.

METHODOLOGY

The research design adopted for this study was the survey design. The study was conducted in Cross River State, Nigeria. Cross River State lies between latitude 4°27′N and 5°32′N of the Equator and longitude 7°50′E and 9°23′E of the Greenwich Meridian. The population of the study comprised 37,778 youth beneficiaries of poverty reduction programmes aged 18 years and above. From this population, a sample of 948 youths (male and female beneficiaries of poverty reduction programmes in the state) was selected using a combination of stratified random sampling and accidental sampling techniques. The instrument used for data collection was a validated questionnaire developed by the researchers, titled "Youth-Centred Agricultural Initiatives and ICT Skills Acquisition Programmes for Sustainable Poverty Reduction Questionnaire" (YAIISASPRQ). The instrument had a reliability coefficient of 0.90, established through the Cronbach Alpha reliability test. It consisted of 12 items structured on a modified four-point Likert scale: Strongly Agree (SA = 4 points), Agree (A = 3 points), Disagree (D = 2 points), and Strongly Disagree (SD = 1 point). The questionnaire was administered to the respondents with the assistance of six trained research assistants, and a 100% retrieval rate was achieved. Data collected were analyzed using simple percentages and bar charts to provide answers to the two research questions that guided the study.

Presentation of results

The results of the study are presented based on the research questions that guide the study, which are summaries drawn from analysis of descriptive statistics.

Research question one

To what extent has the youth initiative for sustainable agriculture helped in sustainable poverty reduction in Cross River State? To answer this research question, simple percentages and bar graphs were used and the result is presented in Table 1. The results in table 1 shows that, the aggregate responses of the results implied that 2046 responses representing 35.97% strongly agreed that youth initiative for sustainable agriculture has reduced poverty in the area, 1282 responses representing 22.52% agreed to it, 1,184 responses representing 20.82% disagreed to it while 1175 responses representing 20.65% noted that youth initiative for sustainable agriculture have not reduced poverty in the area. On aggregate, 58.5% of the responses agreed that youth initiative for sustainable agriculture have reduced poverty in a persistent manner which implies that the programme reduced poverty in the area. (See Fig 1).

Table 1 Simple percentages analysis of the responses on youth initiative for sustainable agriculture on poverty reduction

S/N	Items	SA	A	D	SD
1	I have gain new knowledge through youth initiative for sustainable agriculture.	444 (46.83)	321 (33.86%)	161 (16.98%)	22 (2.32%)
2	I have been able to enlarge my farm through this scheme.	432 (45.67%)	232 (24.47%)	171 (18.03%)	113 (11.91%)
3	I have benefited from government agricultural grant through youth initiative scheme.	650 (68.56%)	132 (13.92%)	138 (14.56%)	28 (2.95%)
4	I am still doing my farm work in my normal use of cutlass and hoe to survive	234 (24.68%)	344 (36.29%)	135 (14.24%)	235 (24.79%)
5	I attended youth initiative training for sustainable agriculture but I was not given materials that can aid me for effective farm practice.	132 (13.92%)	122 (12.85%)	345 (36.39%)	349 (36.81%)
6	I want to abandon my farm to look for another means of living.	154 (16.24%)	132 (13.92%)	234 (24.68%)	428 (45.15%)
	Total	2046 (35.97%)	1282 (22.53%)	1184 (20.82%)	1175 (20.65%)

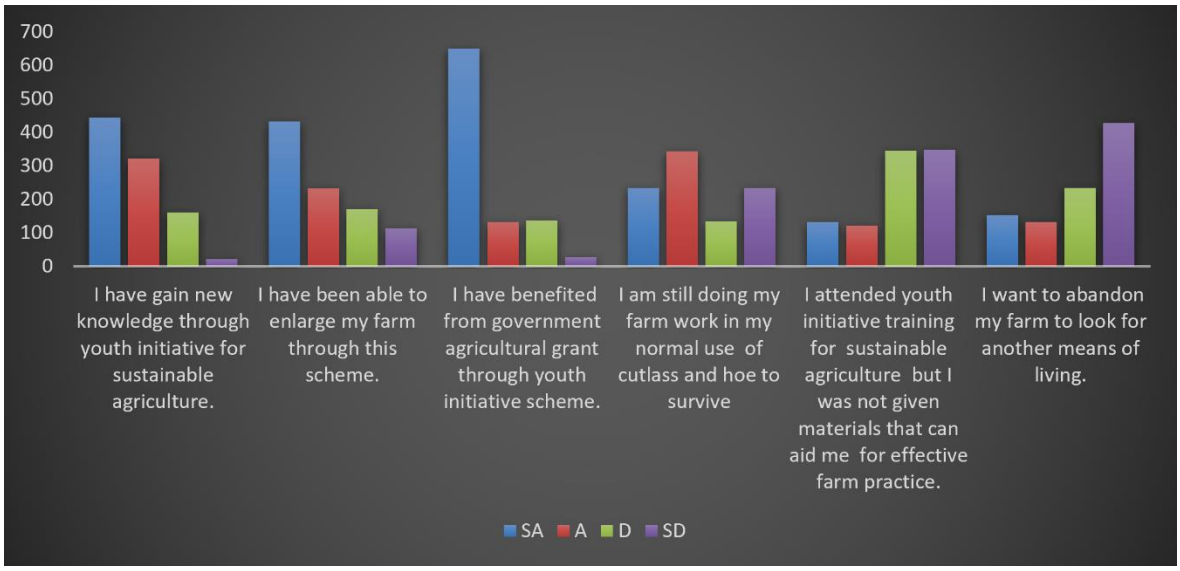


Fig. 1: Bar graphs showing the responses of the respondents on youth initiative for sustainable agriculture on sustainable poverty reduction

Research question two

To what extent has the Information and Communication Technology skills acquisition programme helped in sustainable poverty reduction in Cross River State? To answer this research question, simple percentages and bar graphs were used and the result is presented in Table 2. The results in table 2 shows that, the aggregate responses of the results implied that 1977 responses representing 34.76% strongly agreed that information and communication technology (ICT) has reduced poverty in the area in a persistent manner, 1219 responses representing 21.43% agreed to it, 1329 responses representing 23.36% disagreed to it while 1292 responses representing 22.71% noted that ICT skills acquisition programmes have not reduced poverty in the area in a sustainable manner. On aggregate, 56.195% of the responses agreed that information and communication technology (ICT) have reduced poverty which implies that the programme have sustainably reduced poverty in the area. (See Fig. 2).

Table 2 simple percentages analysis of the responses on information and communication technology (ict) on poverty reduction

S/N	Items	SA	A	D	SD
1	I raise my income by helping people to advertise their businesses online.	321 (33.86%)	231 (24.37%)	123 (12.97%)	273 (28.79%)
2	I became an ICT expert through government training and empowered with a laptop.	432 (45.57%)	123 (12.97%)	222 (23.42%)	171 (18.04%)
3	I become a university graduate through ICT empowerment.	543 (57.28%)	213 (22.47%)	119 (12.55%)	73 (7.70%)
4	I need enough capital to acquire computer equipment to start up a business center.	324 (34.18%)	287 (30.27%)	211 (22.26%)	126 (13.29%)
5	I have not heard about ICT training programme.	123 (12.97%)	211 (22.26%)	433 (45.67%)	181 (13.81%)
6	I have some ICT equipment but there is no network in my community	234 (24.68%)	154 (16.24%)	221 (23.31%)	342 (36.08%)
	Total	1977 (34.76%)	1219 (21.43%)	1329 (23.36%)	1292 (22.71%)

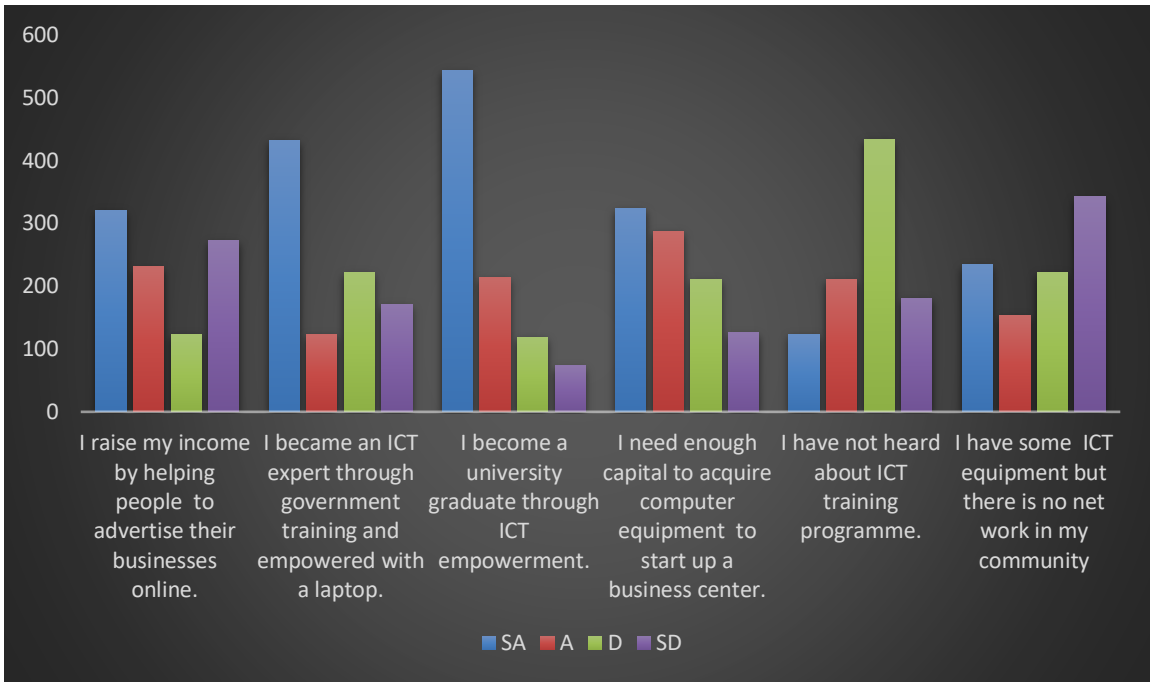


Fig. 2: Bar graphs showing the responses of the respondents on information communication technology (ICT) on sustainable poverty reduction

Discussion of findings

Youth initiative for sustainable agriculture and sustainable poverty reduction

Finding from the study shows that youth initiative for sustainable agriculture have significantly reduced poverty in Cross River State by providing income opportunities, enhancing food security, and equipping young people with entrepreneurial skills. Sustained investment in such programmes promotes self-reliance, reduces unemployment, and strengthens resilience. Evidence from Slavash, Hossein, Mohammed and Dariush, (2018), and Kehinde and Favour (2016) confirms that youth participation in farming boosts income, though challenges like inadequate training and funding persists. Segun-Alalade, Ibitoye, Alalade, Adesina and Elisha-Nissi, (2021) highlighted that empowerment schemes improve skills and capital, but suffer from poor government support, while Umeh and Odo (2019) stressed their role in reducing unemployment and crime. Thus, youth-centered agriculture is rated as an effective sustainable poverty reduction strategy.

Information and Communication Technology (ICT) skills acquisition programme and sustainable poverty reduction

ICT skills acquisition programmes have also reduced poverty in the state by building digital literacy and competencies that enhances employability, entrepreneurship, and access to global opportunities. Studies such as that of (Nwankwo & Ugwuomu, 2017; Wiedy & Nugrahana, 2020) confirmed ICT's role in economic diversification, improved livelihoods, and inequality reduction. Again, research by Angioha and Ugal (2019) and Ayomide, Okeh and Emmanuel (2017) supports the finding that ICT training drives job creation, while Nwosu (2017) emphasized its importance for entrepreneurship and business management. The studies demonstrate that ICT not only empowers youth with employable skills, but also creates sustainable pathways for sustainable poverty alleviation and socio-economic development.

CONCLUSION

This study established that both youth-centred agricultural initiatives and ICT skills acquisition programmes have significantly contributed to sustainable poverty reduction in Cross River State, Nigeria. Youth participation in agriculture provided employment, improved food security, and promoted self-reliance, while ICT skills acquisition enhanced digital competence, entrepreneurship, and access to

new income opportunities. Together, these dual pathways have demonstrated the potential to address unemployment, reduce poverty, and stimulate socio-economic development in the state. However, for these initiatives to achieve long-term impact, they require sustained government support, adequate funding, infrastructure, and policy frameworks that prioritize youth empowerment as a critical driver of inclusive growth and sustainable poverty reduction.

Recommendations

The following recommendations were made based on the findings of the study

1. Government and development agencies should strengthen youth-centred agricultural initiatives by providing access to land, modern farm inputs, and extension services.
2. Investment should be made in ICT facilities, internet access, and training centres, particularly in rural areas, to expand opportunities for digital inclusion.
3. Government and private sector stakeholders should create youth-friendly loan schemes and grants to support start-ups in agriculture and ICT ventures.
4. Collaboration between government, NGOs, and private investors should be encouraged to scale-up agricultural and ICT training programmes for greater reach and sustainability.
5. Effective policies and monitoring mechanisms should be developed to ensure continuity, sustainability, and accountability of youth empowerment programmes.

REFERENCES

Adaka, S. S. (2024). N-power agro-programmes on youths empowerment in Akamkpa Local Government Area of Cross River State, Nigeria. *British Journal of Education, 12*(10), 8–16. (https://ea journals.org/bje/wp-content/pdf)

Afande, F.O. Maina,W. N. & Maina, M.P. (2015). Youth engagement in agriculture in Kenya: Challenges and prospects. Unpublished Working Paper. Economic Policy Research Centre (EPRC).7:2422-8400.

Aiyedogbon, J. O. & Ohwofasa, D. (2018). Poverty and youth unemployment in Nigeria. *International Journal of Business and Social Science,* 3(20), 269-274.

Angioha, P. U., & Ugal, B. (2019). Information and communication technology and youth employment in Calabar Municipality, Cross River State, Nigeria. *International Journal of Research and Innovation in Social Science, 3*(1), 2456–6186.

Ayomide, N., Okeh, B., & Emmanuel, D. (2017). The perception of ICT skills acquisition centers in job creation and poverty reduction among graduates in Kaduna. *Journal of Science, Technology and Education, 5*(2), 112–121.

Bogdan, M. D. (2017, January). The role of ICTs in accelerating the achievement of the SDGs: New innovation approaches to support the implementation of the sustainable development goals. Presentation at the CSTD 2016–2017 Inter-sessional Panel, Geneva, Switzerland. International Telecommunication Union (ITU). [https://unctad.org/meetings/en/Presentation/cstd201 6_p06_ DoreenBogdan_ITU_en.pdf] (https://unctad.org/meetings/en/Presentation/cstd2016_p06_DoreenBogdan_ITU_en.pdf)

Cross River State Government, Ministry of Economic Development & Agribusiness. (2025). Budget implementation report — Quarter 2, 2025. Cross River State Government. Available online at: https://www.crossriverstate.gov.ng/pdf. Accessed on September 29, 2025.

Kimaro, P. J., Towo, N. N. & Moshi, B. H. (2015). Economics, commerce and management. *Determinants of Rural Youth's Participation in Agricultural Activities 3* (2), 1-47.

Nigerian Communications Commission (2024). Baseline study on level of digital skills in Nigeria (Women, Youth and the Physically Challenged) — RD1\Research report. Abuja: Nigerian Communications Commission. (https://www.ncc.gov.ng/sites/default/files/pdf).

Nussbaum, M. C. (1999). Sex and social justice. New York, NY: Oxford University Press.

Nwankwo, S., & Ugwuomu, N. (2017). The place of ICT sector on economic diversification and poverty reduction in Nigeria. *International Journal of Scientific & Engineering Research, 8*(12), 2229–5518.

Nwosu, A. B. (2017). ICT skills and entrepreneurship development for poverty reduction. *Journal of Business and Technology, 5*(2), 45–56.

Oche, P. E., Ukabi, O. B. & Agbor, G. E. (2024). Soft business skills needed for survival in an era of economic uncertainties among business education students in universities in Cross River State. Rajpath*: Journal of Economics, Political Science, Education and Humanities, 1*(1), 23-34.

Okoli, I. M. (2015). Responsiveness of household welfare to anti-poverty programmes among members of agricultural cooperative societies in Anambra State, Nigeria. Unpublished Ph.d Proposal. Available online at: https://www. researchergate.net. Retrieved on September, 2025.

Olajide, O. T., Akinlabi, B. H., & Tijani, A. A. (2017). Agriculture resource and economic growth in Nigeria. *European Scientific Journal, 8*, 103-115.

Osabohien, R., Wiredu, A. N., Nguezet, P. M. D., Mignouna, D. B., Abdoulaye, T., Manyong, V., Bamba, Z., & Awotide, B. A. (2021). Youth participation in agriculture and poverty reduction in Nigeria. *Sustainability, 13*(14), 7795. (https://doi.org/10.3390/su13147 795).

Segun-Alalade, A. F., Ibitoye, O. M., Alalade, O. A., Adesina, B. S., & Elisha-Nissi, D. O. (2021). Sustainability of the youth empowerment scheme (YES): A case study of agricultural and rural management training institute. *Research on World Agricultural Economy, 2*(2), 18–29. (https://doi.org/10.22004/ag.econ.321928)

Slavash, F., Hossein, M., Mohammed, M., & Dariush, H. (2018). A framework for empirical assessment of agricultural sustainability: The case of Iran. *Sustainability, 10*(12), 4823. (https:/ /doi.org/10.3390/su1024823).

TechCabal (2025). Bridging Nigeria's digital and language skills gap to unlock global opportunities. TechCabal. Availaible online at: https://techcabal.com/2025/ 04/24/ bridging-nigerias-digital-and-language-skills- gap-to- unlock-global- opportunities/. Retrieved on September 29, 2025.

Ukabi, O. B. (2018). Entrepreneurial skills required for improvement of small business enterprises in Calabar metropolis of Cross River State, Nigeria. An Unpublished Thesis Submitted to Graduate School, University of Calabar, Calabar.

Ukabi, O. B., Uba, J. U, Ewum, C. O., & Olubiyi, T. O. (2023). Measuring entrepreneurial skills and sustainability in small business enterprises post-pandemic: Empirical Study From Cross River State, Nigeria. *International Journal of Business, Management, and Economics, 4(2). 132–149. DOI: https://doi.org/10.47747/ijbme.v4i2.1140.*

Umeh, K., & Odo, J. (2019). Youth-centered agriculture as a sustainable poverty reduction strategy in Nigeria. *Journal of Rural Development Studies, 7*(3), 101–110.

United Nations Development Programme & Oxford Poverty and Human Development Initiative (2024). Global multidimensional poverty index 2024: Unstacking deprivation to tackle interlinked poverty. United Nations Development Programme. Available online at: https://hdr.undp.or g/content/ 2024-global -multidimensional-poverty-index-mpi. Retrieved September 29, 2025.

Wiedy, Y., & Nugrahana, F. (2020). Opportunities of using information and communication technology in reducing poverty. *JEJAK: Journal of Economics and Policy, 13*(1), 32–45. (https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jejak).

Wilson, O. I. (2021). The role of ICT in poverty reduction in Onitsha L.G.A of Anambra State. In Proceedings of the 2021 International Conference on Information and Communication Technology for Development (pp. 112–120). Association for Computing Machinery. (https://doi.org/10.1145/3387168.3387190).

World Bank. (2025). June 2025 update to global poverty lines. World Bank. Available online at: https://www.worldbank.org/en/news/factsheet/2025/06/05 /june-2 025-update-to-global-poverty-lines. Retrieved on September 28, 2025.

ENHANCING VOCATIONAL ACCOUNTING TEACHERS' COMPETENCE IN DEVELOPING CO-CURRICULAR MODULES AND DIGITAL DASHBOARD-BASED FINANCIAL STATEMENT VISUALIZATION: A COMMUNITY SERVICE PROGRAM

Asst. Prof. Santi Susanti
Universitas Negeri Jakarta, Accounting Education Department, Faculty of Economics and Business, Jakarta, Indonesia
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1386-3748

Assoc. Prof. Susi Indriani, Ph.D.
Universitas Negeri Jakarta, Accounting Education Department, Faculty of Economics and Business, Jakarta, Indonesia
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8458-7440

Prof. Dr. Saparuddin Mukhtar.
Universitas Negeri Jakarta, Economics Education Department, Faculty of Economics and Business, Jakarta, Indonesia
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4641-5052

Asst. Prof. Dwi Kismayanti Respati
Universitas Negeri Jakarta, Accounting Education Department, Faculty of Economics and Business, Jakarta, Indonesia
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5374-6162

Abstract
The digital transformation of accounting education requires vocational teachers to move beyond manual bookkeeping toward data-driven, visual, and project-oriented instruction. However, accounting teachers in vocational high schools (SMK) frequently exhibit a gap between their pedagogical-digital competence and the demands of Industry 4.0. This community service program aimed to strengthen the competence of accounting teachers of the Central Jakarta II Accounting Teachers' Working Group (MGMP) in developing co-curricular modules aligned with the Merdeka Belajar–Kampus Merdeka (MBKM) policy and Project-Based Learning (PjBL), and in producing digital dashboard-based visualizations of financial statements. Using a participatory, project-based, and andragogical approach, the program was delivered in five stages: socialization and needs assessment, training, technology implementation, mentoring and evaluation, and sustainability. Sixty-four teachers from fifteen vocational high schools participated over eight months. Data was collected through pretests, posttests, and product-quality rubrics. The results indicate that all participants produced at least one digital co-curricular module and one interactive financial dashboard, with pedagogical-digital competence improving by at least 25% and data-analysis competence by at least 20% between pre-test and post-test. The program contributes to strengthening teachers' twenty-first-century competencies and to institutionalizing a collaborative, digitally oriented accounting-learning ecosystem in vocational education.
Keywords: teacher competence; co-curricular module; financial statement visualization; digital dashboard; vocational accounting education

1. Introduction

The digital transformation of the financial sector has fundamentally reshaped the competencies expected of accounting graduates and, consequently, of the teachers who prepare them. Contemporary accounting practice increasingly relies on data literacy and the ability to interpret financial information through interactive analytical tools rather than on manual recording alone. Empirical studies confirm that the digital competence of accounting and finance teachers is a decisive antecedent of their willingness to adopt technology in the classroom, which in turn shapes the quality of students' learning experiences (Gürbüz & Bekci, 2026). Bibliometric evidence further situates digital technology as a central and rapidly growing theme in accounting education research (Li et al., 2025).

Despite this trajectory, accounting teachers in Indonesian vocational high schools (Sekolah Menengah Kejuruan, SMK) often continue to rely on conventional, lecture-based methods that emphasize rote memorization and manual bookkeeping, with limited use of digital analytical tools such as spreadsheet dashboards, Google Looker Studio, or Power BI (Ren, 2024). Perceptions gathered from vocational accounting teachers indicate that the implementation of the Merdeka curriculum remains uneven, particularly with respect to designing contextual, project-oriented learning experiences (Purnama et al., 2024). This competence gap constrains teachers' capacity to develop co-curricular modules that connect accounting theory to authentic industry practice, as envisioned by the Merdeka Belajar–Kampus Merdeka (MBKM) policy (Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, 2020).

Project-Based Learning (PBL) has been widely advocated as a pedagogy capable of narrowing this gap. When combined with digital learning media, PjBL has been shown to improve students' work-readiness skills in accounting subjects (Kalapati et al., 2024), and when integrated with a deep-learning approach, it is positively associated with higher student engagement and stronger perceived digital competencies in vocational settings (Ramadhani & Vista, 2026). Strengthening teachers' capacity to design such project-based learning is therefore a strategic lever for aligning vocational education with industry needs (Sari et al., 2025; Shofiyuddin & Candraloka, 2023).

A complementary competence is the ability to visualize financial data. Visualization simplifies complex financial information into concise, communicative displays and has been demonstrated to support financial accounting instruction (Prokofieva, 2020). More broadly, the integration of technological, soft, and research skills is increasingly regarded as essential to transforming accounting education for the digital era (Helmayunita et al., 2025; Abu Tomma, 2024). Yet the adoption of dashboard technologies at the vocational level remains slow, owing to limited training in digital accounting and modest information-technology literacy among teachers (Wibawa et al., 2024).

Community service programs that pair universities with teachers' working groups (Musyawarah Guru Mata Pelajaran, MGMP) have proven effective in addressing these needs. Recent programs report substantial gains in teachers' conceptual understanding and technical skills following practice-based training and mentoring (Setiyawati et al., 2026; Fauzan et al., 2021). Building on this evidence, the present program partnered with the Central Jakarta II Accounting MGMP, which oversees fifteen vocational high schools and sixty-four accounting teachers whose activities had previously been limited to competency-test analysis and teaching-material preparation.

Accordingly, this program pursued three objectives: (1) to strengthen accounting teachers' competence in designing and developing co-curricular modules aligned with the MBKM policy and PjBL; (2) to provide technical training in producing digital dashboard-based visualizations of financial statements using Microsoft Excel, Google Looker Studio, and Power BI; and (3) to foster sustainable collaboration between the university and partner schools in support of a technology-based, practice-oriented curriculum.

2. Method

The program adopted a participatory, project-based, and andragogical approach that positioned teachers as active learners collaborating with lecturers and students throughout the processes of learning, practice, and technology implementation. The partner was the Central Jakarta II Accounting MGMP, headquartered at SMK Negeri 3, Kemayoran, Central Jakarta, located approximately 7.7 km from Universitas Negeri Jakarta. The direct beneficiaries were sixty-four accounting teachers from fifteen public and private vocational high schools, while the indirect beneficiaries were their students. The program was implemented over eight months and structured into five sequential stages.

The first stage, socialization and needs assessment, comprised a coordination meeting to agree on schedules, targets, and success indicators; the dissemination of MBKM, PjBL, and digital-transformation concepts; and a needs survey administered through questionnaires and interviews to map teachers' initial competence in module development and dashboard use. The second stage, training, delivered two workshop tracks: the development of MBKM- and PjBL-based co-curricular modules—including the formulation of learning outcomes, integration of the Pancasila Student Profile, and competency-based assessment rubrics—and the construction of digital financial dashboards using

Microsoft Excel, Google Looker Studio, and Power BI. The third stage, technology implementation, required teachers to apply their modules and dashboards in their own classrooms, with students of the program serving as facilitators and lecturers observing the effectiveness of the dashboards in supporting learning.

The fourth stage, mentoring and evaluation, provided continuous online and offline guidance to refine the products and assessed effectiveness through a comparison of pre-test and post-test scores together with rubric-based evaluation of product quality. The fifth stage, sustainability, established a Community of Practice (CoP) among lecturers, students, and teachers; compiled a repository of digital modules and dashboard templates; and disseminated the results through publication. Evaluation instruments consisted of a pre-test and post-test measuring pedagogical-digital and data-analysis competence, and analytic rubrics assessing the quality of the modules and dashboards produced. Achievement was judged against pre-defined indicators covering product creation, classroom application, and competence improvement.

3. Results and Discussion

3.1 Socialization and Needs Assessment

The needs assessment revealed that the majority of participating teachers had not previously designed project-based co-curricular modules and were unaccustomed to using financial data visualization tools. These findings are consistent with prior reports that vocational accounting teachers face persistent constraints in translating the Merdeka curriculum into contextual, technology-rich instruction (Purnama et al., 2024; Ren, 2024). Consequently, the training content was directed toward strengthening these two competence domains, and a shared schedule and participant roster were established as the outputs of this stage.

3.2 Training on Co-Curricular Modules and Digital Dashboards

The first training track guided teachers in developing co-curricular modules grounded in outcome-based education and the MBKM policy (Ika, 2025). Rather than presenting purely theoretical content, the modules incorporated project-based activities that require students to analyze, collaborate, and solve authentic accounting problems, drawing on real cases from micro, small, and medium enterprises and Islamic financial institutions. Teachers formulated learning outcomes and performance indicators anchored in the Pancasila Student Profile, integrated data literacy, and designed competency-based assessment rubrics. This design is congruent with evidence that project-based, deep-learning-oriented instruction enhances engagement and digital competence in vocational education (Ramadhani & Vista, 2026; Kalapati et al., 2024).

The second training track focused on producing interactive dashboards for financial statement visualization. Teachers learned to convert financial data into digital formats and to design dashboards displaying financial ratios, cash flows, and key performance indicators using Microsoft Excel (PivotTable and slicers), Google Looker Studio, and Power BI. Consistent with the argument that visualization renders complex financial information more interpretable (Prokofieva, 2020) and that the integration of technological skills is central to transforming accounting education (Helmayunita et al., 2025; Abu Tomma, 2024), participants progressed from conceptual familiarity to the independent construction of interactive dashboards based on real datasets. As outputs of this stage, teachers produced draft modules and baseline dashboards, and their initial competence gains were captured through pre-test and post-test measures.

3.3 Implementation, Mentoring, and Evaluation

During the implementation stage, teachers applied their modules and dashboards in classroom instruction, supported by student facilitators and by lecturers who observed their effectiveness in improving students' engagement with and comprehension of financial statements. Continuous online and offline mentoring enabled iterative refinement of the products. Evaluation combined pre-test and post-test comparison with rubric-based assessment of product quality, following the mentoring-and-evaluation logic reported in comparable community service programs (Fauzan et al., 2021; Wibawa et al., 2024).

3.4 Program Achievements

The program met the success indicators established at its outset. A summary of achievements is presented in Table 1.

Achievement Indicator	Target	Attainment
Digital co-curricular module produced by teachers	**100% of teachers produce ≥1 module**	**Achieved**
Classroom application of the module	**≥80% of teachers apply the module**	**Achieved**
Improvement in pedagogical-digital competence	**≥25% increase (pre–posttest)**	**Achieved**
Interactive financial dashboard produced	**100% of participants produce ≥1 dashboard**	**Achieved**
Classroom application of the dashboard	**≥75% of teachers apply the dashboard**	**Achieved**
Improvement in data analysis competence	**≥20% increase (pre–posttest)**	**Achieved**
Lecturer and student involvement (KPI 2 & 3)	**≥2 students and ≥4 lecturers active**	**Achieved**

Table 1. Attainment of the Program's Success Indicators

The magnitude of these gains is consistent with the wider community service literature. A recent MGMP-based training program for vocational accounting teachers reported average increases of 35% in conceptual understanding and 40% in technical skills following practice-based mentoring (Setiyawati et al., 2026), while prior work on digital financial dashboards documented improvements in student motivation and speed of financial-analysis comprehension relative to conventional methods (Nugraha & Hidayat, 2022). The convergence of these findings with the present results reinforces the conclusion that pairing pedagogical redesign with hands-on technological training produces measurable competence gains among vocational accounting teachers (Rahmawati & Fitriani, 2023; Sari et al., 2025). Beyond the measured indicators, the program yielded a repository of co-curricular modules and dashboard templates, video documentation, and a draft scholarly article, and it established a Community of Practice linking lecturers, students, and teachers. These outcomes operationalize the university's Key Performance Indicators concerning off-campus engagement by lecturers and students (Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, 2021) and contribute to a sustainable, digitally oriented accounting-learning ecosystem (Debora et al., 2022; Shofiyuddin & Candraloka, 2023).

4. Conclusion

The community service program strengthened the competence of accounting teachers in the Central Jakarta II Accounting MGMP in two complementary domains. First, teachers developed digital co-curricular modules grounded in the MBKM policy and Project-Based Learning and applied them in classroom instruction. Second, teachers acquired data literacy and financial-visualization skills, producing interactive dashboards with Microsoft Excel, Google Looker Studio, and Power BI. The program achieved all pre-defined indicators, including improvements of at least 25% in pedagogical-digital competence and at least 20% in data-analysis competence, and it fostered sustainable university–school collaboration consistent with national higher-education performance indicators. Future programs are recommended to extend the mentoring period, provide adequate technological infrastructure in schools, and incorporate direct measurement of impact on student learning outcomes in order to evaluate the effectiveness of the modules and dashboards more comprehensively.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge Universitas Negeri Jakarta and the Central Jakarta II Accounting MGMP for their support in implementing this community service program.

References

Abu Tomma, M. M. A. (2024). Strategies, requirements, and challenges of transformation of accounting courses to digital teaching via electronic applications: Insights from KKU accounting faculty. SAGE Open Education, 10(2). https://doi.org/10.1177/20427530241279971

Debora, Alexander, N. A., Putri, A. T. K. P., & Lasar, H. F. A. T. (2022). Accurate: Penunjang di era digitalisasi untuk meningkatkan kompetensi dan profesionalisme guru dan murid di SMK. Tekiba: Jurnal Teknologi Rekayasa Informasi dan Sistem Informasi, 2(2), 110–117. https://doi.org/10.36526/tekiba.v2i2.2110

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. (2021). Indikator kinerja utama perguruan tinggi negeri. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.

Fauzan, S., Sunaryanto, S., & Putri, D. (2021). Screening: Pelatihan dan pendampingan evaluasi hasil belajar berbasis ICT bagi guru akuntansi SMK di Kota Malang. Dharma: Jurnal Pengabdian Masyarakat, 2(1), 115–127. https://doi.org/10.35309/dharma.v2i1.5176

Gürbüz, C., & Bekci, İ. (2026). The effect of accounting and finance teachers' digital competence on technology acceptance in education. Journal of Learning and Teaching in the Digital Age, 11(3). https://doi.org/10.53850/joltida.1802257

Helmayunita, N., Anggraini, D., & Sari, D. P. (2025). Transforming accounting education: Integrating technological, soft and research skills in education. Cogent Education, 12(1). https://doi.org/10.1080/2331186X.2025.2478304

Ika, N. (2025). Digital transformation and AI integration in accounting education: Evidence from Albania. Edelweiss Applied Science and Technology, 9(11). https://doi.org/10.55214/2576-8484.v9i11.10877

Kalapati, R. P. A., Canon, S., Panigoro, M., Hafid, R., & Niswatin, N. (2024). The effect of project-based learning models and digital-based learning media on students' work skills in accounting subjects in SMK Negeri 1 Gorontalo City, Indonesia. Asian Journal of Education and Social Studies, 50(10), 162–173. https://doi.org/10.9734/ajess/2024/v50i101627

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. (2020). Kurikulum Merdeka Belajar–Kampus Merdeka (MBKM): Panduan pengembangan kurikulum pendidikan tinggi. Kemendikbudristek.

Li, D., Mat Saat, R., & Ku Bahador, K. M. (2025). Bridging gaps: A bibliometric analysis of digital technology in accounting education and its role in sustainability. International Journal of Business Studies, 8774.

Nugraha, B., & Hidayat, T. (2022). Penggunaan dashboard keuangan digital dalam pembelajaran akuntansi. Jurnal Akuntansi dan Teknologi Informasi, 14(3), 210–218.

Prokofieva, M. (2020). Visualization of financial data in teaching financial accounting. In 2020 24th International Conference on Information Visualisation (IV) (pp. 599–604). IEEE. https://doi.org/10.1109/IV51561.2020.00109

Purnama, D. N., Aghni, R. I., & Astuti, V. (2024). Implementation of learning models in the Merdeka curriculum: Perception of vocational high school accounting teachers in the Special Region of Yogyakarta. Jurnal Ekonomi & Pendidikan, 21(2), 29–39. https://doi.org/10.21831/jep.v21i2.78327

Rahmawati, D., & Fitriani, E. (2023). Pengembangan pembelajaran berbasis proyek untuk meningkatkan literasi digital siswa SMK. Jurnal Inovasi Pendidikan Ekonomi, 11(1), 1–12.

Ramadhani, I. S., & Vista, Y. L. (2026). Student perceptions of project-based learning with a deep learning approach in vocational education. Journal of Educational and Learning Studies, 9(1), 174–180. https://doi.org/10.32698/02502

Ren, R. (2024). Research on applying modern educational technology to improve accounting teaching strategies in vocational schools. Vocational Education, 13(3), 124. https://doi.org/10.12677/ve.2024.133124

Salem, M. A. (2024). The empowering future accountants: A hands-on approach to digital transformation in accounting education through cloud-based tools. Community Engagement, 3(1). http://engagement.fkdp.or.id/index.php/engagement/article/view/1848

Sari, C. K., Rejeki, S., Harta, I., & Maulana, M. R. (2025). Penguatan kompetensi guru SMK dalam pembelajaran berbasis proyek untuk mengoptimalkan keterkaitan dan keselarasan pendidikan dengan industri. Jurnal Pengabdian Masyarakat Wadah Publikasi Cendekia, 2(1). https://doi.org/10.63004/jpmwpc.v2i1.599

Setiyawati, H., Mappanyukki, R., Arwati, I. G. A., Zulkafi, A. H., Indiyani, I., & Indirwanti, E. R. (2026). Transformation of accounting teacher competencies in vocational high schools: Real-case-based EMKM SAK training at MGMP Tangerang City. Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara, 7(2), 3102–3108. https://doi.org/10.55338/jpkmn.v7i2.8868

Shofiyuddin, M., & Candraloka, O. R. (2023). Pendampingan guru SMK dalam implementasi Merdeka Belajar melalui desain pembelajaran berbasis proyek (project-based learning). Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 3(1).

Wibawa, E., Hakim, A. R., Siswanto, & Yudhiyati, R. (2024). Pemanfaatan teknologi informasi untuk meningkatkan kemampuan penyusunan laporan keuangan berbasis digital pada guru MGMP Akuntansi SMK di Kabupaten Kulon Progo. PengabdianMu: Jurnal Ilmiah Pengabdian kepada Masyarakat, 9(6), 1179–1186. https://doi.org/10.33084/pengabdianmu.v9i6.6286

KÜLTÜREL DIL EĞITIMI VE KURUMLAR GÜNCEL EĞILIMLER

CULTURAL LANGUAGE EDUCATION AND INSTITUTIONS: CURRENT TRENDS

Doç. Dr. Dilshoda Mubarakova
Tashkent Devlet Gazetecilik ve Iletişim Üniversitesi,Yabancı diller bölümü başkanı
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6433-3937

Özet
Bu çalışma, dil ve kültür diplomasisindeki çağdaş eğilimleri değerlendirerek, bunların ulusal çıkarları ilerletmede ve uluslararası ilişkileri geliştirmede önemini vurgulamaktadır. Ülkelerin dil eğitimi ve kültürel kurumlar gibi girişimler aracılığıyla dili diplomatik bir araç olarak nasıl kullandıklarını incelemektedir. Makale, karşılıklı anlayışın oluşturulmasında kültürel değişim programlarının rolünü ve dijital platformların kültürel içeriğin küresel olarak yayılmasındaki etkisini tartışmaktadır. Ayrıca, kültürel diplomasinin ekonomik stratejilerle entegrasyonunu, küresel sorunları ele almak için çok taraflı yaklaşımlara odaklanmayı ve çeşitlilik ve kapsayıcılığa verilen önemi ele almaktadır. Bu eğilimleri analiz ederek, çalışma, dil ve kültürün ulusların yumuşak güçlerini artırmaları ve küresel diplomasinin karmaşıklıklarında yol almaları için hayati araçlar olarak nasıl hizmet ettiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: kültür diplomasi, kültürel değişim, güncel eğilimler

Abstract
This study assesses contemporary trends in language and cultural diplomacy, highlighting their importance in advancing national interests and improving international relations. It examines how countries use language as a diplomatic tool through initiatives such as language education and cultural institutions. The article discusses the role of cultural exchange programs in building mutual understanding and the impact of digital platforms on the global dissemination of cultural content. It also addresses the integration of cultural diplomacy with economic strategies, focusing on multilateral approaches to addressing global issues, and the importance given to diversity and inclusion. By analyzing these trends, the study demonstrates how language and culture serve as vital tools for nations to enhance their soft power and navigate the complexities of global diplomacy.
Keywords: cultural diplomacy, cultural change, current trends

Giriş

Günümüz dünyasında, klasik diplomasi yaklaşımı, katılımı, işbirliğini ve diyaloğu destekleyen kamu diplomasisiyle yeni bir boyut kazanmıştır. Kültürlerarası diyaloğun oluşması için uygun zemini hazırlayan ve diğer ülkelerin insanlarını, değerlerini, geleneklerini ve sosyal yapılarını tanıma fırsatı sunan kamu diplomasisi, toplumlar arasında ortak zemin bulur ve uzlaşma ortamı yaratır

En genel tanımıyla, artan ulaşım ve iletişim olanakları sayesinde bireylerin, malların, finansal araçların ve fikirlerin sınırları aşması olarak tanımlanan küreselleşme, yaşamın her alanında katılımı artırdı. Değişen tehdit algıları ve güvenlik sorunları, yönetimi küresel ölçekten mikro düzeye taşıdı ve bu süreçte, devlet merkezli diplomasinin yanı sıra devlet dışı aktörler tarafından yürütülen paralel diplomasi giderek daha aktif bir konum kazandı. Diplomasiye atfedilen anlam, devletlerin güçlerini en üst düzeye çıkarmak için kullandıkları bir araç olmaktan, devletlerin kendilerini ve çıkarlarını ifade ettikleri bir yöntem ve kurum olmaya doğru değişmeye başladı. Bu bağlamda, bugün diplomasi denildiğinde, daha çok gönülleri ve zihinleri kazanmak için yürütülen kamu diplomasisi veya kültürel diplomasi olarak anlaşılmaktadır.

Küreselleşme ve dijital teknolojilerin ortaya çıkışı, kültürel diplomasiyi kökten değiştirdi. İnternetin, sosyal medyanın ve dijital iletişim platformlarının yükselişi, anlık ve yaygın kültürel alışverişi mümkün kıldı. Hükümetler ve devlet dışı aktörler, küresel kitlelere ulaşmak için bu araçlardan giderek daha fazla yararlandı. Sanal kültürel etkinlikler, çevrimiçi dil kursları ve sosyal medya kampanyaları yaygınlaştı.

Günümüzde dil ve kültür diplomasisi, teknolojik gelişmeler, değişen jeopolitik dinamikler ve kapsayıcılık ile çeşitliliğe verilen artan önemle birlikte evrim geçirmeye devam etmektedir. Önemli eğilimler arasında dil öğreniminde yapay zekanın entegrasyonu, kamu-özel sektör ortaklıklarının yükselişi ve tabandan gelen kültürel girişimlerin artan rolü yer almaktadır.

Diplomasi, geçmişten günümüze devletler arasında anlaşmalar yapmak ve uluslararası ilişkilerin sürekliliğini sağlamak için kullanılmıştır. Ancak, bireylerin ve toplumların yapısındaki farklılaşma ve küreselleşme olgusuyla birlikte dünya sistemindeki değişim, diplomasinin uygulanma biçimine de yansımaktadır. Yeni sistemde sivil toplum kavramı ön plana çıkmıştır. Buna göre, dış politika stratejilerinde bireyleri ve toplumları doğrudan hedef alan çalışmalar yürütmek önem kazanmıştır. Bu nedenle, uzun vadeli faaliyetlerle başarılı sonuçlar elde edebilecek kamu diplomasisi, kültürel diplomasi kavramları ön plana çıkmaya başlamıştır.

Kültür, bir toplumu, topluluğu veya sosyal grubu karakterize eden ve onu diğerlerinden ayıran maddi veya manevi değerlerin bütünüdür. Bu değerler sanat veya edebiyatla sınırlı değildir; inanç, gelenekler, yaşam tarzı, temel insan hakları da kültürel değerlerin bir parçasıdır. Dil, düşünce, adetler, bağnazlık, semboller, törenler, ritüeller, araçlar, teknikler, kurallar kültürü oluşturan temel unsurlardır. Her kültür benzersiz ve yeri doldurulamazdır. Bir toplumun kendini ifade etme biçimi olarak tanımlayabileceğimiz kültür, aynı zamanda kimliğin hem kaynağı hem de yansımasıdır.

Kültürel diplomasi, kamu diplomasisinin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilir çünkü kültürel faaliyetler, bir toplumun kendine özgü özelliklerini, orijinal ve benzersiz yönlerini, diğer toplumlarla benzerliklerini ve evrensel değerlerini yansıtmanın en etkili yöntemidir. Kültürel diplomasi ve kamu diplomasisi sıklıkla eş anlamlı olarak kullanılır, ancak farklı kavramlardır. Kamu diplomasisi genel olarak, hükümetlerin iç veya dış kamuoyunu istenen yönde bilgilendirme ve etkileme çabaları olarak tanımlanır. Devlet aygıtları tarafından belirlenip uygulandığı için, kamu diplomasisi denildiğinde akla ilk gelen şey propagandadır. Özünde, kamu diplomasisi resmi, planlı ve amaçlıdır.

Kültürel diplomasi söz konusu olduğunda, akla doğrudan birey veya toplum gelir. Kültürü üreten, taşıyan ve yaşatan kişi de insandır. Bu nedenle, kültürel diplomasi insanlara dokunan ve kişiden kişiye yürütülen bir faaliyettir. Devletin buradaki rolü, yolu açmak ve rehberlik etmekle sınırlıdır. Vatandaşlarına gururla taşıyacakları bir aidiyet ve kimlik duygusu kazandırmak, devletin kültürel diplomasiye yapabileceği en büyük katkıdır. Bu bağlamda, insan gelişim düzeyi, etkili kültürel diplomasi için belirleyicidir. Eğitim, sağlık ve kültürel yaşamın yüksek olduğu bir ülkede, vatandaşların devlete olan bağlılığı ve taşıdıkları kimliğe sahip çıkma duygusu da aynı derecede yüksektir.

Öte yandan, kültürel diplomasi alanında kamu ve sivil toplum arasında bir ortaklığa ihtiyaç vardır.

Kültürel diplomasi, her türlü insan etkileşimini kapsar. Kültürel diplomasinin en temel unsuru dildir. Kültürün en önemli parçası olan dil, aynı zamanda bir ulusun en temel özelliğidir. Bir kültürü, toplumu veya kişiyi tanımanın en doğrudan ve en kısa yolu, dilini öğrenmektir. Dil, insanların kendilerini ifade etme ve dünyayı algılama biçimidir. Her dil, o dili konuşan insanların ortak dünya görüşü, kolektif düşüncenin okunmasıdır.

İdealist bir yaklaşımla, aynı dili konuşan insanların ulusal sınırların belirlenmesinde belirleyici rol oynadığı gibi, aynı dili konuşmasalar bile birbirlerini tanımaya ve anlamaya çalışan uluslararası bir toplumun daha bütüncül bir yapı oluşturabileceği iddia edilebilir. Bu bağlamda, kültürel diplomasi de barış ve istikrarın anahtarı olarak ortaya çıkmaktadır.

Kültürel diplomasi giderek çok taraflı yaklaşımlara önem vererek, küresel zorlukların üstesinden gelmek için uluslararası işbirliğini teşvik etmektedir. Bu eğilim, işbirlikçi kültürel değişim programları ve uluslararası kültürel ağları içeren girişimlerde açıkça görülmektedir.

Dijital diplomasinin yükselişi, gerçek zamanlı kültürel alışverişler için sanal platformları kullanarak kültürel etkileşimi dönüştürdü. Küresel Müzik Diplomasisi Girişimi gibi programlar, küresel erişimi ve etkiyi artırmak için dijital medyadan yararlanıyor.

Kültürel diplomasinin kapsamı, geleneksel sanat ve dil tanıtımının ötesine geçerek, karmaşık küresel sorunları ele almak için teknoloji, eğitim ve yeniliği de kapsayacak şekilde genişliyor.

Araştırma bulguları, çağdaş dil ve kültür diplomasisinin giderek çok taraflılık, dijital entegrasyon ve proaktif kültür tanıtımıyla şekillendiğini ortaya koymaktadır. İki taraflı ilişkilerden çok taraflı ilişkilere geçiş, kültürel koruma, iklim değişikliği ve sosyal içerme gibi küresel zorlukların ele alınmasında uluslararası iş birliğine verilen artan önemi yansıtmaktadır. Dijital platformlar, kültürel alışverişi yeniden tanımlayarak daha geniş bir kitle katılımını mümkün kılmakta ve gerçek zamanlı etkileşimleri teşvik etmektedir.

Kültürel diplomasinin gelişen kapsamı, yenilikçi kültürel ve eğitim programları aracılığıyla karmaşık küresel sorunları ele alma potansiyelini vurgulamaktadır. Bununla birlikte, bu genişleme, uzun vadeli etkiyi sağlamak için uyarlanabilir stratejiler, sürdürülebilir finansman modelleri ve etkili politika çerçeveleri gerektirmektedir.

İnsan hayatta yaşarken doğal olarak iletişim kurmaya çalışır. İletişim kurmanın ise birçok yolu vardır - yüz ifadesi, jestler, kelimeler ve cümleler. Başarılı iletişim için anahtar faktör dildir. Dil bize kendi düşüncelerimizi ve fikirlerimizi, isteklerimizi ve isteklerimizi paylaşmamız için kelimeler ve yollar sunar. Sözlüklerde dil "sözcüklerin yapılandırılmış ve geleneksel bir şekilde kullanılmasından oluşan, sözlü veya yazılı bir insan iletişim yöntemi" olarak tanımlar. Dolaysıyla, bir şeyin "dil" olması için bir tür yapı ya da sözleşmeye sahip olması gerektiği açıktır. Bunlar başkaları tarafından anlaşılmasını sağlar. Dili anlayanlar bir topluluğun parçasıdır. Bu hem sözel hem de sözlü olmayan dil için de geçerlidir. Bununla birlikte dil, daha geniş bir topluluk tarafından anlaşıldığında daha güçlü hale gelir. Daha fazla insana daha fazla sebeple iletişim kurabildiğinizde, güç büyür. Diliniz ne kadar güçlü olursa, o kadar bağımsız olursunuz ve topluma daha fazla katkıda bulunabilirsiniz. Dil, iletişimin sadece kilit bir bileşeni değil, aynı zamanda kimliğin de önemli bir yönüdür. Dil aracılığıyla, o dili konuşan topluluğun bir parçası olursunuz. İki dillilik birden fazla dil topluluğunun bir parçası olmanıza izin verir. Bir dile ne kadar hakim olursanız, toplulukla olan bağlantınız o kadar güçlü olur. Çok dilli olmak, bir fazla kimliğe sahip olmak gibidir.

Özbekistan halkı ve genel olarak Orta Asya ulusları uzun zamandır iki dilli, tarihimizin belirli aşamalarını hatırlarsak eğer, üç dilli olduğunu bile söyleyebiliriz. Yani, Türkçe bir askeri dil, Farsça şiirsel bir dil ve Arapça bilim dili - olarak bilinmekteydi. Bugün, Özbekistan'da yabancı dilden Özbek diline veya Özbek dilindeki eserleri yabancı dillere tercüme ediliyor. Bildirimizde çevirmenler önünde hangi problemler duruyor ve çevirmenlerin çok dilli olmasının olumlu ve olmuşuz etkileri hakkında genel bilgi sunmayı düşündük.

Özbek dili, Rus ve Ukrayna dillerini takip eden Sovyet sonrası bölgede üçüncü ve en büyük dildir. Aynı zamanda, milyonlarca, yüz binlerce Özbekçe konuşan insan Afganistan, Türkiye ve diğer ülkelerde yaşamaktadır. Ancak, bölgedeki en büyük dillerden biri olmasına rağmen, Özbek dili hala henüz gerekli makamına ulaşmadı. Özbekistan'ın bağımsız hale gelmesinden bu yana 28 yıldan fazla bir süre geçti ve 30 yıl boyunca Özbek dili resmi dil statüsündedir. Bununla birlikte, geçmişte, Özbek dili tam olarak geliştirilmemiştir ve toplumun yaşamını tam olarak karşılayan ve tüm alanları mükemmelleştiren bir iletişim aracı haline gelmemiştir. Bunların nedenleri çoktur. Bu nedenleri ortadan kaldırmak ve Özbek dilini yüksek makama kaldırmak yolunda tercümanların işleri büyük önem taşımaktadır. Herhangi bir dilin başarısı, özellikle resmi edebi dilin halk dile mümkün olduğu kadar yakın olması veya çok yakın olmasıdır. Aksi takdirde, resmi dil yalnızca medyaya, devlet belgelerine ve edebi eserlere yansıyan bir fenomen haline gelir ve çekiciliği azalır. Dil gelişiminde çevirmenlerin yeri de ayrıcadır. Çünkü terimler, teknolojiye ait kelimeler ve özel sözleri tercüme edilirken derin bilim ve tecrübeye ihtiyaç duyulur.

Özbekistan'da dil inşası tarihi, ilk bakıldığında daha karmaşık ve dramatik geçtiği görünmektedir. Ülkede önde gelen dil ve yazım uzmanlarının katıl edildiği veya sosyal ve bilimsel faaliyetlerden uzaklaştırıldığını söylemek yeterlidir. Çünkü Özbek edebi dilini yeniden canlandırmanın yolu ciddi bir mücadeleden geçti ve çoğu zaman bilimsel tartışmaların ötesine geçti ve siyasi düzleme taşındı ve tüm özelliklerini yaşadı.

Çeviriyle ilgili en yaygın yanılgılardan, çevirinin iki dillilik (bilingvizim) ile eşanlamlı olduğu ve iki dilin olan herhangi birinin iyi bir tercüman olduğu ve herhangi bir özel eğitime ihtiyacı olmadığıdır düşüncesidir.

"Bilingvizim" terimi, Latince *bi lingua* ("iki dil") cümlesinden türetilmiştir ve iki dilde konuşabilme yeteneği anlamına gelir. Buna göre iki dilli iki kategoriye ayrılır: 1) her iki dili de eşit derecede iyi konuşan kişiler; 2) iki ana dili olan kişiler.

İkinci tür iki dillilik (edinilmiş iki dillilik) gerçek iki dillilik olarak kabul edilir. Dilbilgisel ve sözcüksel seviyelerde telaffuzda ortaya çıkabilen iki dilin sürekli etkileşimini ifade eder. Bu tür iki dil bilen kişiler, aynı anda iki dil öğrenir (bebeklik döneminden itibaren), bu dillerin ana dilini konuşanlar ile aktif olarak iletişim kurar. Onlar için farklı dillerdeki kelimeler ve ifadeler aynı kavramları ifade eder ve genellikle her iki dili de akıcı bir şekilde konuşurlar.

İlk tipteki iki dillilik, her dil farklı zamanlarda ve farklı sosyokültürel bağlamlarda öğrenilmiştir: anadil bebeklikten evde ve ikinci dilin daha sonraki yaşlarda ve farklı bir ortamda (örneğin bir eğitim kurumunda veya sürgünde). Dolaysıyla iki dildeki eşanlamlı kelimeler ve ifadeler genellikle zihinlerinde tamamen farklı konseptlerle ilişkilendirilir.

Genellikle iki dilliler için dillerden biri baskındır. Bu nedenle, iki dilli insanlar genellikle tuhaf aksanla konuşurlar: bir dilin telaffuz özelliklerini ikinci bir dile aktarırlar. Birçok araştırmanın sonuçlarına göre, yetişkinlikte yeni dillerin gelişimi iki diller için tek dilli dillerden çok daha kolaydır. Ancak bu iki dilli insanlara profesyonel tercüman olmak daha kolay olacağı anlamına gelmez.

İki dilli insanlar kelimeleri sözlükten daha farklı olarak yorumlarlar ve bunun tamamen psikolojik bir açıklaması vardır. İki dilli insan genellikle kelimeleri bağlam içinde algılar, yani farklı durumlarda ve istemsiz olarak farklı dillerin eş anlamlılarını tamamen farklı konseptlerle birbirine bağlar. Bu nedenle, çeviri sürecinde, iki dilli insanlar istemeden yabancı kelimeleri yerel kültürün tanıdık kavramlarına ve fenomenlerine bağlarlar - her ne kadar etnik kavramları ifade eden kelimelerin, politik fikirleri veya sözcük duygularını farklı dil ve kültürlerde tamamen farklı anlamları olsa bile. Bundan çıkan önemli bir sonuç şu: nitelikli bir tercüman olmak için yalnızca bir yabancı dili mükemmel bir şekilde bilmeniz yeterli olmaz, aynı zamanda o dilde konuşanın psikolojisini anlamak için de ihtiyac vardır. Tercüme süreci, anlamsal teorinin pratik uygulamasıdır (anlam teorisi). Bu nedenle, profesyonel bir tercüman, anlamın tüm tonlarını göz önünde bulundurarak, tek bir kelimeden cümleye ve metni bir bütün olarak anlayıp çeşitli düzeylerde analiz edebilmelidir.

Sıradan iki dilli insan aksine, yüksek kaliteli bir tercüman her iki dilde yabancı dili konuşanların kültürlerini iyi biliyor ve bu nedenle iki dilli insan eş anlamlı olarak algıladığı kelimelerin farklı anlamlarını da fark eder. Bu nedenle, çevirinin iki dillilikle ilişkilendirilmesine rağmen, bir tercümanın niteliği temel olarak interlinguism tarafından belirlenir yani farklı diller arasındaki benzerlikleri ve farklılıkları hissetme yeteneğinin geliştiğinden.

Birçok modern dil bilgini bu sonuca katılıyor. Birkaç dili bilmek sadece iletişim kurmamıza yardımcı olmuyor, iki dillilik (veya çok dillilik) gerçekten gelişen beyine belli avantajlar sağlıyor. İki dilli bir çocuk sürekli olarak bir dilden diğerine geçtiğinden, teoriye göre, problem çözme, hafıza ve düşünme gibi sözde yüksek bilişsel süreçleri etkin bir şekilde yönetme yeteneğini geliştirir. Diğerlerini uyararak bazı reaksiyonları bastırmaya meyillidir ve genel olarak daha esnek ve canlı bir akla sahiptir. Araştırmacılar bu fenomene iki dilli avantaj diyorlar. Aslında 20. yüzyılın ilk yarısı boyunca, bilim adamları çok dillilik çocuğa dezavantaj sağladığı düşüncesine katıldılar. Dolaysıyla çocuğun zekasina ve konuşma gelişimine zarar verdiğine inanıyorlardı. Ancak, iki dillilik bunun tam tersini yani avantaj sağladığı göstermektedir. Son yıllarda yapılan psikolog Ellen Bialystok'un titiz çalışmalarına dayanan ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında iki dilli kişilerin birçok sorunu çözmede mükemmellik gösterdikleri görülüyor. 2012 yılı için yapılan deneysel verilere bakıldığında, iki dilli kişilerin aslında akademik alanda başarılarını belirleyen bilişsel süreçleri daha iyi yönetebildiklerini gösterdi. İki dilliliğin avantaj sağladığı alanlardan en önemlisi yaşlanan beyine yararı olmasıdır. Birkaç dil konuşan yetişkinlerin, bir dilde konuşan yaşlılara nazaran çok daha iyi direnç gösterebilecekleri ortaya çıktı. Bir araştırma sonucunda ise Alzheimer hastalığından olan farklı bir hasta grubuyla, o ve meslektaşları, bilişsel düzey, ana meslek veya eğitimden bağımsız olarak, iki dilli tanıların tek dilli kişilere göre 4.3 yıl sonra yapıldığını gördü. Başka bir deyişle, iki dillilik bilişsel gerileme sırasında koruyucu bir etkiye sahip olması muhtemeldir. Beyin sürekli öğrenme sürecindeyken, birden fazla dili konuşan kişilerde hafıza zayıflaması çok geç gerçekleştiği görülmektedir. Bu sebeple ikinci, üçüncü veya beşinci dili öğrenmek ve bu dillerle uğraşmak yaşlılarda iyi sonuçları sağlamaktadır. Dolaysıyla çok dillilik faydalı özellikleri çok daha önemli olabilir.

Sonuç

Dil ve kültür diplomasisinin gelişim aşamalarını anlamak, mevcut eğilimleri ve gelecekteki yönelimleri hakkında değerli bilgiler sağlar. Gayriresmi alışverişlerden dijital yeniliklere kadar, bu alanın evrimi, uluslararası işbirliğini ve kültürel anlayışı teşvik etmedeki kalıcı öneminin altını çizmektedir. Paydaşlar, hem geleneksel yöntemleri hem de yeni teknolojileri benimseyerek, küresel diplomaside dil ve kültürün gücünden yararlanmaya devam edebilirler.

KAYNAKLAR

Mubarakova, D., Yunusova, N., Otamurodova, M., Mirsultonova, H. ve Alijonova, S. (2025). *Dil ve Kültür Diplomasisindeki Çağdaş Eğilimlerin Değerlendirilmesi* . Özbekistan Gazetecilik ve Kitle İletişimi Üniversitesi.

Mubarakova, D. ve Yunusova, N. (2021). *Özbekistan Yüksekokullarında Doğu Dili Öğretimi Sürecinde Öğretmen ve Öğrenci Arasındaki İlişki Paradigması* . Çağdaş İş ve Yönetim Konuları Dergisi, 27(4), 249-260.

Mubarakova, D. ve Yunusova, N. (2021). *Cinsiyet Önyargısı Endeksi ve Cinsiyet Kotalarını Başlatan Çeviri Bilimi Üzerine Bir Çalışma* . Asya Çok Boyutlu Araştırma Dergisi, 10(5), 321-334.

Nye, JS (2004). *Yumuşak Güç: Dünya Siyasetinde Başarıya Giden Yol* . Kamu İşleri.

McClory, J. (2022). *Yumuşak Güç 30: Yumuşak Gücün Küresel Sıralaması* . Portland Communications.

Cull, NJ (2009). *Kamu Diplomasisi: Geçmişten Alınan Dersler* . USC Kamu Diplomasisi Merkezi.

Melissen, J. (2005). *Yeni Kamu Diplomasisi: Uluslararası İlişkilerde Yumuşak Güç* . Palgrave Macmillan.

Wang, J. (2021). *Konfüçyüs Enstitüleri ve Çin'in Yumuşak Güç Stratejisi* . Çağdaş Çin Dergisi, 30(130), 347-363.

McConnell, DL ve Iwabuchi, K. (2015). *Yumuşak Güç Süper Güçleri: Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri'nin Kültürel ve Ulusal Varlıkları* . Routledge.

Sakwa, R. (2023). *Çok Kutuplu Bir Dünyada Kültürel Diplomasi: Yükselen Güçlerin Rolü* . Uluslararası İlişkiler, 99(2), 421-439.

HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS (HEIS) AS A CATALYST FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: FOCUS ON UNIVERSITY COMMUNITY ENGAGEMENT (UCE) TO ACHIEVE SOCIAL INNOVATION

Doctoral Student Yasmine AL GHARIB
Saint Joseph University of Beirut, Beirut, Lebanon.

Prof. Naim EL ROUADI
University Community Engagement.

Abstract
The mission of HEIs[1] has been evolving over the decades. Recently HEIs are taking on their third mission of social responsibility, alongside teaching and research. This presents a transformative role of universities whereby they undergo a process of co-creation of solutions to social issues with the community, contributing to sustainable development. Nevertheless, universities are resisting this role as they struggle to find balance between academic excellence and social innovation. In Lebanon, given the multi-faceted crises, UCE is increasingly emerging. However, there is no national strategy/framework to organize UCE[2] in Lebanon.
This study aims to suggest a framework tailored for the Lebanese context about UCE linked to social innovation. Research questions to be studied: 1) What types of UCE initiatives exist in the Lebanese HEIs under study; 2) What are the drivers of and/or barriers to implementation of UCE; 3) To what extent are the UCE activities implemented conducive to social innovation?; 4) What conceptual model (framework) can guide the implementation of UCE in Lebanese HEIs contributing to social innovation?
This study is rooted in the theory of Critical pedagogy by Paulo Freire (2000) highlighting the role of education for emancipation; Engström Activity theory (1987) viewing human activity as a system that has its community, goals, rules, roles and tools; Community Ergonomics aiming at improving systems to enhance human lives through participation of community members; organizational learning theory (Argyris and Schön, 1978). Other frameworks are the quadruple helix model (Carayannis & Campbell, 2009), boundary spanning model (Weerts and Sandmann, 2010), Structure-agency matrix framework (Menendez, 2017).
The research is a qualitative study with a case study research design enabling an in-depth examination of UCE at a defined number of Lebanese HEIs selected through purposive sampling. The sources of data will be observation, document analysis and interviews.
Keywords: University community engagement, social responsibility, social innovation, third mission, sustainable development

[1] Higher Education Institutions
[2] University Community Engagement

EFFECTIVENESS OF A STRUCTURED MULTISENSORY READING INTERVENTION (JUMP–READ) ON FOUNDATIONAL ENGLISH READING SKILLS OF GRADE III LEARNERS IN DELHI GOVERNMENT SCHOOLS: A QUASI-EXPERIMENTAL STUDY

Vandana Gaur Vashisht
Assistant Professor SCERT, Delhi

Abstract

Large-scale Indian assessments consistently show that a substantial proportion of Grade 3 learners in government schools have not attained foundational reading competence, despite national policy commitments under the National Education Policy 2020 and the NIPUN Bharat Mission. Structured, classroom-implementable intervention models evaluated within this specific population remain scarce.

This study evaluated the effectiveness of JUMP–READ, a structured multisensory reading intervention, in developing the foundational English reading skills of Grade III Level-1 learners in Delhi Government schools.

A single-group quasi-experimental pre-test–post-test design was employed with 100 Grade III learners drawn from seven government schools. Learners' letter recognition, digraph recognition, blend recognition, CVC-word reading, and word recognition were assessed before and after a twelve-week intervention delivered through a structured, sequential, multisensory instructional model. Data were analysed using paired-samples t-tests and Cohen's d.

Statistically significant gains were observed on every reading component and on total reading score ($p < .001$ in all cases), with large to very large effect sizes ($d = 2.78$ to 4.95). The total reading score rose from a pre-test mean of 7.69 ($SD = 3.52$) to a post-test mean of 39.30 ($SD = 5.63$) out of a possible 50.

A structured, sequentially organised, multisensory instructional model produced substantial, rapid improvement in the foundational reading skills of struggling Grade III learners in under-resourced government-school classrooms, offering empirical support for scaling similar models within India's foundational-literacy policy framework.

Keywords: multisensory instruction; foundational literacy; reading intervention; English as a second language; government schools; India; phonics; NIPUN Bharat

IMPACT OF TEACHERS' MOTIVATION ON THE JOB PERFORMANCE OF PRIMARY SCHOOL TEACHERS IN CHANCHAGA LOCAL GOVERNMENT AREA OF NIGER STATE, NIGERIA

Dr. Aminu GARBA
Department of Counselling Psychology, Faculty of Education and Arts, Ibrahim Badamasi Babangida University, Lapai, Niger State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0005-6126-4928

Mohammed MUSA
Department of Educational Psychology, School of Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.
ORCID ID: 000-0003-0127-6308

Ahmed Abdullahi BARKUTA
Department of Educational Psychology, School of Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0001-0758-8279

Abdulrahman JIMADA
Department of Educational Psychology, School of Education, Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna, Niger State, Nigeria.

Abstract
This study investigated the impact of teachers' motivation on the job performance of primary school teachers in Chanchaga Local Government Area of Niger State. The study was guided by two objectives, and two corresponding hypotheses. A Correlation research design was adopted for the study. The population comprised 5,084 public primary school teachers in Chanchaga Local Government Area, as documented by the Chanchaga Local Government Education Authority (2026). A sample size of 220 teachers was determined using the Krejcie and Morgan (1970) sample size determination table and selected through a multi-stage sampling technique involving simple random and proportionate sampling procedures. Data were collected using a researcher-developed instrument titled Teachers' Motivation and Job Performance Questionnaire (TMJPQ). The instrument was subjected to face and content validity by experts in Educational Psychology, Measurement and Evaluation, and Guidance and Counselling, while its reliability was established through a pilot study using Cronbach's Alpha, yielding a reliability coefficient that met the acceptable benchmark of 0.70. Data collected were analyzed using Mean and Standard Deviation to answer the research questions, while Pearson Product Moment Correlation (PPMC) was used to test the hypotheses at the 0.05 level of significance. The findings revealed that salary and financial incentives, promotion opportunities, professional development opportunities, and job security each had a significant positive influence on the job performance of primary school teachers. The study concluded that teachers' motivation is a major determinant of effective job performance in public primary schools. It was therefore recommended that government and educational stakeholders should improve teachers' welfare through adequate remuneration, regular promotion, continuous professional development programmes, and policies that guarantee job security in order to enhance teachers' productivity and improve the quality of primary education.
Keywords: Teachers' motivation, job performance, primary school teachers, Chanchaga Local Government

EFL TEACHING LEARNING AND EVALUATION IN BENIN SECONDARY SCHOOLS IN TIME OF CRISIS

Salami Amadou

University of Kindia, Republic of Guinea

SAGBOHAN Kpèassi Kafoui Michée
University of Abomey-Calavi, Republic of Bénin

Abstract
The recurrence of educational crises, including public health emergencies, prolonged teacher strikes, and school disruptions, has significantly affected the quality of English as a Foreign Language (EFL) instruction in Beninese secondary schools. These challenges have reshaped classroom practices, assessment procedures, and learners' academic achievement, thereby calling into question the resilience and effectiveness of EFL education during periods of uncertainty. This study investigates the impact of crisis situations on EFL teaching and evaluation practices in Benin through a case study of "Lycée Toffa 1er" and "Complexe Scolaire La Glorieuse". Specifically, it examines the pedagogical challenges experienced by teachers, the adaptation of instructional and assessment strategies, and the perceptions of teachers and learners regarding the effectiveness of these adaptations. The study is grounded in Vygotsky's Sociocultural Theory and Resilience Theory, which emphasize the importance of social interaction, contextual learning, and adaptive educational practices in overcoming instructional challenges. A mixed-methods research design is adopted, combining quantitative and qualitative approaches. Data are collected through questionnaires administered to EFL teachers and students, semi-structured interviews with school administrators and teachers, classroom observations, and document analysis of lesson plans and assessment records. Quantitative data are analyzed using descriptive and inferential statistics, while qualitative data undergo thematic content analysis. The findings reveal that crisis situations considerably reduce instructional time, hinder learner engagement, and complicate the implementation of reliable and valid assessment practices. Nevertheless, the study also identifies innovative coping mechanisms adopted by teachers, including differentiated instruction, continuous assessment, collaborative learning, and the integration of digital technologies where available. Furthermore, disparities between the public and private school contexts demonstrate differences in institutional preparedness, resource availability, and pedagogical resilience.
Keywords: English as a Foreign Language, teaching, evaluation, educational crisis, secondary education, resilience, assessment.

EFFECTS OF MULTIMODAL ANNOTATION AND PERFORMANCE CIRCLE INSTRUCTIONAL STRATEGIES ON SENIOR SECONDARY STUDENTS' COMPREHENSION AND APPRECIATION OF POETIC LITERATURE-IN-ENGLISH IN IBADAN METROPOLIS, NIGERIA

Abosede Temitope Omoniyi

International Centre of Educational Evaluation, Institute of Education, University of Ibadan, Ibadan Nigeria

Abstract

This study investigated the effects of Multimodal Annotation and Performance Circle instructional strategies on senior secondary students' comprehension and appreciation of poetic Literature-in-English in Ibadan Metropolis, Nigeria. Despite the centrality of poetry in the secondary curriculum, students' performance and engagement remain persistently low, with evidence pointing to teacher-centred, text-only approaches that limit active meaning-making.

Guided by Multiple Intelligence and Constructivist theories, the study adopted a pretest–posttest, control-group quasi-experimental design using a 3 × 2 × 2 factorial matrix. Three hundred and twenty-four Senior Secondary II students from eight purposively selected public schools across four local government areas were randomly assigned to Multimodal Annotation, Performance Circle, and Conventional Method groups. Instruments included a Poetry Comprehension Test ($r = 0.84$), a Poetry Appreciation Scale ($r = 0.81$), and instructional guides validated by three experts. Data were analysed using ANCOVA and Scheffé post-hoc tests at $\alpha = 0.05$.

Results showed significant main effects of treatment on both comprehension ($F_{(2, 315)} = 38.72$, $p < 0.05$) and appreciation ($F_{(2, 315)} = 29.46$, $p < 0.05$). Students in the Performance Circle group recorded the highest adjusted mean comprehension score (42.18), followed by Multimodal Annotation (39.64) and Conventional Method (24.37). For appreciation, Performance Circle again outperformed the other groups (adjusted mean = 68.92 vs 64.15 and 51.28). Learning style and teacher competence had no significant main and also the interaction effects were not significant

The findings indicate that student-centred, socio-semiotic strategies enhance learners' active engagement with poetic texts and significantly improve both comprehension and appreciation. It is recommended that Literature-in-English teachers in Ibadan Metropolis should adopt Multimodal Annotation and Performance Circle strategies to foster deeper poetic literacy.

Keywords: Multimodal Annotation, Performance Circle, Poem, Literature-In- English, Knowledge, Engagement, Nigeria

NEEDS ANALYSIS FOR ESP CURRICULUM DEVELOPMENT IN ENGINEERING EDUCATION

Research Scholar Mohd Shahbaz KHAN
Department of Educational Studies, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.
ORCID ID: 0009-0000-6066-3074

Assoc. Prof. Dr. Sameer Babu M
Department of Educational Studies, Jamia Millia Islamia, New Delhi, India.
ORCID ID: 0000-0001-8168-8537

Abstract
The growing significance of English in engineering education and professional practice has intensified the need for language curricula that are responsive to the discipline-specific communicative demands of engineering students. This conceptual paper examines the role of needs analysis as a theoretical foundation for the development of English for Specific Purposes (ESP) curricula in engineering education. Drawing on established perspectives in ESP, particularly the distinction between target needs, learning needs, and present situation analysis, the paper conceptualises needs analysis as a systematic process for identifying the linguistic, academic, and professional requirements of engineering learners. It discusses how frameworks proposed by scholars such as Hutchinson and Waters, Dudley-Evans and St John, and Brown can inform the identification of learners' communicative requirements across academic and workplace contexts. The paper further explores the relationship between needs analysis, syllabus design, learner-centredness, authenticity, and curriculum relevance in engineering education. Particular attention is given to the types of English language competencies required by engineering students, including technical vocabulary, academic writing, report writing, oral presentations, professional communication, teamwork, and workplace interaction. The paper argues that ESP curriculum development should move beyond the provision of general English skills and establish stronger connections between language learning, disciplinary practices, and future professional contexts. It concludes that a theoretically grounded needs analysis can provide a coherent basis for designing context-sensitive, discipline-specific, and employability-oriented ESP curricula in engineering education. The discussion contributes to the broader conceptual understanding of how needs analysis can facilitate the alignment of language education with the evolving academic and professional demands of engineering.
Keywords: English for Specific Purposes (ESP); Needs Analysis; ESP Curriculum Development; Engineering Education; English for Engineering; Learner Needs

DIGITAL TRANSFORMATION AND E-LEARNING IN TVET IN NORTH-WEST UNIVERSITIES IN NIGERIA

Ibrahim Adamu USMAN
Department of Technology and Vocational Education, Aliko Dangote University of Science and Technology, Wudil, Kano State, Nigeria.

Muhammad Musa SAMBO
Department of Technology and Vocational Education, Aliko Dangote University of Science and Technology, Wudil, Kano State, Nigeria.

Mahmud Moshood MUSA
Department of Technology and Vocational Education, Aliko Dangote University of Science and Technology, Wudil, Kano State, Nigeria.

Abstract
This study examined the availability, 710tilized710on, challenges and improvement strategies associated with digital transformation and e-learning in Technical and Vocational Education and Training (TVET) programmes in universities in North-West Nigeria. The descriptive survey was guided by four research questions and one null hypothesis. The population comprised 1,043 respondents: 63 TVET lecturers and 980 final-year TVET students. Using Krejcie and Morgan's sample-size table and proportionate stratified random sampling, 291 respondents were selected. Of the questionnaires administered, 282 valid copies from 18 lecturers and 264 students were analysed, giving a response rate of 96.9%. Data were collected using the Digital Transformation and E-Learning in TVET Questionnaire (DTELTVETQ), which covered availability, utilization, challenges and improvement strategies. Three specialists validated the instrument, while a pilot study produced a Cronbach's alpha coefficient of 0.88. Mean and standard deviation were used to answer the research questions, and an independent-samples t-test was used to test the hypothesis at the 0.05 significance level. The findings showed that digital facilities and e-learning tools were moderately available and moderately 710tilized. The principal constraints were poor internet connectivity, irregular power supply, limited access to digital devices, inadequate lecturer training, high data costs, insufficient locally relevant digital content and weak technical support. There was no significant difference between the mean responses of lecturers and students, $t(280) = 0.84$, $p = .404$. The findings suggest that strengthening ICT infrastructure, improving lecturers' digital competence, promoting blended learning, expanding access to digital resources, and enhancing institutional support are essential for successful digital transformation of TVET programs in Nigerian universities.
Keywords: Digital transformation, e-learning, technical and vocational education and training, higher education, digital literacy, Nigeria

BRIDGING THE DIVIDE: AVAILABILITY AND UTILIZATION OF MATHEMATICS-FOCUSED STEM RESOURCES IN SECONDARY SCHOOLS OF PAKISTAN

Afshan Naseem

Department of Education, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan

Muhammad Ahmad Ramay
Department of Education, University of Management and Technology, Lahore, Pakistan

Abstract
Rapid technological advancement and an increasingly globalized workforce have made mathematics education more sophisticated and, in principle, more equitable worldwide yet in Pakistan, access to quality mathematics instruction remains highly uneven. This study examines the availability and utilization of mathematics-focused STEM teaching resources across government and private, as well as urban and rural, secondary schools in Pakistan. A sequential explanatory mixed-methods design was employed, beginning with a structured survey of 112 STEM mathematics teachers, followed by in-depth case studies of five purposively sampled schools involving classroom observations and open-ended questionnaires to corroborate and contextualize the quantitative findings. Results indicate that urban private schools have largely moved beyond rote "drill-and-practice" approaches, incorporating manipulatives, graphical tools, and digital teaching aids more extensively than their rural public counterparts, where such resources remain scarce. The findings point to persistent structural barriers including outdated "legacy" resources, "digital poverty," and inadequate in-service teacher capacity-building that must be addressed to improve mathematics instruction nationally. The study illustrates the structural, relational, and dynamic interplay among resource-based capability, teacher and institutional support, and systemic policy in shaping classroom practice. Building on these findings, the study proposes a resource-alignment model integrating multidisciplinary and socio-educational policy perspectives to guide future research and practice in secondary mathematics education. These findings will inform resource-constrained education initiatives globally and contribute to progress toward UN Sustainable Development Goal 4: Quality and Equitable Education for All.
Keywords: Mathematics education; STEM resources; secondary education; teacher capacity-building; mixed-methods research; Sustainable Development Goal 4

PERFORMING AUTHORITY: ELITE POWER, REPRESENTATION, AND EXCHANGE IN EARLY MODERN EUROPE

Prof. Dr. Ananda MAJUMDAR
Harvard University, USA; MacEwan University, Edmonton, Canada.
ORCID ID: 0000-0003-3045-0056

Abstract
Early modern European elites constructed their power through strategic representation, education, and the management of their prestige (Derks & Raeymaekers, 2016; Scott, 2026). Their authority was not merely inherited but actively created and negotiated in various settings, including courts and cities (Kettering, 2009). This exploration delves into how these elites established their legitimacy, engaged with different social groups, and adapted to political and intellectual changes of the time (Robilliard, 2022). Representation was a crucial strategy employed to reinforce elite authority. Through portraits, ceremonies, architecture, and public rituals, they communicated their status and reinforced social hierarchies (Hallett, 2003; Guillou et al., 2023). These symbolic acts served as political maneuvers, shaping public perceptions of power (Hennings et al., 2025). Education played an equally vital role, with institutions like humanist academies and Jesuit colleges fostering a shared cultural language among elites (Grafton, 1991; Kainulainen, 2018; Mathews, 2025). Learning was viewed as a marker of refinement, essential for diplomacy and governance. Courts emerged as key sites for elite interaction, where etiquette, patronage, and proximity to rulers shaped one's standing (Paulle et al., 2012; Elias, 1983). Unlike previous studies that often examine elite authority through a single lens, this study makes an original contribution by integrating analyses of representation, education, and social networks (Lamal et al., 2021; Welch & Astington, 2018; Sander & Sander-Faes, 2024; Steiner, 2025) to uncover how these factors intersected and reinforced one another in early modern Europe. This multidimensional approach illuminates the fluid, performative, and adaptive character of elite power, providing new insights into the mechanisms by which legitimacy and influence were continually negotiated.
Meanwhile, cities provided alternate forms of authority grounded in commerce and civic institutions. New social venues like coffeehouses and salons encouraged the exchange of ideas, facilitating political and intellectual discourse among nobles, clerics, and merchants. (Robilliard, 2022, pp. 146-170) As state centralization, religious reform, and economic changes occurred, elites adapted their roles and legitimacy strategies. The interplay among various elite groups—where aristocratic honour mingled with bureaucratic skills and commercial wealth, all linked to political ambitions—illustrated the fluid and relational nature of power. This study underscores the adaptability of early modern elites, highlighting how they used representation, education, and social networks to sustain authority in a dynamic environment, thereby contributing to broader discussions of political culture and the evolution of governance.
Keywords: Representation, Prestige, Elite Networks.

Introduction
The early modern period in Europe was marked by profound transformations in the structures of power and authority (Scott, 2026; Kettering, 2009). Elites navigated a rapidly changing landscape defined by political centralization, religious upheaval, and economic expansion (Lamal et al., 2021). Rather than relying solely on inherited privilege, these groups continuously reinvented and asserted their authority through a combination of symbolic representation, strategic alliances, and cultural capital (Hallett, 2003; Bourdieu, as discussed in Paulle et al., 2012; Sander & Sander-Faes, 2024; Steiner, 2025). This introduction sets the stage for an exploration of how early modern elites exercised power, emphasizing the dynamic and performative aspects of their authority (Derks & Raeymaekers, 2016; Mathews, 2025). By examining the interplay among representation, education, and social networks, we can better understand the resilience and adaptability that enabled these elites to maintain their influence amid significant change (Grafton, 1991; Hennings et al., 2025; Elias, 1983).

Literature Review: The study of elite power and representation in early modern Europe has generated a substantial body of scholarship, reflecting diverse perspectives on the mechanisms through which authority was constructed and maintained (Derks & Raeymaekers, 2016; Hallett, 2003; Sander & Sander-Faes, 2024; Welch & Astington, 2018). Foundational works by Norbert Elias (The Court Society) and Pierre Bourdieu (Distinction) have underscored the performative and symbolic dimensions of elite identity, emphasizing the centrality of ritual, etiquette, and cultural capital (Paulle et al., 2012; Elias, 1983; Mathews, 2025; Steiner, 2025). More recent historians, such as Jonathan Dewald and Sharon Kettering (Kettering, 2009), have drawn attention to the importance of patronage networks and the fluidity of social boundaries, challenging earlier assumptions about rigid aristocratic hierarchies (Scott, 2026; Hennings et al., 2025; Guillou et al., 2023; Lamal et al., 2021).

Research on representation has highlighted the role of visual culture—portraits, architecture, and public ceremonies—in shaping elite self-image and public perceptions. Art historians like Peter Burke and Roy Strong have demonstrated how symbolic acts and material displays were instrumental in reinforcing status and negotiating power (Hallett, 2003). Meanwhile, studies of education by Anthony Grafton, Laurence Brockliss, and others have illustrated how humanist curricula and Jesuit training contributed to the formation of a shared elite culture, fostering transnational networks of influence (Grafton, 1991). The literature also addresses the adaptability of elites in response to political centralization, religious conflict, and economic transformation. Scholars such as Hamish Scott (Scott, 2026) and William Beik have examined how noble authority was redefined within emerging state structures, while research on urban elites by Anne Goldgar and Koenraad Swart explores the interplay between commerce, civic identity, and social mobility. Across these studies, there is a growing consensus that elite power in early modern Europe was neither static nor monolithic, but rather a dynamic process shaped by negotiation, adaptation, and exchange (Lamal et al., 2021).

Methodology: This study employs documentary analysis as its primary research method (Lamal et al., 2021; Sander & Sander-Faes, 2024). Rather than conducting interviews or surveys, it systematically examines a wide range of historical documents, including correspondence, official records, portraits, architectural plans, and published treatises from the early modern period (Derks & Raeymaekers, 2016; Mathews, 2025; Welch & Astington, 2018). By analyzing these sources, the research reconstructs the strategies of representation and power employed by elites in various contexts (Hallett, 2003; Elias, 1983; Steiner, 2025). The approach allows for the identification of patterns, symbols, and discursive practices that shaped elite authority, providing a nuanced understanding of how power was performed and negotiated without relying on contemporary testimony or quantitative data (Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025). This method ensures a focused and in-depth exploration of elite practices as reflected in the surviving documentation of the time. However, it is important to acknowledge certain limitations inherent in this approach (Scott, 2026; Lamal et al., 2021). The available documentary sources may reflect the perspectives and priorities of the elites who produced them, potentially leading to biases or omissions regarding non-elite actors or dissenting voices (Sander & Sander-Faes, 2024). In addition, gaps in the historical record and the selective survival of sources can constrain the analysis and shape the interpretive framework (Grafton, 1991; Elias, 1983). Recognizing these potential limitations demonstrates critical awareness of methodological challenges and contributes to the study's rigour.

Conceptual Framework: This study is guided by a conceptual framework that positions elite power in early modern Europe as a product of three interrelated domains: symbolic representation, education and cultural capital, and social networks. Drawing on Pierre Bourdieu's theory of cultural capital (Paulle et al., 2012) and Norbert Elias's analysis of court society (Derks & Raeymaekers, 2016), the framework emphasizes how elites constructed and maintained authority through visible performance, shared values, and relational ties (Kettering, 2009).

1. Symbolic Representation: Elites used portraits, ceremonies, architecture, and rituals not just to display wealth and status, but to shape perceptions of legitimacy and hierarchy. These symbolic acts functioned as political tools that communicated authority both within elite circles and to broader society.
2. Education and Cultural Capital: Access to humanist education and specialized training created a shared elite culture and equipped individuals with the skills and credentials necessary for governance and diplomacy. Education served as a key marker of distinction, reinforcing social boundaries while also enabling mobility and adaptability.

3. Social Networks and Exchange: Elites built and sustained their influence through strategic alliances, patronage systems, and participation in emerging urban and courtly spaces. These networks facilitated the exchange of ideas, resources, and favours, allowing elites to adapt to changing political and economic landscapes.

The interplay among these domains highlights the dynamic and performative nature of elite authority. Rather than viewing power as static or solely inherited, the conceptual framework underscores its continual negotiation through representation, education, and social relationships. This approach allows for a nuanced analysis of how early modern elites navigated societal shifts and maintained their dominance.

Results and Findings: The documentary analysis reveals that early modern European elites actively constructed their authority through a variety of interrelated practices (Derks & Raeymaekers, 2016; Hallett, 2003; Lamal et al., 2021; Sander & Sander-Faes, 2024; Steiner, 2025). First, the use of symbolic representation—such as elaborate portraiture, architectural grandeur, and orchestrated public ceremonies—was central to the communication and reinforcement of elite status (Grafton, 1991; Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025; Mathews, 2025). These representations not only displayed power but also helped define the boundaries between elite groups and the broader society (Scott, 2026; Welch & Astington, 2018; Elias, 1983).

Second, the findings highlight the importance of education and the cultivation of cultural capital. Humanist education and specialized training in institutions like Jesuit colleges established a shared framework of knowledge and behaviour among elites, facilitating effective communication, diplomacy, and governance (Kainulainen, 2018). Educational credentials became a crucial marker of distinction and a means of accessing influential networks.

Third, the analysis underscores elites' adaptability in the face of significant social, political, and economic changes. Elites negotiated their roles by forming strategic alliances through marriage, patronage, and participation in urban and courtly life. The emergence of new social spaces such as salons and coffeehouses enabled the exchange of ideas and fostered relationships that transcended traditional aristocratic boundaries (Carleton College, n.d.).

Finally, the results demonstrate that elite authority was not static but continually performed and renegotiated in response to evolving circumstances. The interplay of representation, education, and social networking allowed elites to maintain influence even as the foundations of authority shifted. These findings contribute to a deeper understanding of the mechanisms by which early modern elites navigated and shaped the political and cultural landscape of Europe.

Discussion: The findings of this study reveal the complex, adaptive, and performative nature of elite authority in early modern Europe (Derks & Raeymaekers, 2016; Scott, 2026; Lamal et al., 2021; Sander & Sander-Faes, 2024; Guillou et al., 2023; Mathews, 2025; Hennings et al., 2025; Elias, 1983; Steiner, 2025; Welch & Astington, 2018). In this discussion, the broader implications of these results are explored, situating them within existing scholarship while highlighting new perspectives on the dynamics of power, representation, and social exchange (Hallett, 2003; Paulle et al., 2012).

Firstly, the centrality of symbolic representation in sustaining elite authority cannot be overstated (Hallett, 2003; Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025; Mathews, 2025). As demonstrated by the prevalence of portraiture, architectural patronage, and public ceremonies, elites consistently engaged in visual and performative strategies to display power (Derks & Raeymaekers, 2016; Sander & Sander-Faes, 2024). These acts were not merely decorative; they played a crucial role in shaping collective perceptions of hierarchy and legitimacy (Scott, 2026; Welch & Astington, 2018). Portraits, for example, were carefully crafted to communicate lineage, virtue, and political allegiances, while grand buildings and ceremonial events projected an image of stability and control (Kettering, 2009; Elias, 1983). This aligns with Pierre Bourdieu’s concept of cultural capital, in which symbolic resources are integral to maintaining social distinction (Paulle et al., 2012; Steiner, 2025). The findings corroborate the argument that power in early modern Europe was as much about perception and performance as about legal or hereditary rights (Lamal et al., 2021).

Secondly, the role of education as both a marker and a tool of elite status emerges as a key theme (Grafton, 1991; Kainulainen, 2018; Sander & Sander-Faes, 2024; Mathews, 2025; Steiner, 2025). Humanist curricula and Jesuit schooling did more than impart knowledge; they created a shared

language and set of values among the elite, facilitating transnational networks and diplomatic relations (Lamal et al., 2021; Welch & Astington, 2018). This educational capital served as a passport to positions of influence, allowing individuals to navigate the intricate webs of court and civic life (Derks & Raeymaekers, 2016; Elias, 1983). The evidence from documentary analysis suggests that the cultivation of intellect and manners was deliberately linked to ideals of governance and public service (Scott, 2026; Guillou et al., 2023). Thus, education was not an accessory but a core component of elite identity, shaping both public and private spheres (Paulle et al., 2012; Hennings et al., 2025).

The adaptability of elites in response to shifting political and economic landscapes underscores the fluidity of power structures in this period (Robilliard, 2022; Sander & Sander-Faes, 2024; Steiner, 2025; Welch & Astington, 2018). Rather than being immobilized by the upheavals of state centralization, religious conflict, or mercantile expansion, elites used these changes as opportunities to renegotiate their status (Lamal et al., 2021; Mathews, 2025; Elias, 1983). Strategic marriages, patronage systems, and participation in emerging social spaces—such as salons and coffeehouses—enabled the formation and perpetuation of alliances across traditional boundaries (Carleton College, n.d.; Guillou et al., 2023). This flexibility challenges older historiographical models that depict the aristocracy as rigid and resistant to change, instead portraying early modern elites as agents of innovation and negotiation (Scott, 2026; Hennings et al., 2025).

The findings also highlight the relational nature of elite authority (Kettering, 2009; Sander & Sander-Faes, 2024; Welch & Astington, 2018; Steiner, 2025). Power was rarely exercised in isolation; it was embedded in a web of reciprocal obligations, exchanges, and performances (Derks & Raeymaekers, 2016; Elias, 1983; Mathews, 2025). The ability to foster loyalty, manipulate symbols, and maintain social networks proved as important as formal titles or landholdings (Lamal et al., 2021; Guillou et al., 2023). This is evident in the ways elites interacted with both peers and subordinates, often blurring the lines between patron and client, friend and rival (Hallett, 2003; Hennings et al., 2025). The performative aspect of authority—manifested through rituals, etiquette, and public display—was thus integral to the ongoing negotiation of status and legitimacy (Paulle et al., 2012; Steiner, 2025).

In light of these observations, it becomes clear that the early modern elite experience was characterized by a continual process of self-fashioning and adaptation (Scott, 2026; Sander & Sander-Faes, 2024; Guillou et al., 2023; Mathews, 2025). The documentary evidence points to a conscious awareness among elites of the need to manage appearances, cultivate alliances, and invest in cultural and educational capital (Derks & Raeymaekers, 2016; Hennings et al., 2025; Welch & Astington, 2018). These practices were not static; they evolved in response to external pressures and internal ambitions, reflecting a broader European trend towards the professionalization and diversification of elite roles (Lamal et al., 2021; Elias, 1983; Steiner, 2025).

The implications of this study extend beyond the confines of early modern historiography (Grafton, 1991; Sander & Sander-Faes, 2024; Lamal et al., 2021; Welch & Astington, 2018). Understanding the mechanisms of elite power, representation, and exchange offers valuable insights into the persistence of social hierarchies and the role of culture in legitimizing authority (Hallett, 2003; Guillou et al., 2023; Mathews, 2025; Hennings et al., 2025; Steiner, 2025). The parallels between early modern and contemporary forms of elite self-presentation—such as branding, networking, and performative leadership—suggest that the strategies developed in this period continue to resonate in modern political and social life (Paulle et al., 2012; Elias, 1983).

The reliance on documentary analysis as a methodological approach provides a nuanced perspective on historical processes (Lamal et al., 2021; Derks & Raeymaekers, 2016; Sander & Sander-Faes, 2024; Elias, 1983). By focusing on the surviving traces of elite activity—letters, records, portraits, and architectural plans—the study reconstructs the lived realities of those at the top of the social hierarchy (Scott, 2026; Welch & Astington, 2018). This approach highlights the importance of interdisciplinary research, drawing on art history, political theory, and sociology to build a comprehensive understanding of power dynamics (Hallett, 2003; Guillou et al., 2023; Mathews, 2025).

While the study is necessarily limited by the availability and nature of its sources (Grafton, 1991; Sander & Sander-Faes, 2024; Elias, 1983), the findings underscore the value of integrating documentary evidence with broader theoretical frameworks (Paulle et al., 2012; Steiner, 2025). In addition, adopting comparative approaches could further deepen the analysis of elite power and representation (Lamal et

al., 2021; Welch & Astington, 2018; Mathews, 2025). For example, systematically comparing elite strategies across different European regions or between distinct time periods could illuminate both the diversity and commonalities in how authority was constructed, adapted, and performed (Derks & Raeymaekers, 2016; Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025). Beyond Europe, juxtaposing early modern European elites with their contemporaries elsewhere in the world could highlight global influences and distinct trajectories in the negotiation of power (Robilliard, 2022; Sander & Sander-Faes, 2024). Future research might expand on this work by exploring the experiences of non-elite actors, examining regional variations in elite practices, conducting cross-temporal comparisons, or investigating the impact of global exchanges on European structures of authority (Scott, 2026; Lamal et al., 2021). Such comparative analyses would add nuance and broaden the applicability of our understanding of elite dynamics (Welch & Astington, 2018; Steiner, 2025).

In conclusion, the discussion affirms that early modern European elites were not passive inheritors of privilege, but active participants in the creation and negotiation of their authority (Scott, 2026; Sander & Sander-Faes, 2024; Mathews, 2025; Hennings et al., 2025; Elias, 1983; Steiner, 2025). Through strategic representation, educational investment, and the cultivation of dynamic social networks, they navigated a world in flux, leaving a legacy that continues to inform our understanding of power and society today (Lamal et al., 2021; Hallett, 2003; Guillou et al., 2023; Welch & Astington, 2018).

Conclusion: This study has shown that elite power in early modern Europe was not a simple matter of inherited status, but a dynamic process of performance, adaptation, and negotiation (Lamal et al., 2021; Sander & Sander-Faes, 2024; Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025; Mathews, 2025; Elias, 1983; Steiner, 2025; Welch & Astington, 2018). Through documentary analysis, the research revealed that elites relied on strategic representation—using portraits, ceremonies, and architecture to project their authority and secure their place in the social hierarchy (Guillou et al., 2023; Hennings et al., 2025; Mathews, 2025). Education and cultural capital were equally important, providing both the skills and the shared values necessary for participation in elite networks and the governance of increasingly complex societies (Sander & Sander-Faes, 2024; Mathews, 2025). The ability to form and reshape alliances, embrace new social spaces, and navigate the challenges posed by state centralization and religious upheaval marked these groups' resilience and creativity (Lamal et al., 2021; Elias, 1983).

By situating these findings within a broad scholarly context, this study underscores the significance of symbolic, educational, and social strategies in maintaining elite authority. The results highlight that power was relational and performative, continually maintained through visible acts and social exchanges. Such insights not only enrich our understanding of early modern elites but also provide a framework for analyzing the persistence and transformation of elite power in other historical and contemporary settings. Ultimately, the legacy of early modern European elites lies in their capacity to adapt and reinvent the mechanisms of authority, leaving enduring patterns that continue to shape political and social life today.

Recommendations: Drawing from these findings, future research should further investigate how symbolic, educational, and social strategies contributed to elite authority in early modern Europe (Sander & Sander-Faes, 2024; Lamal et al., 2021; Elias, 1983; Steiner, 2025). Specifically, comparative studies using documentary analysis can provide new insights into the resilience and adaptability of elite groups (Guillou et al., 2023; Welch & Astington, 2018; Mathews, 2025). Researchers are encouraged to explore the influence of material culture, print media, and transnational exchanges on elite power structures (Lamal et al., 2021; Hennings et al., 2025). Additionally, examining the intersection of European elites with global actors and social transformations may illuminate how strategies of representation, education, and alliance-building evolved (Sander & Sander-Faes, 2024; Mathews, 2025). Such approaches hold promise for revealing both continuity and change in elite dynamics across different historical settings.

References

Agricultural employment in Somalia: The nexus of climate change, conflict, and agricultural productivity. (n.d.). https://www.acadlore.com/article/IJEI/2025_8_5/ijei080509

Carleton College. (n.d.). *Coffeehouses during the Enlightenment*. https://www.earlymoderneurope.hist.sites.carleton.edu/items/show/218

Derks, S., & Raeymaekers, D. (2016). *The key to power? The culture of access in princely courts, 1400-1750*. Brill. https://brill.com/display/book/9789004304246/9789004304246_webready_content_text.pdf

Elias, N. (1983). The court society. Pantheon Books.

Grafton, A. (1991). *Defenders of the text: The traditions of scholarship in an age of science, 1450–1800*. Harvard University Press. https://history.princeton.edu/about/publications/defenders-text-traditions-scholarship-age-science-1450-1800

Guillou, L., Safra, L., & Baumard, N. (2023). Using portraits to quantify the changes of generalized social trust in European history: A replication study. PLOS ONE.

Hallett, T. (2003). *Symbolic power and organizational culture*. Sociological Theory, 21(2), 128–149. https://doi.org/10.1111/1467-9558.00181

Hennings, J., Şahin, K., Johnson, C. L., Keliher, M., & Stollberg-Rilinger, B. (2025). Political ceremonies and rituals in the early modern world. Journal of Early Modern History.

Kainulainen, J. (2018). *Virtue and civic values in early modern Jesuit education*. Journal of Jesuit Studies, 5(4), 530–548. https://doi.org/10.1163/22141332-00504003

Kettering, S. (2009). *The patronage power of early modern French noblewomen*. The Historical Journal, 52(1), 1–22. https://doi.org/10.1017/S0018246X00015727

Lamal, N., Cumby, J., & Helmers, H. J. (2021). *Print and power in early modern Europe (1500–1800)*. Brill. https://www.jstor.org/stable/10.1163/j.ctv1v7zbf2

Lamal, N., Cumby, J., & Helmers, H. J. (2021). Print and power in early modern Europe (1500–1800). Brill.

Lancaster University. (n.d.). Mobile methods and the empirical. Lancaster EPrints. https://eprints.lancs.ac.uk/id/eprint/30916/

Mathews, K. R. (2025). Ceremonial, architectural theatricality, and the multisensory cityscape in the medieval and early modern Mediterranean. Arts.

Measurement and analysis of factors influencing carbon emission efficiency in coal-resource-exhausted cities in China. (2026). Sustainability, 18(16), 8080.

Measurement and analysis of factors influencing carbon emission efficiency in coal-resource-exhausted cities in China. (2026). Sustainability, 18(16), 8080.

MENA Report. (2018). Germany: "How trees coexist" – new findings from biodiversity research published in Nature Communications.

Paulle, B., van Heerikhuizen, B., & Emirbayer, M. (2012). *Elias and Bourdieu*. European Journal of Social Theory, 12(1), 3–20. https://doi.org/10.1177/1468795X11433708

Permata Sari, I., Lanin, D., Saputra, B., & Gomes da Cruz Fernandes, B. (2025). Transformative service and public satisfaction: Insights from Indonesia's public service malls. https://core.ac.uk/download/668646188.pdf

Research on pathways to improve carbon emission efficiency of Chinese airlines. (2025). Sustainability, 17(15), 6826.

Robilliard, G. (2022). *Novel, popular, fashionable and partisan: Making coffeehouses 'burgherly' spaces in early modern Hamburg*. Urban History, 51(1), 146–170. https://doi.org/10.1017/S0963926822000311

Sander, S., & Sander-Faes, S. (2024). The composite city: Cities, power elites, and states in early modern European history. De Gruyter.

Scott, H. (2026). *Forming aristocracy: The reconfiguration of Europe's nobilities, 1300–1750*. Oxford University Press. https://academic.oup.com/book/62678

Scott, H. (2026). *Forming aristocracy: The reconfiguration of Europe's nobilities, 1300–1750*. Oxford University Press. https://academic.oup.com/book/62678

Steiner, B. (2025). Body and power: Narratives of the body in early modern political history. Routledge.

Uncover the medieval times: Top 10 events revealed! (n.d.). Retrieved from https://knightstemplar.co/uncover-the-medieval-times-top-10-events-revealed/

Welch, E. R., & Astington, J. H. (2018). A theatre of diplomacy: International relations and the performing arts in early modern France. Renaissance and Reformation.

Yu, J., Yu, J., Lu, M., Lu, M., Wang, K., Ge, J., Xu, Z., & Chen, L. (2024). Decomposing Carbon Intensity Trends in China's Civil Aviation: A Comprehensive Analysis from 1998 to 2019. Aerospace, 11(6), 480.

THE ROLE OF RELIGION IN DEVELOPMENT OUTCOMES IN EMERGING ECONOMIES

Prof. Dr. Ananda MAJUMDAR
Harvard University, USA; MacEwan University, Edmonton, Canada.
ORCID ID: 0000-0003-3045-0056

Abstract
This abstract examines religion in developing countries as a social, cultural, and institutional force shaping development outcomes (Olivier et al., 2015; Duff & Buckingham, 2015; Lipsky, 2011). The aim is to explain how religious beliefs, practices, and organizations influence social welfare, governance, identity, and economic behaviour (Clarke & Jennings, 2008; Marshall & Keough, 2004; Rakodi, 2012). The objectives are to clarify the concept of religion in development, review relevant literature, identify its practical roles, and assess its implications for policy and community transformation (Heist & Cnaan, 2016; Bano, 2009). Existing studies show that religion remains highly significant in many developing contexts, where faith institutions often provide education, health care, charity, moral guidance, conflict mediation, and social support, especially where state capacity is limited (Rakodi, 2012; Tomalin, 2013; Oki, 2025). The conceptual framework links religion to development through values, social capital, institutional trust, collective action, and power relations (Weber, 1930; Rakodi, 2012; Lindenberg, 1999). The study adopts a documentary method, relying on books, journal articles, policy reports, and credible secondary sources to analyze patterns and debates (Heist & Cnaan, 2016). Sources were selected based on their scholarly credibility, preference for peer-reviewed and recent publications, and representation of diverse regions and perspectives to ensure reliability and comprehensive coverage of the topic (Olivier et al., 2015). The outcome indicates that religion can promote development by strengthening solidarity, ethical responsibility, and service delivery, but it may also hinder progress where intolerance, exclusion, or political manipulation occur (Tomalin, 2013; Hamayotsu, n.d.; Sultan et al., 2025). The relevance of the study lies in showing that development planning in religious societies should not ignore faith-based actors (Clarke & Jennings, 2008). Results and findings reveal that religion is most effective when it supports inclusion, peacebuilding, accountability, education, and poverty reduction (Olivier et al., 2015; Sultan et al., 2025). The study concludes that religion is neither automatically progressive nor backward; its impact depends on context, leadership, interpretation, and institutional engagement (Sultan et al., 2025; Lipsky, 2011). It recommends constructive collaboration between governments, development agencies, and faith-based organizations while protecting human rights, pluralism, and social justice (Duff & Buckingham, 2015; Hamayotsu, n.d.).
Keywords: Religion, Developing countries, Development.

Introduction: Religion is a pervasive and influential force in many emerging economies, shaping values, behaviours, and institutions (Clarke & Jennings, 2008; Rakodi, 2012; Olivier et al., 2015). Understanding its multifaceted role is essential for comprehending development outcomes in these societies (Lipsky, 2011). This introduction provides an overview of the complex relationship between religion and development, outlining the ways religious beliefs, practices, and institutions intersect with social, economic, and political processes (Tomalin, 2013; Duff & Buckingham, 2015). It highlights the importance of considering faith-based actors and perspectives in efforts to promote inclusive and sustainable development (Marshall & Keough, 2004; Oki, 2025).

Literature Review: The relationship between religion and development has attracted significant scholarly attention, with studies highlighting both the enabling and constraining roles of religion in emerging economies (Weber, 1930; Rakodi, 2012; Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015; Heist & Cnaan, 2016). Early works, such as Weber's "The Protestant Ethic and the Spirit of Capitalism" (Weber, 1930), explored how religious values could foster economic growth. Subsequent research expanded this inquiry to non-Western contexts, revealing that faith traditions influence social capital, trust, and community engagement across diverse societies (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Lipsky, 2011; Oki, 2025).

Recent literature emphasizes the institutional role of faith-based organizations (FBOs) in providing education, health care, and social services in regions with limited state capacity (Clarke & Jennings, 2008; Marshall & Keough, 2004). Scholars note that FBOs often fill governance gaps, promote social inclusion, and mediate conflicts (Marshall & Keough, 2004; Rakodi, 2012). However, some studies caution that religion can also reinforce exclusion, gender inequality, or sectarianism, depending on interpretation and institutional practices (Tomalin, 2013; Hamayotsu, n.d.).

Comparative analyses suggest that the impact of religion on development is context-dependent, shaped by historical legacies, political frameworks, and local leadership (Tomalin, 2013; Rakodi, 2012). Empirical evidence from Sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America indicates that religious networks can mobilize resources for poverty alleviation and disaster response, yet may also complicate efforts toward pluralism and rights-based development (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008).

The literature reveals a nuanced portrait of religion as both a driver and a constraint in development processes, underscoring the need for contextually aware, inclusive strategies in policy and practice (Tomalin, 2013; Rakodi, 2012).

Methodology: This study adopts a qualitative approach using documentary analysis as the primary method (Tomalin, 2013; Clarke & Jennings, 2008). Data were sourced exclusively from secondary sources, including academic books, peer-reviewed journal articles, policy reports, and reputable online resources on religion and development in emerging economies (Rakodi, 2012). Sources were selected for their scholarly credibility, recency, and relevance to the research topic, with an emphasis on peer-reviewed, widely cited literature that represents diverse regions and perspectives (Marshall & Keough, 2004). No primary data collection was undertaken; interviews and surveys were deliberately excluded to focus on the depth and breadth of existing scholarship. While this approach enables a comprehensive understanding of the topic grounded in established research, it is important to acknowledge that excluding primary data may limit insight into contemporary, lived experiences or emerging dynamics not yet captured in published sources. The analysis entailed systematically reviewing, categorizing, and synthesizing published materials to identify key themes, debates, and patterns within the literature (Tomalin, 2013). This strategy ensures that findings reflect a wide range of perspectives and contexts drawn from credible documentary sources. However, further research incorporating primary data may be necessary to complement the insights provided here.

Conceptual Framework: A conceptual framework for understanding the relationship between religion and development in emerging economies must account for the varied and dynamic ways in which religion shapes societal outcomes (Weber, 1930; Rakodi, 2012; Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015). Religion is not merely a belief system but operates as a multifaceted force influencing values, behaviours, institutions, and power relations (Rakodi, 2012; Lipsky, 2011). At the individual and collective level, religious beliefs and teachings instil ethical standards and social norms that guide behaviours related to education, health, economic participation, and social justice (Tomalin, 2013; Duff & Buckingham, 2015). These shared values can foster a sense of responsibility, charity, and cooperation, which are essential for collective action and community resilience, especially where formal state structures are weak or absent (Clarke & Jennings, 2008; Oki, 2025).

Religious communities often serve as networks of social capital, building trust and reciprocity among members and sometimes bridging divides between different social groups (Rakodi, 2012). Faith-based organizations frequently command high levels of trust and legitimacy, positioning them as effective intermediaries between local populations and the state (Clarke & Jennings, 2008). This can enhance service delivery, facilitate conflict mediation, and increase acceptance of policies aimed at improving social welfare (Marshall & Keough, 2004). The organizational capacity and moral authority of religious groups also enable them to mobilize resources and galvanize grassroots movements for poverty alleviation, humanitarian response, and peacebuilding in divided societies (Tomalin, 2013).

However, the influence of religion on development is not universally positive (Tomalin, 2013; Hamayotsu, n.d.). The same structures that enable collective action and cohesion can also reinforce exclusion, hierarchy, or sectarianism, depending on how doctrines are interpreted and practiced. Power relations and political frameworks interact with religious institutions in complex ways—sometimes supporting inclusive development and social justice, but at other times entrenching existing inequalities or legitimizing exclusionary practices (Sultan et al., 2025).

This conceptual approach recognizes that the effects of religion on development are highly context-dependent (Rakodi, 2012; Tomalin, 2013). Historical legacies, leadership dynamics, interpretations of doctrine, and the interplay between religious and secular actors all shape outcomes (Clarke & Jennings, 2008). By viewing religion as a dynamic and context-sensitive force, this framework provides a lens for analyzing both its enabling and constraining effects (Tomalin, 2013). Ultimately, a nuanced conceptualization of religion's role is essential for developing inclusive policies and practices that harness its constructive potential while addressing its risks in the pursuit of equitable and sustainable development (Marshall & Keough, 2004).

Results and Findings: The analysis of documentary sources reveals several significant patterns in the role of religion within development outcomes in emerging economies (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Sultan et al., 2025; Olivier et al., 2015; Duff & Buckingham, 2015). First, faith-based organizations (FBOs) consistently emerge as key providers of education, health care, and social welfare, especially in contexts where government capacity is limited (Marshall & Keough, 2004; Oki, 2025). Their grassroots presence allows them to reach marginalized populations and address basic needs efficiently (Heist & Cnaan, 2016). Second, religious institutions foster trust, solidarity, and collective action, which are instrumental in community mobilization for development projects, disaster response, and poverty alleviation (Clarke & Jennings, 2008; Tomalin, 2013; Lipsky, 2011). These benefits are most pronounced when institutions promote inclusivity and cross-group collaboration (Hamayotsu, n.d.; Bano, 2009). Third, in societies marked by conflict or political instability, religious leaders and organizations often play pivotal roles in mediation, reconciliation, and peacebuilding (Sultan et al., 2025; Githigaro, 2012). Their moral authority can bridge divides and support social healing, though outcomes depend on leadership and interpretation of religious teachings (Marshall & Keough, 2004). However, religion can also perpetuate social exclusion, gender inequalities, or sectarian conflict if doctrinal interpretations are exclusionary or politicized (Tomalin, 2013; Hamayotsu, n.d.; Lindenberg, 1999). The influence of religious actors may complicate efforts to promote pluralism or enforce universal human rights (Tomalin, 2013; Ruiz Andrés, 2023).

The developmental role of religion is not only context-dependent but also shaped by regional and tradition-based differences (Rakodi, 2012; Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015). For instance, in Sub-Saharan Africa, Christian churches are noted for their strong involvement in health and education sectors (Olivier et al., 2015). In contrast, Islamic charities in parts of South Asia and the Middle East frequently focus on poverty alleviation and humanitarian relief (Clarke & Jennings, 2008; Mylek & Nel, 2010). In Latin America, liberation theology has inspired faith-based approaches to social justice and grassroots mobilization, while Buddhist organizations in Southeast Asia often emphasize peacebuilding and community welfare (Tomalin, 2013; Githigaro, 2012). These variations reflect differing religious traditions, institutional structures, and historical experiences, leading to distinct patterns of engagement in the development process (Hamayotsu, n.d.; Sultan et al., 2025).

Lastly, the overall impact of religion is not uniform; it is shaped by cultural, historical, and institutional factors unique to each society and tradition (Tomalin, 2013; Heist & Cnaan, 2016). Successful development interventions often recognize and engage with these contextual nuances, leveraging the constructive capacities of religious actors while mitigating potential risks (Marshall & Keough, 2004; Duff & Buckingham, 2015). Overall, the findings indicate that religion is most effective in advancing development when it supports inclusion, ethical governance, education, peacebuilding, and poverty reduction, but negative outcomes arise when religion is manipulated for political ends or becomes a source of division (Sultan et al., 2025; Hamayotsu, n.d.). These insights underscore the importance of nuanced, context-sensitive engagement with religious institutions in development policy and practice (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Bano, 2009).

Religion is a deeply embedded force in the social, cultural, and institutional fabric of emerging economies (Clarke & Jennings, 2008; Rakodi, 2012). The documentary analysis demonstrates that while religion can catalyze development through service provision, social capital, and peacebuilding, it can also pose challenges where exclusion or politicization occur (Tomalin, 2013). The relationship between religion and development is neither inherently progressive nor regressive but is shaped by context, leadership, and interpretation (Sultan et al., 2025). Policy interventions are most effective when they constructively engage faith-based actors while safeguarding pluralism, human rights, and social justice

(Hamayotsu, n.d.; Marshall & Keough, 2004). Recognizing the dynamic and multifaceted nature of religion is essential for inclusive and sustainable development in religiously diverse societies (Tomalin, 2013).

Discussion: Religion plays a complex, deeply embedded role in shaping development outcomes in emerging economies (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Olivier et al., 2015; Lipsky, 2011). Rather than adopting a simplistic or binary approach, a nuanced analysis connects the findings to broader theoretical debates, practical challenges, and policy implications (Tomalin, 2013; Heist & Cnaan, 2016). Religion emerges as a powerful social institution, shaping collective values, norms, and behaviours in ways that directly impact development trajectories (Marshall & Keough, 2004; Duff & Buckingham, 2015). In many contexts where state institutions are weak or absent, faith-based organizations fill critical gaps by providing essential services such as education, healthcare, and social welfare (Clarke & Jennings, 2008; Oki, 2025). This aligns with social capital theories, which argue that dense networks of trust and reciprocity—often fostered within religious communities—are vital for collective action and sustainable development (Rakodi, 2012; Sultan et al., 2025). The effectiveness of faith-based organizations in reaching marginalized groups underscores the importance of leveraging local legitimacy and trust in development planning (Tomalin, 2013; Bano, 2009).

Religious teachings and institutions provide ethical frameworks that encourage cooperation, charity, and social responsibility (Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015). These values motivate individuals and communities to participate in development initiatives, from poverty reduction programs to disaster relief efforts (Marshall & Keough, 2004; Heist & Cnaan, 2016). The example of Sub-Saharan Africa, where churches have historically led health campaigns and education drives, exemplifies this dynamic (Clarke & Jennings, 2008; Lipsky, 2011). However, religion's ability to catalyze positive change is not guaranteed; it depends on inclusivity, leadership, and the interpretive traditions of specific religious actors (Hamayotsu, n.d.; Sultan et al., 2025; Bano, 2009).

While religion can drive positive change, it can also serve as a constraint (Tomalin, 2013; Rakodi, 2012; Lindenberg, 1999). When doctrines are interpreted in exclusionary or politicized ways, they may entrench social divisions, gender inequalities, or sectarian conflict (Hamayotsu, n.d.; Lipsky, 2011). This echoes critiques by scholars who warn against romanticizing religion's role in development (Sultan et al., 2025; Oki, 2025). For example, in some contexts, religious institutions have resisted gender equality reforms or contributed to the marginalization of minority groups (Tomalin, 2013; Heist & Cnaan, 2016). The intersection of religion and politics further complicates matters, particularly when religious legitimacy is leveraged by political elites for personal or partisan gain (Rakodi, 2012; Sultan et al., 2025). These tensions highlight the need for critical engagement with the diversity of religious perspectives and practices within any society (Marshall & Keough, 2004; Duff & Buckingham, 2015). Understanding the historical legacies and power dynamics that shape religious authority is essential for anticipating both the constructive and obstructive roles religion may play in development processes (Clarke & Jennings, 2008; Bano, 2009).

A key theme from the documentary analysis is the contextual variability of religion’s impact (Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015). There is no universal blueprint for harnessing religion in development; outcomes are shaped by local histories, institutional arrangements, and leadership dynamics (Rakodi, 2012; Heist & Cnaan, 2016). Comparative studies from South Asia, Latin America, and Africa demonstrate that religious actors can be both agents of peace and sources of conflict, depending on the context (Hamayotsu, n.d.; Sultan et al., 2025; Githigaro, 2012). This reinforces the importance of context-sensitive approaches that recognize the pluralistic, dynamic, and contested nature of religious engagement (Clarke & Jennings, 2008; Bano, 2009). Development practitioners and policymakers must therefore avoid one-size-fits-all strategies. Instead, they should map the religious landscape, engage a broad spectrum of faith-based and secular actors, and remain attuned to shifting alliances and narratives (Duff & Buckingham, 2015). Engaging women’s religious organizations, youth groups, and minority faiths can help build more inclusive coalitions for development (Marshall & Keough, 2004; Sultan et al., 2025).

The practical implications of these findings are significant (Marshall & Keough, 2004; Tomalin, 2013; Olivier et al., 2015). Governments and development agencies should recognize faith-based organizations as legitimate and influential partners, particularly in settings where formal state capacity is limited (Clarke & Jennings, 2008; Heist & Cnaan, 2016). Constructive engagement involves more than simply channelling funds to religious organizations; it requires building mutual understanding, establishing accountability mechanisms, and ensuring alignment with human rights and broader development goals (Rakodi, 2012; Lindenberg, 1999). Policies must safeguard pluralism and protect against the co-optation of religion for exclusionary or political ends (Hamayotsu, n.d.; Duff & Buckingham, 2015). This means supporting regulatory frameworks that uphold freedom of religion or belief while preventing discrimination or hate speech (Tomalin, 2013; Ruiz Andrés, 2023). Development programming should also include monitoring systems to identify and respond to instances where religious actors may undermine social cohesion or human rights (Sultan et al., 2025; Bano, 2009). There is also a need for ongoing dialogue and partnership-building among governments, faith-based organizations, community leaders, and secular civil society organizations (Marshall & Keough, 2004; Oki, 2025). Platforms for interfaith and cross-sectoral collaboration can help mitigate tensions and foster shared ownership of development outcomes (Clarke & Jennings, 2008; Githigaro, 2012). For instance, the partnership between the Kenyan Ministry of Health and faith-based hospitals to expand HIV/AIDS care provides a concrete example of successful collaboration, in which religious organizations leveraged their networks to deliver health services in underserved areas (Olivier et al., 2015). At the same time, government agencies ensured standards and oversight. Similarly, Indonesia's National Strategy for Strengthening Religious Harmony has brought together government officials and interfaith councils to develop joint strategies for conflict resolution and community development, demonstrating the value of contextually tailored policies that engage religious actors as constructive partners (Sultan et al., 2025, pp. 95-107; Heist & Cnaan, 2016).

While this documentary analysis provides valuable insights, it is not without limitations (Tomalin, 2013; Heist & Cnaan, 2016). The reliance on secondary sources may obscure the lived experiences of communities and grassroots actors (Oki, 2025). Future research could complement documentary analysis with ethnographic fieldwork or concrete participatory methods, such as in-depth interviews, focus groups, participant observation, or case studies, to capture local voices and perspectives more effectively (Rakodi, 2012; Bano, 2009). Additionally, more comparative studies across religious traditions, regions, and development sectors would help refine our understanding of how and why religion matters in development (Clarke & Jennings, 2008; Sultan et al., 2025).

In summary, religion is a multifaceted and dynamic force in emerging economies (Tomalin, 2013; Rakodi, 2012; Olivier et al., 2015). It can enable or constrain development, depending on context, interpretation, and institutional engagement (Sultan et al., 2025; Lindenberg, 1999). The challenge for policymakers and practitioners is to engage religious actors constructively, maximize their positive contributions, and guard against potential risks (Marshall & Keough, 2004; Duff & Buckingham, 2015). By foregrounding the complexities and contingencies of religious engagement, this analysis contributes to a more balanced and policy-relevant understanding of religion's role in development (Clarke & Jennings, 2008; Hamayotsu, n.d.; Heist & Cnaan, 2016).

Conclusion: Religion remains an influential and dynamic force in the development of emerging economies (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Olivier et al., 2015). Its impact is neither uniformly positive nor negative but is shaped by context, leadership, and how religious teachings and institutions engage with society (Tomalin, 2013; Sultan et al., 2025). Faith-based organizations often provide essential services, promote social cohesion, and contribute to peacebuilding, especially where state capacity is weak (Marshall & Keough, 2004; Sultan et al., 2025; Lipsky, 2011). At the same time, religion can present challenges when it becomes a source of exclusion, conflict, or politicization (Hamayotsu, n.d.; Lindenberg, 1999). Effective development strategies must recognize and constructively engage with religious actors, ensuring that efforts to advance social welfare, human rights, and inclusive growth are context-sensitive and grounded in pluralism (Rakodi, 2012; Duff & Buckingham, 2015). Continued research and open dialogue among governments, civil society, and faith-based organizations are essential to harnessing the constructive potential of religion while mitigating its risks (Tomalin, 2013; Heist & Cnaan, 2016).

Ultimately, a nuanced understanding of religion's role can support more equitable, resilient, and sustainable development outcomes in diverse societies (Clarke & Jennings, 2008; Marshall & Keough, 2004; Sultan et al., 2025).

Recommendations: Based on the analysis, several recommendations can guide policymakers, development agencies, and civil society actors working in emerging economies.

First, governments and international organizations should prioritize constructive engagement with faith-based organizations, recognizing their capacity to reach marginalized communities and deliver essential services, especially where state provision is limited (Clarke & Jennings, 2008; Marshall & Keough, 2004; Rakodi, 2012; Olivier et al., 2015). Such engagement should be structured around mutual respect, clear accountability mechanisms, and alignment with broader development and human rights goals (Tomalin, 2013; Hamayotsu, n.d.).

Second, development strategies and interventions should be context-sensitive, taking into account the specific religious landscape, cultural histories, and power dynamics of each society (Rakodi, 2012; Tomalin, 2013; Sultan et al., 2025). Policymakers should avoid one-size-fits-all approaches and instead foster inclusive dialogue with a diverse range of religious and secular actors, including women's groups, youth, and minority faith communities (Clarke & Jennings, 2008; Bano, 2009).

Third, safeguarding pluralism and protecting against the politicization or exclusionary use of religion are crucial (Hamayotsu, n.d.; Sultan et al., 2025; Duff & Buckingham, 2015). Regulatory frameworks should uphold freedom of religion or belief, prevent discrimination, and address hate speech (Tomalin, 2013; Ruiz Andrés, 2023). Monitoring and evaluation systems are necessary to ensure that religious engagement supports, rather than undermines, social cohesion and rights-based development (Marshall & Keough, 2004; Heist & Cnaan, 2016).

Fourth, investment in interfaith and cross-sectoral partnerships can help bridge divides, build trust, and promote shared ownership of development outcomes (Clarke & Jennings, 2008; Sultan et al., 2025; Olivier et al., 2015). Ongoing dialogue between governments, faith-based organizations, and civil society can foster mutual understanding and innovative solutions to complex developmental challenges (Marshall & Keough, 2004; Tomalin, 2013; Githigaro, 2012).

Finally, researchers and practitioners should continue to study the evolving relationship between religion and development, using both documentary and participatory methods to capture local perspectives (Rakodi, 2012; Clarke & Jennings, 2008; Heist & Cnaan, 2016). Such ongoing inquiry will deepen understanding and help inform more effective, equitable, and sustainable policy and practice (Tomalin, 2013; Bano, 2009).

References

Clarke, G., & Jennings, M. (2008). *Development, civil society and faith-based organizations: Bridging the sacred and the secular.* Palgrave Macmillan.

Marshall, K., & Keough, L. (Eds.). (2004). *Mind, heart, and soul in the fight against poverty.* World Bank Publications.

Rakodi, C. (2012). Religion, religious organizations and development: Scrutinizing religious actors as development partners. In C. Rakodi (Ed.), Religion, religious organizations and development (pp. 3–32). Routledge.

Tomalin, E. (2013). *Religions and development.* Routledge.

Tomalin, E. (2013). *Religions and development.* Routledge. https://www.routledge.com/Religions-and-Development/Tomalin/p/book/9780203831175

Hamayotsu, K. (n.d.). *Religion and political regimes in Southeast Asia: What do we know? In Handbook of autocratization in Southeast Asia*. https://www.routledge.com/Handbook-of-Autocratization-in-Southeast-Asia/Tan-Kasuya/p/book/9780367330190

Sultan, M. H., Pirol, A., & Salmilah, S. (2025). *Strategies of the National Unity and Politics Agency in strengthening religious harmony*. International Journal of Educational Administration, 6(1), 95–107. https://doi.org/10.51629/ijeamal.v6i1.242

Weber, M. (1930). *The Protestant ethic and the spirit of capitalism* (T. Parsons, Trans.). Allen & Unwin. (Original work published 1905)

Olivier, J., Dimmock, F., Coulombe, H., Tsimpo, C., Mills, E. J., Haakenstad, A., Nguyen, M. C., Gemignani, R., Hines, H., Shojo, M., Dieleman, J. L., & Wodon, Q. (2015). *Understanding the roles of faith-based health-care providers in Africa: Review of the evidence with a focus on magnitude, reach, cost, and satisfaction. The* Lancet.

Duff, J., & Buckingham, W. W. (2015). *Strengthening of partnerships between the public sector and faith-based groups*. The Lancet.

Lipsky, A. (2011). *Evaluating the strength of faith: Potential comparative advantages of faith-based organizations providing health services in sub-Saharan Africa.* Public Administration and Development.

Sultan, M. H., Pirol, A., & Salmilah, S. (2025). *Strategies of the National Unity and Politics Agency in strengthening religious harmony*. International Journal of Educational Administration, 6(1), 95–107. https://doi.org/10.51629/ijeamal.v6i1.242

Clarke, G., & Jennings, M. (2008). *Development, civil society and faith-based organizations: Bridging the sacred and the secular.* Palgrave Macmillan.

Bano, M. (2009). *Religion in development*.

Heist, D., & Cnaan, R. A. (2016). *Faith-based international development work: A review*. Religions.

Oki, O. J. (2025). *Economic sustainability of faith-based organizations in sub-Saharan Africa: A critical literature review.*

Lindenberg, M. (1999). *Declining state capacity, voluntarism, and the globalization of the not-for-profit sector*. Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly.

Green, M. C. (2014). *From social hostility to social media: Religious pluralism, human rights, and democratic reform in Africa*. Social Science Research Network.

Fokas, E. (2015). *Directions in religious pluralism in Europe: Mobilizations in the shadow of European Court of Human Rights religious freedom jurisprudence*. Oxford Journal of Law and Religion.

Ruiz Andrés, R. (2023). *Human rights and religions: An overview on a controversial relationship*. Religions.

Marshall, K., & Keough, L. (Eds.). (2004). *Mind, heart, and soul in the fight against poverty.* World Bank Publications.

The church as an agent of change: Alleviating poverty among its members. (2025). *Greener Journal of Social Sciences*.

Githigaro, J. M. (2012). *Faith-based peacebuilding: A case study of the National Council of Churches of Kenya*. Peace and Conflict Studies.

Mylek, I., & Nel, P. (2010). *Religion and relief: The role of religion in mobilizing civil society against global poverty*. Kotuitui: New Zealand Journal of Social Sciences Online.

DEVASTATION DUE TO EARTHQUAKE IN THE NORTHWESTERN AND CENTRAL VENEZUELA DURING JUNE 2026 AND ITS CONSEQUENCES IN THE MINDFULNESS OF THE CITIZENS

Dean Dr. Parrakal Satishchandra MENON
Faculty of Management, SRM Institute of Science and Technology, Vadapalani Campus, Chennai, India.

Assoc. Prof. Dr. Senbagavalli M
School of Engineering, Alliance University, Bangalore, India.

Abstract
Devastation due to earthquake in Northwestern and Central Venezuela during June 2026 and its consequences in the Mindfulness of the citizens.
Mindfulness is the practice of being aware of your body, mind, and feelings in the present moment, thought to create a feeling of calm.
This study aimed at bringing the situation of earthquake in June 2026 in Northwestern and Central Venezuela and to show how people practiced mindfulness in uncertain conditions caused by Mother Nature.
The study focused first on the real-life scenario of the situation in June 2026 where it concentrated on the devastation caused by the earthquake to the life of human beings and the properties and other assets of the public.
It also emphasizes the help given by the local community of cities of Northwestern and Central Venezuela to the public and how the public has sustained themselves for a couple of days without necessary amenities.
The next part focused on how the emergency services were responding to the calls from several people and how they were trying to answer and keep the public calm for all the messages and calls for earthquake -related issues. It also focuses on the ambulatory services, Police services for their swift action.
The last part focused on mindset and the mindfulness people practiced resulting in becoming calmer and more composed by the people of Northwestern and Central Venezuela
Keywords: Earthquake, Debris, Traffic Jam, Emergency

CONSTRUCTING WOMANHOOD IN LEBANESE JEWELRY ADVERTISING: CELEBRITY ENDORSEMENT VERSUS EMOTIONAL BRANDING

Assoc. Prof. Josiane El Khoury
University of Balamand, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mass Media and Communications, Koura, Lebanon.
ORCID ID: 0009-0006-3263-1052

Abstract
Luxury advertising extends beyond promoting products to constructing symbolic meanings, cultural identities, and emotional relationships between brands and consumers. Within the jewelry sector, branding strategies play a pivotal role in shaping perceptions of femininity, consumer aspirations, and identity formation. This study investigates how luxury jewelry advertising constructs female archetypes through different branding approaches, drawing on McCracken's Meaning Transfer Model [1], Gobé's Emotional Branding Theory [2], and Jung's Archetype Theory [3]. Adopting a qualitative comparative case study approach, the research examines how celebrity endorsement and emotional branding function as complementary mechanisms for transferring symbolic value, fostering emotional attachment, and influencing consumer psychology. Rather than viewing advertising solely as a commercial communication tool, the study conceptualizes it as a cultural discourse that reflects and negotiates broader social understandings of womanhood, identity, and empowerment. The findings demonstrate that branding strategies influence not only purchase intentions and brand equity but also the cultural construction of feminine identities through archetypal narratives and emotionally driven storytelling. By integrating consumer psychology, branding theory, and gender representation within the framework of Sustainable Development Goal 5 (Gender Equality), the study contributes to contemporary discussions on ethical advertising, luxury branding, and the social responsibility of marketing communication. It further highlights the growing importance of culturally sensitive branding strategies that balance commercial effectiveness with inclusive and empowering representations of women.
Keywords: Gender Equality (SDG 5), Female Archetypes, Consumer Psychology, Cultural Narratives, Celebrity Endorsement, Emotional Branding, Jewelry Advertising, Representation of Women, Identity Construction

BARRIERS TO VOLUNTEERING AMONG SOCIAL WORKERS IN THE HEALTH SECTOR: A QUALITATIVE STUDY FROM MOROCCO

Laila MRABTI
Social Work Department, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Fez, Fez, Morocco.
ORCID ID: 0000-0003-2916-2196

Said ZERRAD
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Fedwa NEJJAR
Social Work Department, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques of Fez, Fez, Morocco.

Hakima ELHATRI
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.

Abstract
Volunteering plays an important role in strengthening social support, humanizing care, and improving access to services within health systems. However, the participation of social workers in voluntary activities remains insufficiently documented, particularly in the Moroccan health sector. This study aims to explore the barriers that limit social workers' engagement in volunteering within healthcare institutions in Morocco. A qualitative approach was adopted, based on semi-structured interviews with social workers practicing in the health sector. The interviews explored their perceptions of volunteering, professional experiences, institutional constraints, motivations, and the factors that hinder or facilitate voluntary engagement. The data were analyzed thematically in order to identify recurring patterns and meanings emerging from participants' narratives.
The findings show that barriers to volunteering are multidimensional. At the institutional level, social workers reported a lack of formal recognition of voluntary work, limited organizational support, insufficient resources, and the absence of clear frameworks regulating volunteering within healthcare settings. At the professional level, heavy workload, role ambiguity, administrative responsibilities, and emotional exhaustion reduced their capacity to engage in additional unpaid activities. At the social and cultural levels, limited public understanding of the social work profession and weak volunteering culture within some institutional environments also affected participation. Despite these challenges, participants emphasized that volunteering could contribute to more humane and responsive healthcare services if supported by appropriate institutional mechanisms.
The study highlights the need to promote structured, recognized, and ethically guided forms of volunteering in the health sector. Strengthening institutional support, clarifying the role of social workers, and valuing voluntary engagement may enhance the contribution of social work to patient support and community health.
Keywords: Social work; volunteering; health sector; qualitative study; Morocco; institutional barriers.

EXCESS AS AN ENGINE: FACEBOOK COMMENT LOGORRHEA AND THE PRODUCTION OF HYPERBOLE—A DISCOURSE ANALYSIS OF HUNGARIAN POLITICAL THREADS

Andits PETRA, Phd
Institute for Sociology
Slovak Academy of Sciences

Abstract
This article examines Facebook comment logorrhea as a rhetorical mode shaped by the platform's affordances rather than a symptom of rambling speech. Drawing on a corpus of Hungarian political comments, the article reveals how accumulation, paratactic sequencing, and numerical ballast create escalating hyperbole that converts moral critique into a totalizing vision. The study develops a methodological model of excess: length functions as conviction, and repetition replaces logical progression. Facebook's architecture encourages this dynamic, rewarding density and elongation. Logorrhea thus emerges as both an affective and epistemic practice, transforming outrage into evidence and intensity into proof. By reframing verbosity as an infrastructure-enabled mode of persuasion in contemporary networked discourse, this article contributes to digital rhetoric and affective communication theories.

SLANG AND ITS IMPLICATION TOWARDS EFFECTIVE COMMUNICATION

Nasiru Musa PhD
Senior Lecturer at Federal College of Horticulture Dadin Kowa Gombe, Nigeria.

ABSTRACT

Slang, being an informal language variant, is prominent among youth, often associated with the speech of individuals involved in criminality, social vices, and questionable characters, as well as young students. It seems to suffer social stigma not only among speech communities but also linguists and lexicographers, as they believe that the language variant is often associated with overtly impertinent behaviour. However, in spite of this social stigma, it continues to spread amongst youth, especially students who consider it a tool that brings breathing life to language development. Communication in slang, although effective and intelligible among members of the discourse community, leads to misconstructions of concepts or ideas, which eventually causes implications towards effective comprehension by other students in the same environment. Given this, the paper attempts to explore the youth's language practices by particularly looking at slang usage across college students from diverse socioeconomic and cultural backgrounds in order to establish the impediments it causes towards effective communication. To achieve this, the researcher administered questionnaires to the 155 respondents who were sampled from the total population of two hundred and sixty-three. Besides, the interview was conducted with twenty selected students among the 155 sampled respondents to complement and clarify data obtained from the written questionnaires. The study considers slang as a register according to use and a language variant specially adopted by social groups where users share discourse conventions, habit of language use and patterns of their interactions in various social contexts which includes school, hence, Halliday's theory of classifying registers according to the dimensions of Field, Tenor and Mode as well as Discourse Community authored by Patricia Bizzel were adopted for the study. The study discovers that although youths from different ethnic, socioeconomic, and cultural backgrounds adopt slang usage in their conversations, contexts, social affinity, societal norms and values. The study has identified that slang usage amongst youth is sometimes regarded as impediments to effective communication. It also discovered that despite the fact that the language variety had fulfilled certain communicative goals, slang expressions had brought about unclarity in some speeches thereby hampering effective communication to not only the uninitiated but also to some group members.

Keywords: determinants, impediments, socioeconomic, cultural background

LEGAL LITERACY BEFORE MARRIAGE: RETHINKING PREMARITAL EDUCATION IN MALAYSIA[1]

Associate Professor Zuliza Mohd Kusrin
Shariah Research Centre, Faculty of Islamic Study, Universiti Kebangsaan Malaysia
ORCID NO: 0000-0003-4775-3256

Dr Aishah Mohd Nor
Shariah Research Centre, Faculty of Islamic Study, Universiti Kebangsaan Malaysia
ORCID NO: 0000-0002-0586-2764

ABSTRACT
Marriage creates not only a personal and religious relationship but also a legal relationship that gives rise to enforceable rights, responsibilities and consequences. In Malaysia, premarital education has been institutionalised as part of the preparation for Muslim marriage. While the existing premarital course introduces prospective spouses to marriage procedures, spousal responsibilities, financial management, conflict management and dissolution of marriage, an important question remains as to whether exposure to legal information is sufficient to develop practical understanding of the legal consequences of marriage. This paper examines the role of legal literacy within Islamic premarital education in Malaysia. Using a qualitative legal research approach, the study analyses relevant Islamic family law principles and provisions, premarital education materials and selected literature on marriage preparation and legal literacy. The study finds that the existing Malaysian premarital education framework provides an important preventive platform through which prospective spouses are exposed to the legal dimensions of marriage before marital rights and responsibilities arise in practice. Its significance lies not only in providing information, but also in creating early awareness of marital obligations, legally protected rights, potential harm and available remedies. The paper argues that legal literacy within premarital education should therefore be understood as a form of preventive legal education. By introducing legal understanding before problems occur, premarital education may contribute to more responsible marital conduct, earlier recognition of legally significant problems and better awareness of appropriate assistance. In this respect, the Malaysian premarital education framework represents an important preventive approach to preparig prospective spouses for both the religious and legal realities of married life
Keywords: legal literacy; premarital education; Islamic family law; legal prevention; marital rights; Malaysia.

INTRODUCTION
Marriage is one of the most significant transitions in an individual's life. In Islam, marriage is not merely a private contractual arrangement but an institution associated with tranquillity (*sakinah*), affection (*mawaddah*) and mercy (*rahmah*), as reflected in Qur'an 30:21. At the same time, marriage creates reciprocal rights and responsibilities. The Qur'an requires spouses to live together according to ma‘ruf (Qur'an 4:19) and recognises reciprocal marital rights according to what is reasonable (Qur'an 2:228).Marriage therefore combines religious, social and legal dimensions.
From the legal perspective, marriage changes the status of the parties and creates consequences that did not exist before the marriage. Upon marriage, spouses acquire rights and assume obligations concerning maintenance, marital conduct, children, property and other aspects of family life. Islamic family law further regulates the formation and registration of marriage, marital responsibilities, dissolution and remedies where marital obligations are breached. Prospective spouses are therefore not simply preparing for a wedding. They are preparing to enter a new legal relationship.
Malaysia has institutionalised Islamic premarital education as part of its approach to preparing Muslims for marriage. The ‘Modul Bersepadu Kursus Praperkahwinan Islam’ (MBKPI) provides an organised framework through which prospective spouses are introduced to various aspects of married life.

[1] This paper is for the 12th International Innovative Studies and Contemporary Scientific Research Congress (TOKYO SUMMIT 2026), which will be held in Tokyo, Japan, on August 27-30, 2026.

The module includes Islamic worldview, marriage, marriage procedures, responsibilities of husband and wife, communication, financial management, health, stress and conflict management, dissolution of marriage, and the marriage ceremony.

JAKIM undertook three rounds of MBKPI content review during 2025, expressly stating that the ten areas were being updated to ensure that they remained relevant to current participants. Islamic Affairs Division (JAKIM) also continued structured training for MBKPI speakers, demonstrating the institutional nature of the programme. This paper argues that the significance of this existing framework extends beyond general preparation for married life. Because several components concern rights, responsibilities, procedures, financial obligations and dissolution, premarital education also provides an important opportunity for 'preventive legal literacy'. Legal understanding acquired before marriage can perform a preventive function because it enables prospective spouses to understand the legal consequences of marriage before legal problems arise.

LITERATURE REVIEW ON PREMARITAL EDUCATION AS PREPARATION FOR MARRIAGE

Premarital education is generally based upon a simple preventive proposition. Preparation should occur before couples encounter the responsibilities and challenges of married life. The transition into marriage may require individuals to adjust to new interpersonal, emotional, financial and familial responsibilities. Knowledge and skills acquired before marriage may therefore provide prospective spouses with greater preparedness for circumstances they may subsequently encounter. Stanley (2001) was among the influential scholars who articulated the preventive rationale for premarital education. He argued that premarital education may provide several benefits, including encouraging couples to deliberate more carefully about marriage, reinforcing the seriousness of marital commitment, exposing couples to skills relevant to marriage and informing them about avenues through which assistance may later be obtained. Importantly, prevention in this context should not be interpreted as a guarantee that premarital education will prevent divorce. Marital breakdown is a complex phenomenon involving multiple individual, relational and structural factors. The more defensible proposition is that premarital education may reduce certain risk factors and improve particular competencies that are useful within marriage.

Stanley et. al. (2006), using a large random household survey, found that participation in premarital education was associated with higher marital satisfaction and commitment, lower conflict and reduced odds of divorce. The findings were observed across different racial, income and educational groups. Since the study was observational, however, the findings establish association rather than proving that participation itself caused these outcomes.

A meta-analysis conducted by Fawcett et. al. (2010) provides an important qualification. Analysing 47 studies, the researchers found mixed evidence regarding the effect of premarital education on overall relationship quality and satisfaction. More consistent benefits, however, were identified in relation to couple communication. The study therefore cautions against broad claims about the effectiveness of premarital education while supporting its potential to improve specific relationship competencies.

This more nuanced interpretation is supported by subsequent research. Javadivala et al. (2021), in a systematic review and meta-analysis of marriage and relationship programmes, identified beneficial effects in some areas of relationship communication and satisfaction, although results varied according to programme type and gender and showed considerable heterogeneity. More recent research similarly illustrates the potential of structured premarital interventions. Asadpour et. al. (2025), for example, reported improvements in constructive communication and conflict-management strategies among engaged couples participating in a structured premarital intervention. The culturally specific and relatively small sample requires caution in generalising the findings, but the study reinforces the broader proposition that the period before marriage provides an educational opportunity for developing competencies that may subsequently assist couples.

RESEARCH PROBLEM

Premarital education has traditionally been associated with preparation for the interpersonal and practical demands of marriage. Research has consequently focused considerably on communication, relationship quality, conflict management and marital satisfaction. This preventive orientation is well

established in marriage-education literature. Blanchard et al. (2009), in a meta-analysis involving 143 evaluation studies, found modest evidence that marriage and relationship education could function as universal as well as selective prevention, particularly in relation to communication outcomes. Fawcett et al. (2010), examining 47 premarital education studies, reached more cautious conclusions regarding overall relationship satisfaction but found more consistent evidence of improvement in couple communication. These findings are important because they demonstrate that the value of premarital education should not be judged solely according to whether it prevents divorce. Its significance may also lie in preparing individuals with knowledge and competencies before marital challenges arise.

Marriage creates legal consequences from the moment the marital relationship is established. Yet individuals frequently become aware of family law only after difficulties arise. A wife may learn about maintenance law after maintenance has been neglected. A couple may appreciate the legal importance of registration only after documentation problems arise. A spouse may discover the availability of *fasakh* or another legal remedy only after experiencing serious marital harm.

The research problem is therefore not that Malaysia lacks premarital education or that MBKPI lacks legally relevant subjects. On the contrary, the existence of these subjects provides the foundation for the present argument. The issue examined in this paper is whether the legal dimensions already embedded within premarital preparation can be understood more broadly as a form of ‘preventive legal education’.

RESEARCH OBJECTIVE AND METHODOLOGY

The principal objective of this paper is to examine the significance of legal literacy within Islamic premarital education in Malaysia as a preventive mechanism for preparing prospective spouses to understand marital rights, responsibilities and legal consequences before problems arise. The study adopts a qualitative legal research methodology. It analyses relevant Qur'anic principles, Malaysian Islamic family law, the existing premarital education framework and selected literature concerning premarital and marriage education, family preparation and legal literacy.

The study is doctrinal and conceptual rather than empirical. It does not seek to measure the effectiveness of MBKPI participants or claim that attendance at a premarital course necessarily prevents marital breakdown. Instead, it examines the preventive significance of providing legal understanding before marriage.

INSTITUTIONALISING PREPARATION BEFORE MARRIAGE THROUGH ISLAMIC PREMARITAL EDUCATION IN MALAYSIA

Malaysia provides a particularly useful setting for examining this issue because premarital education for Muslims is already embedded within the institutional preparation for marriage. The ‘Modul Bersepadu Kursus Praperkahwinan Islam’ (MBKPI) provides the common framework for Islamic premarital education. Malaysian scholarship has examined its implementation, regulation, administration and contribution towards preparing prospective Muslim spouses. Salleh, Omar and Embong (2019), for example, describe the Islamic premarital course as an initiative intended to expose prospective spouses to marriage and family life and emphasise the need for mental, physical, emotional and spiritual preparation. Kamarusdiana et al. (2022), in their comparative analysis of Malaysia and Indonesia, similarly identify premarital education as part of Malaysia's formal approach towards preparing Muslims for marriage.

Three aspects are sufficient to understand the Malaysian context. First, premarital education represents an established state-supported policy of marriage preparation. Second, attendance is generally compulsory for Muslim prospective spouses as part of the process preceding an application for permission to marry. Third, its contents reflect a broad understanding of marriage preparation. Current official information identifies ten areas: tasawwur Islam, marriage, marriage procedures, responsibilities of husband and wife, marital communication, financial management, health management, stress and conflict management, dissolution of marriage, and the marriage ceremony and walimatul urus (Government of Malaysia, 2026). This demonstrates that Malaysian premarital education is not confined to the formalities of solemnising a marriage. It seeks to introduce prospective spouses to different aspects of the new life they are about to enter.

The module is also not static. JAKIM has continued to review its contents. In 2025, workshops were conducted to update MBKPI to ensure its continuing relevance to contemporary participants. By July 2026, JAKIM was conducting training for instructors using the updated MBKPI Version 5, expressly referring to the need for content and delivery relevant to the contemporary generation (JAKIM, 2025, 2026).

The underlying philosophy of premarital education is inherently preventive. It proceeds from the assumption that individuals should acquire relevant knowledge before confronting the responsibilities and challenges for which that knowledge is required. Stanley (2001) identified several potential functions of premarital education, including encouraging couples to deliberate about marriage, reinforcing the seriousness of commitment, developing relationship skills and increasing awareness of assistance that may subsequently be available.

The Malaysian experience is significant because premarital preparation has not been left entirely to individual initiative. Islamic premarital education has been institutionalised through an organised framework involving JAKIM and State Islamic Religious Authorities. MBKPI functions as a common reference for the implementation of Islamic premarital courses throughout Malaysia. The programme represents recognition at policy level that individuals entering marriage benefit from prior exposure to the responsibilities and realities of family life. Its scope is particularly significant. It does not concentrate solely on the validity of the marriage ceremony.

The ten areas covered include: Islamic worldview, marriage, marriage procedures, marital communication, responsibilities of husband and wife, financial management, health management, stress and conflict management, marriage ceremony and 'walimatulurus' and dissolution of marriage. JAKIM's 2025 training materials confirm these substantive areas and show that speakers are formally trained to deliver the integrated module. ([Islamic Affairs Division][6]) The Malaysian framework therefore reflects a holistic conception of marital preparedness.

Recent policy developments further demonstrate continuing institutional commitment. In 2025, JAKIM conducted several workshops specifically to update MBKPI, involving master trainers, state religious authorities and expertise from fields including health and financial management. JAKIM explained that the revision was intended to ensure that the module remained relevant to contemporary participants (Islamic Affairs Division). This continuing review is important. It demonstrates that premarital education in Malaysia can be understood not merely as an administrative prerequisite for marriage but as an evolving 'family-preparation policy'.

LEGAL LITERACY AS PART OF RESPONSIBLE MARRIAGE PREPARATION

The legal significance of premarital education becomes apparent when the nature of marriage itself is considered. Marriage creates legal rights and responsibilities. Accordingly, preparation for marriage would be incomplete if prospective spouses understood its emotional, religious and financial dimensions but possessed no awareness of its legal implications.

Legal literacy in this context does not mean transforming prospective husbands and wives into lawyers. Nor does it require them to memorise statutory provisions. Its purpose is much more basic, prospective spouses should understand that marriage creates legally recognised rights and responsibilities that some forms of conduct may amount to breach of those responsibilities and that legal mechanisms exist where serious problems cannot otherwise be resolved.

The distinction can be expressed as Table 1 below;

Table 1: Differences between Legal Information, Legal Understanding and Preventive Legal Literacy

Legal information	Legal understanding	Preventive legal literacy
What does the law provide?	What does this mean for me as a husband or wife?	How can understanding this before marriage help me fulfil my responsibilities, respect my spouse's rights and recognise problems before they escalate?

THE PREVENTIVE LEGAL VALUE OF PREMARITAL EDUCATION

(a) Understanding Responsibilities Before Breach Occurs

The first preventive value of legal literacy is that individuals can understand their responsibilities before they fail to fulfil them. Maintenance provides an obvious example. Islam establishes the husband's responsibility for provision, while Malaysian Islamic family law gives legal recognition to maintenance obligations. A prospective husband who understands the nature of that responsibility before marriage is better positioned to organise family finances consistently with his obligations. This becomes particularly relevant in contemporary dual-income households. The wife's employment and voluntary financial contribution may form part of family cooperation, but prospective spouses benefit from understanding the underlying structure of their respective responsibilities before assumptions concerning '50-50' financial responsibility generate disagreement. The preventive value therefore lies in clarifying responsibility before misunderstanding becomes conflict.

(b) Understanding Rights Before They Are Violated

Legal literacy is equally protective. A prospective spouse who understands basic marital rights is better positioned to recognise when persistent conduct may amount to neglect or infringement. This does not encourage spouses to approach marriage defensively. On the contrary, knowledge of the other spouse's rights can encourage responsible behaviour. Thus, legal literacy operates in two directions: understanding my rights and understanding my spouse's rights. This transforms rights education into responsibility education.

(c) Preventing Misunderstanding of Marital Roles

Some marital disputes may develop not from deliberate wrongdoing but from conflicting expectations. Questions concerning financial responsibility, marital roles, registration and obligations may appear straightforward before marriage but become complicated in everyday family life. Premarital legal literacy provides a preventive opportunity to establish a basic understanding of these matters before different assumptions become embedded within the marriage. The preventive function is therefore not limited to preventing legal violations. It may also contribute to preventing 'legal misunderstanding'.

(d) Recognising Harm Before It Escalates

Not every marital disagreement constitutes a legal problem. This distinction is itself an important aspect of legal literacy. Ordinary disagreement may require communication, compromise, counselling or reconciliation. Persistent non-maintenance, abandonment, cruelty or serious matrimonial harm, however, may carry legal consequences. A legally literate spouse is better positioned to distinguish between ordinary marital conflict, appropriate relational intervention and legally significant harm, appropriate professional or legal assistance. The legal literacy can therefore function as an early recognition mechanism.

(e) Knowing That Assistance and Remedies Exist

Legal literacy also involves knowing when one's own knowledge is insufficient. Prospective spouses do not need detailed expertise concerning talaq, ta'liq, fasakh, khulu' or court procedures. They should, however, know that family problems may have legally recognised remedies and that appropriate religious, counselling or legal institutions exist. Knowledge of assistance before it becomes necessary is fundamentally preventive.

Preventive legal literacy is consistent with the Islamic understanding of marriage. The Qur'anic concept of ma'ruf requires spouses to conduct family relationships according to what is right and proper. The concepts of sakinah, mawaddah and rahmah describe the ethical objectives of marriage, while reciprocal rights and responsibilities establish its normative structure. Legal understanding does not replace these values. Rather, it supports their practical realisation.

A husband who understands his maintenance responsibility is better equipped to fulfil it. A wife who understands the rights of her husband is better positioned to respect them. Each spouse who understands the other's legally protected interests is better positioned to avoid conduct that may cause harm. The principle 'la darar wa la dirar' (harm should neither be inflicted nor reciprocated) further supports the preventive dimension. Prevention is preferable to waiting until harm has become serious enough to require litigation.

FINDINGS AND CONCLUSION

The study produces several inter connected findings.

First, Malaysian Islamic premarital education represents an important institutional form of preventive marriage preparation. The existence of MBKPI demonstrates recognition that prospective spouses benefit from structured preparation before assuming marital responsibilities. Its broad coverage indicates that marriage preparation in Malaysia is conceived beyond the technical requirements of solemnisation.

Second, the existing programme already contains significant legal dimensions. Marriage procedures, responsibilities of husband and wife and dissolution of marriage all carry direct legal implications. Preventive legal literacy therefore does not need to be conceptualised as an entirely separate subject imposed upon the existing framework.

Third, the principal significance of legal literacy lies in timing. Family-law knowledge is commonly acquired after problems arise. Premarital education creates an opportunity to provide basic legal understanding before rights are infringed, responsibilities are neglected or disputes escalate.

Fourth, preventive legal literacy is both protective and responsibility-oriented. Its purpose is not simply to teach prospective spouses what they may claim from each other. It also teaches them to understand what they owe each other.

Fifth, preventive legal literacy can assist in preventing legal misunderstanding and facilitating earlier recognition of legally significant problems. This is particularly relevant to matters such as maintenance, marital responsibilities, registration and matrimonial harm.

Finally, the preventive significance of legal literacy does not depend upon proving that premarital education prevents divorce. International evidence concerning premarital education is mixed on some long-term relationship outcomes but provides stronger support for particular competencies, especially communication. The appropriate claim is therefore more measured: premarital education provides an institutional opportunity to equip prospective spouses with knowledge and understanding that may help them navigate marriage more responsibly.

REFERENCES

Asadpour, E., Sharei, A., & Salmani, A. (2025). Premarital intervention based on attachment and differentiation improves communication and conflict management in Iranian couples. Scientific Reports, 15.

Fawcett, E. B., Hawkins, A. J., Blanchard, V. L., & Carroll, J. S. (2010). Do premarital education programs really work? A meta-analytic study. Family Relations, 59, 232–239.

Government of Malaysia. (2026). Kursus Pra-Perkahwinan Islam. Portal Rasmi Kerajaan Malaysia.

Ibn Majah, Muhammad ibn Yazid. Sunan Ibn Majah, Hadith 2340.

Islamic Family Law (Federal Territories) Act 1984 (Act 303).

Jabatan Kemajuan Islam Malaysia (JAKIM). (2025). Bengkel Kemaskini Kandungan Modul Bersepadu Kursus Praperkahwinan Islam (MBKPI). Putrajaya: JAKIM.

Jabatan Kemajuan Islam Malaysia (JAKIM). (2026). Kursus Training of Trainers (TOT) Penceramah Modul Bersepadu Kursus Praperkahwinan Islam (MBKPI) Versi 5. Putrajaya: JAKIM.

Javadivala, Z., Allahverdipour, H., Asghari Jafarabadi, M., Azimi, S., Gilani, N., & Chattu, V. K. (2021). Improved couple satisfaction and communication with marriage and relationship programs: Are there gender differences? A systematic review and meta-analysis. Systematic Reviews, 10.

Kamarusdiana, K., Yusuf, B., Hakim, M. R., & Dahri, H. (2022). Pre-marital education: Concepts and regulations in Indonesia and Malaysia. Al-Ahkam.

OECD. (2025). Toolkit for Access to Justice and People-Centred Justice Systems. Paris: OECD Publishing.

OECD & Open Society Foundations. (2019). Legal Needs Surveys and Access to Justice. Paris: OECD Publishing.

Saidon, R., Ishak, A., Alias, B., Ismail, F., & Mohd Aris, S. (2016). Towards good governance of premarital course for Muslims in Malaysia. *International Review of Management and Marketing, 6, 8–12.

Salleh, S. M., Omar, N., & Embong, R. (2019). A comprehensive review on the implementation of Islamic pre-marital course in Malaysia. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences.

Stanley, S. M. (2001). Making a case for premarital education. Family Relations, 50, 272–280.

Stanley, S. M., Amato, P. R., Johnson, C. A., & Markman, H. J. (2006). Premarital education, marital quality, and marital stability: Findings from a large, random household survey. Journal of Family Psychology, 20 (1), 117–126.

The Qur'an: al-Baqarah 2:228, 2:233; al-Nisa' 4:19; al-Rum 30:21; al-Talaq 65:7.

A SOCIO-PSYCHOLOGICAL ANALYSIS OF THE RELIGIOUS PERCEPTIONS OF JA'FARIS[1]

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Emin Kalgi
Department of Psychology of Religion, Ardahan University, Visiting Scholar, Indiana University Bloomington
ORCID ID: 0000-0001-6999-5059

Abstract
The concept of *madhhab* (sect) is generally defined as "the path that is followed." Following the death of Prophet Muhammad, political, religious, economic, and social developments gave rise to various disagreements within the Muslim community. Over time, these divisions deepened and paved the way for the emergence of different religious interpretations and sectarian traditions. The sects that continue to exist in the Islamic world today can therefore be understood as products of these historical and social processes.
This paper examines the religious perceptions of individuals who identify themselves as members of the Ja'fari sect from a socio-psychological perspective. In this context, participants' understandings of religion, their attitudes toward the first three caliphs, and their perceptions of Aisha, the wife of the Prophet, are analyzed. In addition, the study explores Ja'faris' understanding of the Imamate, their perceptions of the Sunni tradition, and their contemporary interpretations of Islam.
The immediate objective of the study is to reveal how Ja'faris perceive religion and their own sectarian tradition. Its broader objective is to contribute to a deeper understanding of the religious, socio-cultural, and psychological dimensions of sectarian structures in Türkiye. Accordingly, the study aims to evaluate the formation and maintenance of sectarian identity, as well as its impact on social relations, from a socio-psychological perspective.
Keywords: Ja'farism, Shi'ism, Religious Perception, Sectarian Identity, Socio-Psychology of Religion.

INTRODUCTION

Islam, from the perspective of human history, is not merely a system of belief; it has also provided guidance to humanity as a foundation for civilization, a moral order, and a comprehensive worldview. The historical process of conveying the message of Islam began with the commissioning of the Prophet Muhammad as a messenger of God, and over time, this divine message came into contact with diverse cultures, languages, and intellectual traditions. The rapid expansion of Islam across vast geographical regions naturally created conditions in which different understandings and interpretations of religion could emerge. The phenomenon of Islamic sects and schools of thought is therefore a multidimensional issue that cannot be explained solely in terms of differing interpretations of religious texts. Sociological, political, cultural, and geographical dynamics have played particularly significant roles in the formation and development of these traditions.
In this context, one-dimensional approaches adopted in studies of the history of Islamic sects may obscure the depth and multilayered nature of the subject. Evaluating a particular sect exclusively within the categories of "orthodoxy" or "deviation" risks restricting Islamic thought to predetermined frameworks rather than facilitating an understanding of its historical development. Islamic sects and schools of thought may instead be regarded as mirrors reflecting the relationships that Muslim societies have historically established with religion, political authority, knowledge, and identity. Accordingly, the study of Islamic sects should not be regarded as an activity that undermines Islamic unity, but rather as a scholarly endeavor aimed at understanding the historical manifestation of intellectual plurality within the Islamic tradition.
The present study examines, in light of the fundamental sources of Islam, the historical emergence of Islamic sects, the social and political factors that shaped this process, and the interactions among different sectarian traditions through an analytical and concise approach. In addition to historical accounts based on classical sources and modern methodological approaches, the study incorporates,

[1] *This study is based on the work titled* Religiosization, Sectarianization, and Moralization, *published by Fecr Publishing in 2025.*

albeit to a limited extent, field research and direct interaction with individuals in order to introduce different perspectives on the subject. Furthermore, traditions of transmission and narration are critically examined within the framework of a critical reading of history. In this respect, the present work is neither merely a conventional book on the "history of Islamic sects" nor a text intended to persuade readers to adopt a particular sectarian position. Rather, it constitutes an analytical examination of the dynamics underlying the formation and development of Islamic thought.

In the contemporary Muslim world, sectarian differences may still be instrumentalized as a means of generating or intensifying social and political tensions. This situation clearly demonstrates how a historical phenomenon can be transformed into an ideological instrument when it is not properly understood within its historical context. Rather than glorifying or condemning the phenomenon of sectarianism, this study seeks to understand, analyze, and situate it within its appropriate historical context. Scholarly knowledge can ultimately be attained only through critical inquiry, rigorous methodology, and a perspective that strives to remain as free as possible from prejudice.

METHOD

The primary aim of this empirical study is to identify the religious perceptions of individuals affiliated with the Shi‘a tradition and to analyze their religious thoughts and behaviors from a socio-psychological perspective. In this context, interviews and participant observation, which are among the techniques employed within descriptive approaches in psychology, were utilized.

The main research problem was formulated around the question of how the religious perceptions of individuals affiliated with the Ja‘fari tradition are shaped within a socio-psychological framework and how these perceptions are reflected in their religious thoughts and behaviors. The study was conducted with six participants who had received religious education in Iran for varying periods of time, and a case study design was employed.

Prior to the implementation of the study, ethical approval was obtained from the Scientific Publication Ethics Committee of Ardahan University on May 25, 2023 (Approval No. E-67796128-000-2300014533), along with the necessary permissions from the relevant institutions. Following the completion of these procedures, the fieldwork phase of the study was initiated.

CONCLUSION

Although the group examined in our study belongs to Imami Shi‘ism, its members tend to prefer the term "Ja‘fari" rather than "Imami Shi‘a." Therefore, throughout this study, we have generally preferred to use the term "Ja‘farism." Nevertheless, the terms "Shi‘a" and "Shi‘ism" are also used in certain parts of the study. Members of this sectarian community in Türkiye have expressed the view that the terms "Shi‘a" and "Shi‘ism" carry predominantly political connotations. For this reason, it should be noted that they generally prefer to identify themselves by using the terms "Ja‘fari" and "Ja‘farism."

In Shi‘a belief, the Qur'an is regarded as the primary source of the fundamental principles of Islam. This understanding is reflected in both Shi‘a and Sunni sources and is also supported by the views expressed by the participants in our study. Furthermore, the doctrines of tawhid (the oneness of God) and prophethood occupy a significant place in both Shi‘a and Sunni traditions. Participants belonging to both sectarian traditions stated that anyone who professes the Shahada is within the fold of Islam and that no one can legitimately claim otherwise. This shared understanding makes the similarities between the Shi‘a and Sunni traditions more visible and contributes to the development of a sense of common purpose and shared destiny between the two communities.

Ja‘farism, which has a theocratic structure, gradually developed a systematic identity around its doctrine of the Imamate and, particularly, its objections concerning the first three caliphs. This identity evolved into a structure with political, religious, and social dimensions. Today, adherents of Ja‘farism are estimated to constitute approximately 15% of the global Muslim population. The existence of such a substantial population makes it necessary for both moderate and radical Sunni groups to recognize Shi‘a identity and respect the sectarian beliefs of its adherents. A reactionary approach toward different ideas and interpretations may encourage similar reactions from the other side. Therefore, inter-sectarian tolerance, mutual respect, and understanding are of critical importance for the unity and solidarity of the Muslim world.

With regard to the fundamental principles of Islam, Ja‘faris consider adherents of Sunni schools to be within the fold of Islam. In other words, they accept anyone who professes the Shahada as a Muslim. Nevertheless, in some Ja‘fari interpretations, the rejection of the Imamate may lead to Sunnis being regarded as sinful. In particular, the Sunni rejection of the doctrine of the Imamate, which Shi‘a Muslims regard as one of the fundamental principles of religion, has led some Shi‘a circles to view Sunni understandings of Islam as having deviated from its original form. This doctrinal difference may give rise to various intellectual and practical tensions and conflicts between the two sectarian traditions.

In conclusion, according to the researchers’ shared assessment, a Kharijite mentality—characterized by a way of life and thought that lacks a sound scholarly foundation and is shaped largely by emotional reactions—continues to exist in various forms within both Sunni and Shi‘a communities today. Although Muslim societies have made significant intellectual advances throughout history, it may be argued that broad segments of the population have carried certain characteristics of this mentality into the present day. When historical events and their contemporary manifestations are considered together, this mentality, which may be described as a form of “Bedouinism,” appears to constitute one of the persistent challenges facing Muslim societies.

ÇOCUKLARIN DUYGU İFADE ETME BECERİLERİ İLE EBEVEYN TUTUMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN CHILDREN'S EMOTION EXPRESSIVENESS AND PARENTING ATTITUDES

Dr. Öğr. Üyesi Alper EYİNÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0000-0003-4473-3495

Öğrenci Şifanur KILIÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0009-0005-7551-5943

Öğrenci Derya ALTIN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0009-0002-9387-987X

Öğrenci İsminaz Şifa KAYA
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0009-0008-2896-2486

Doç. Dr. Esin SEZGİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID: 0000-0002-9772-9855

ÖZET

Erken çocukluk dönemi, çocukların sosyal-duygusal gelişimleri ve duygu ifade etme becerilerinin biçimlendiği kritik bir gelişim dönemidir. Bu dönemde çocukların duygularını tanıma, ifade etme ve düzenleme biçimleri, içinde bulundukları sosyal çevre ve özellikle ebeveynleriyle kurdukları etkileşimlerle ilişkili olabilmektedir. Bu araştırmanın amacı, 36–72 ay arası çocukların duygu ifade etme becerileri ile ebeveyn tutumları arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli kullanılarak yürütülmüştür. Çalışma grubunu 36–72 ay arasında çocuğu bulunan 159 ebeveyn oluşturmuştur. Veriler çevrim içi platformlar aracılığıyla gönüllülük esasına dayalı olarak toplanmıştır. Veri toplama araçları olarak Kişisel Bilgi Formu, Anne-Baba Tutum Ölçeği-A Formu ve Çocuk Duygu İfade Etme Ölçeği-Anne Formu kullanılmıştır. Alt boyutlar, ilgili maddelerin toplam puanları üzerinden hesaplanmıştır. Araştırmaya katılan ebeveynlerin %93,1'i kadın (n=148), %6,9'u erkektir (n=11); çocukların %55,3'ü kız (n=88), %44,7'si erkektir (n=71). Ebeveyn tutumu alt boyutlarının toplam puan ortalamaları demokratik tutum için 64,42±6,56, baskıcı/otoriter tutum için 38,42±5,14 ve aşırı hoşgörülü tutum için 24,92±4,61'dir. Çocukların duygu ifade etme alt boyutlarının toplam puan ortalamaları mutluluk için 12,59±2,01, üzüntü için 10,72±2,59, öfke için 9,99±3,61 ve korku için 10,60±3,18 olarak bulunmuştur. Spearman korelasyon analizi sonucunda demokratik ebeveyn tutumu ile çocukların mutluluk ifade etme düzeyi arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır (ρ=0,377; p<0,001). Baskıcı/otoriter tutum ile mutluluk ifade etme arasında da pozitif yönde ve düşük düzeyde anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,240; p=0,002). Diğer ebeveyn tutumu ve duygu ifade etme boyutları arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir. Çoklu regresyon analizinde ebeveyn tutumlarının çocukların mutluluk ifadesindeki varyansın %19,3'ünü açıkladığı; demokratik (β=0,375; p<0,001) ve baskıcı/otoriter tutumun (β=0,175; p=0,009) mutluluk ifadesinin anlamlı pozitif yordayıcıları olduğu belirlenmiştir. Üzüntü, öfke ve korku için oluşturulan regresyon modelleri istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bulgular, ebeveyn tutumlarının özellikle çocukların olumlu duygu ifadeleriyle ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte araştırmanın kesitsel ve ebeveyn bildirimine dayalı yapısı nedeniyle sonuçlar nedensel biçimde yorumlanmamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Erken Çocukluk, Duygu İfade Etme, Ebeveyn Tutumları, Ebeveyn–Çocuk Etkileşimi, Okul Öncesi

ABSTRACT
Early childhood is a critical developmental period in which children's social-emotional development and emotion expressiveness take shape. During this period, the ways children recognize, express, and regulate emotions may be associated with their social environment, particularly their interactions with parents. This study examined the relationship between the emotion expressiveness of children aged 36–72 months and parenting attitudes. A correlational survey design was used. The study group consisted of 159 parents of children aged 36–72 months who voluntarily completed an online survey. Data were collected using a Personal Information Form, the Parenting Attitude Scale–Form A, and the Child Emotion Expressiveness Questionnaire–Mother Form. Subscale scores were calculated by summing the relevant items. Of the participating parents, 93.1% were women (n = 148) and 6.9% were men (n = 11); 55.3% of the children were girls (n = 88) and 44.7% were boys (n = 71). The mean total parenting-attitude scores were 64.42 ± 6.56 for democratic, 38.42 ± 5.14 for oppressive/authoritarian, and 24.92 ± 4.61 for overpermissive attitudes. The mean total emotion-expressiveness scores were 12.59 ± 2.01 for happiness, 10.72 ± 2.59 for sadness, 9.99 ± 3.61 for anger, and 10.60 ± 3.18 for fear. Spearman correlation analysis showed a positive significant association between democratic parenting and children's expression of happiness ($\rho = .377$, $p < .001$). Oppressive/authoritarian parenting was also positively, but weakly, associated with happiness expression ($\rho = .240$, $p = .002$). No other associations between parenting attitudes and emotion-expressiveness dimensions were statistically significant. In the multiple regression analysis, parenting attitudes explained 19.3% of the variance in happiness expression; democratic ($\beta = .375$, $p < .001$) and oppressive/authoritarian attitudes ($\beta = .175$, $p = .009$) were significant positive predictors. The regression models for sadness, anger, and fear were not statistically significant. These findings suggest that parenting attitudes may be particularly associated with children's expression of positive emotion. Because the study was cross-sectional and relied on parent reports, the findings should not be interpreted causally.
Keywords: Early Childhood, Emotion Expressiveness, Parenting Attitudes, Parent–Child Interaction, Preschool

GİRİŞ

Erken çocukluk dönemi, çocukların duyguları tanıma, ifade etme ve düzenleme kapasitelerinde hızlı gelişmelerin gözlendiği bir dönemdir. Çocuklar duygularını yüz ifadeleri, ses tonu, beden hareketleri ve sözel davranışlar yoluyla ortaya koyabilmektedir. Duygu ifade etme özellikleri, çocukların sosyal etkileşimleri ve gelişmekte olan duygusal yeterlikleri açısından önem taşımaktadır (Zinsser vd., 2021). Çocuğun duygusal gelişimi yalnızca bireysel özellikleriyle değil, içinde bulunduğu sosyal bağlamla da ilişkilidir. Ebeveynler, çocukların duygusal deneyimlerini anlamlandırmalarında temel sosyalleştirme kaynaklarından biridir. Ebeveynlerin kendi duygusal ifadeleri, çocukların duygularına verdikleri tepkiler ve duygular hakkında gerçekleştirdikleri konuşmalar, çocukların duygusal gelişimiyle ilişkilendirilmektedir (Eisenberg vd., 1998). Edler ve Valentino (2024) da ebeveynlerin kendi öz düzenleme kapasitelerinin, çocukların duygularına verdikleri tepkiler ve diğer duygu sosyalleştirme davranışlarıyla bağlantılı olduğunu göstermiştir.

Ebeveyn tutumları, ebeveynlerin çocuklarıyla kurdukları ilişkilerde sergiledikleri duyarlılık, destek, denetim ve özerklik tanıma biçimlerinin oluşturduğu genel yaklaşımı ifade etmektedir. Demokratik tutum, duygusal yakınlık ve duyarlılığın açık, tutarlı ve yaşa uygun sınırlarla bir arada bulunmasıyla; baskıcı/otoriter tutum, ebeveyn kontrolünün ve itaat beklentisinin ön planda, çocuğun özerkliğinin ise sınırlı olmasıyla tanımlanmaktadır. Aşırı hoşgörülü tutumda ise çocuğun isteklerine yüksek düzeyde duyarlılık gösterilmesine karşın davranışların düzenlenmesine yönelik sınır ve denetimin daha sınırlı olduğu görülmektedir. Bu farklı ebeveynlik yaklaşımları, çocukların duygularını anlamlandırma, yönetme ve ifade etme süreçleriyle farklı biçimlerde ilişkili olabilmektedir (Li vd., 2023; Wen vd., 2026).

Önceki araştırmalarda ebeveynlerin duygu sosyalleştirme uygulamaları ile çocukların duygu bilgisi, ifadesi ve düzenleme becerileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Zinsser vd., 2021). Ayrıca ebeveynlik biçimlerinin çocukların duygu yönetimi becerileriyle ilişkisi ile bu ilişkide öz kontrol ve akran etkileşimlerinin rolü ele alınmıştır (Li vd., 2023). Güncel araştırmalarda ebeveynlik biçimleri, ebeveyn-çocuk etkileşim kalitesi ve çocukların genel sosyal-duygusal yeterlikleri arasındaki ilişkiler de

incelenmektedir (Wen vd., 2026). Bununla birlikte söz konusu araştırmalarda genel ebeveynlik tutumları ile okul öncesi çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifadeleri arasındaki ilişkiler her bir duygu türü açısından ayrı ayrı değerlendirilmemiştir. Bu nedenle ebeveyn tutumları ile çocukların farklı duyguları ifade etme özellikleri arasındaki ilişkilerin ayrı ayrı incelenmesi, alandaki bulguların ayrıntılandırılmasına katkı sağlayabilir.

Bu araştırmanın amacı, 36–72 aylık çocukların duygu ifade etme özellikleri ile ebeveynlerin çocuk yetiştirme tutumları arasındaki ilişkileri incelemek ve ebeveyn tutumlarının çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanlarını istatistiksel olarak yordama düzeyini belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda aşağıdaki sorulara yanıt aranmıştır.

1. Ebeveynlerin demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü tutum puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler nelerdir?
2. Çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler nelerdir?
3. Ebeveyn tutumları ile çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler var mıdır?
4. Ebeveyn tutumları çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanlarını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yordamakta mıdır?

YÖNTEM

Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli kullanılarak yürütülmüştür. İlişkisel tarama modeli, iki veya daha fazla değişken arasındaki birlikte değişimin yönü ve düzeyinin belirlenmesine olanak sağlaması nedeniyle araştırmanın amacıyla uyumludur.

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 36–72 aylık çocuğu bulunan ve çevrim içi veri toplama formunu gönüllü olarak yanıtlayan 159 ebeveyn oluşturmuştur. Çocukların yaşları 3–6 yıl arasında değişmekte olup, yaş bilgisi bulunan çocukların yaş ortalaması 4,46±1,01 yıl olarak belirlenmiştir. Katılımcılar araştırmanın amacı ve gönüllülük esasları konusunda bilgilendirilmiş ve çevrim içi onamları alınmıştır.

Katılımcıların ebeveyn cinsiyeti, yaşı, medeni durumu, öğrenim düzeyi, algılanan gelir düzeyi ve çocuk cinsiyetine ilişkin demografik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

DEĞİŞKEN	n	%
EBEVEYN CINSIYETI		
Kadın	148	93,1
Erkek	11	6,9
EBEVEYN YAŞI		
20–29	43	27,0
30–39	91	57,2
40–49	23	14,5
50 ve üzeri	2	1,3
MEDENI DURUM		
Evli	150	94,3
Bekar	5	3,1
Ayrı yaşayan	2	1,3
Tek ebeveyn	2	1,3
ÖĞRENIM DÜZEYI		
İlkokul	15	9,4
Ortaokul	18	11,3
Lise	44	27,7
Ön lisans	24	15,1
Lisans	51	32,1
Lisansüstü	7	4,4

ALGILANAN GELIR DÜZEYI		
Düşük	19	11,9
Orta	130	81,8
Çok iyi	10	6,3
ÇOCUK CINSIYETI		
Kız	88	55,3
Erkek	71	44,7
TOPLAM	**159**	**100,0**

Tablo 1 incelendiğinde katılımcıların büyük çoğunluğunun kadın (%93,1), evli (%94,3) ve algılanan gelir düzeyini orta olarak değerlendiren ebeveynlerden (%81,8) oluştuğu görülmektedir. Katılımcıların %57,2'si 30–39 yaş aralığında, %32,1'i lisans mezunudur. Çocukların %55,3'ü kız, %44,7'si erkektir.

Veri Toplama Araçları

Kişisel Bilgi Formu

Araştırmacılar tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu ile ebeveynlerin cinsiyeti, yaşı, medeni durumu, öğrenim düzeyi, algılanan gelir düzeyi, çocuk sayısı ve çocuğun cinsiyeti belirlenmiştir.

Anne-Baba Tutum Ölçeği-A Formu

Anne-Baba Tutum Ölçeği-A Formu, okul öncesi dönemde çocuğu bulunan ebeveynlerin çocuk yetiştirme tutumlarını belirlemek amacıyla Özyürek (2017) tarafından geliştirilmiştir. Ölçek 38 maddeden ve Demokratik Tutum (15 madde), Baskıcı ve Otoriter Tutum (12 madde) ve Aşırı Hoşgörülü Tutum (11 madde) olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Maddeler 1=Hiç katılmıyorum ile 5=Tamamen katılıyorum arasında derecelendirilmektedir. Alt boyutlardan alınan yüksek puanlar, ilgili tutumun daha baskın olduğunu göstermektedir. Bu araştırmada alt boyut puanları ilgili maddelerin toplanmasıyla hesaplanmış; teorik puan aralıkları Demokratik Tutum için 15–75, Baskıcı/Otoriter Tutum için 12–60 ve Aşırı Hoşgörülü Tutum için 11–55 olmuştur. Mevcut örneklemde Cronbach alfa katsayıları sırasıyla 0,87, 0,63 ve 0,67 olarak hesaplanmıştır.

Çocuk Duygu İfade Etme Ölçeği-Anne Formu

Çocuk Duygu İfade Etme Ölçeği, Mirabile (2008) tarafından geliştirilen Child Emotion Expressiveness Questionnaire'ın Ersan (2017) tarafından Türkçeye uyarlanmış anne formudur (Ersan & Tok, 2020). Türkçe anne formu 36–72 aylık çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku duygularını ifade etme özelliklerini değerlendirmektedir. Uyarlama sürecinde mutluluk alt boyutundaki bir maddenin çıkarılması sonucunda ölçek 15 maddelik yapıya ulaşmıştır. Ölçek 5'li Likert tipindedir (1 = Asla, 5 = Her zaman) ve ters puanlanan madde bulunmamaktadır. Mutluluk alt boyutu 3 maddeden (3–15 puan), üzüntü, öfke ve korku alt boyutları ise dörder maddeden (her biri 4–20 puan) oluşmaktadır. Üzüntü, öfke ve korku puanları birlikte ele alınarak 12–60 aralığında olumsuz duygu ifade toplam puanı da hesaplanabilmektedir. Bu araştırmada dört duygu alt boyutu ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Mevcut örneklemde Cronbach alfa katsayıları mutluluk için 0,79, üzüntü için 0,67, öfke için 0,89 ve korku için 0,88 olarak bulunmuştur.

Veri Toplama Süreci

Veriler çevrim içi platformlar aracılığıyla gönüllülük esasına dayalı olarak toplanmıştır. Formun başlangıcında araştırmanın amacı, gönüllü katılım, araştırmadan çekilme hakkı ve verilerin bilimsel amaçla kullanılmasına ilişkin bilgilendirilmiş onam metni sunulmuştur. Onam veren ebeveynlerin yanıtları analize dahil edilmiştir.

Katılımcılara araştırmanın amacı, gönüllü katılım, araştırmadan çekilme hakkı ve verilerin bilimsel amaçla kullanımı hakkında bilgi verilmiş; çevrim içi bilgilendirilmiş onamları alınmıştır.

Veri Analizi

Verilerin analizinde öncelikle frekans, yüzde, puan ortalaması, standart sapma ve minimum-maksimum değerleri hesaplanmıştır. Alt boyut puanları, ölçeklerin puanlama yönergelerine uygun biçimde ilgili

maddelerin toplamı alınarak oluşturulmuştur. Dağılım özellikleri Shapiro–Wilk testi ile incelenmiştir. Demokratik tutum ve duygu ifade etme alt boyutlarının bir bölümünde normal dağılım varsayımı karşılanmadığından, ebeveyn tutumları ile çocukların duygu ifade etme boyutları arasındaki ilişkiler Spearman sıra korelasyon katsayısı ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir. Ölçek alt boyutlarının mevcut örneklemdeki iç tutarlılığı Cronbach alfa katsayısı ile değerlendirilmiştir. Ebeveyn tutumlarının çocukların duygu ifade etme boyutlarını yordama düzeyini belirlemek amacıyla mutluluk, üzüntü, öfke ve korku boyutları için ayrı çoklu doğrusal regresyon modelleri oluşturulmuştur. Modellerde demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü ebeveyn tutumları yordayıcı değişkenler olarak ele alınmıştır. Regresyon analizlerinde model varsayımları incelenmiş ve standart hataların hesaplanmasında HC3 sağlam standart hataları kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Araştırmanın bulguları, ölçek alt boyutlarına ilişkin tanımlayıcı istatistikler ve ebeveyn tutumları ile çocukların duygu ifade etme boyutları arasındaki ilişkiler doğrultusunda sunulmuştur.

Ebeveyn Tutumları ve Çocukların Duygu İfade Etme Puanları

Ebeveyn tutumları ile çocukların duygu ifade etme alt boyutlarından aldıkları puanlara ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Ebeveyn Tutumları ve Çocukların Duygu İfade Etme Alt Boyutlarına İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

ALT BOYUT	Ort.±SS	Min–Maks
Demokratik tutum	64,42±6,56	48–75
Baskıcı/Otoriter tutum	38,42±5,14	22–56
Aşırı hoşgörülü tutum	24,92±4,61	13–37
Mutluluk	12,59±2,01	7–15
Üzüntü	10,72±2,59	4–18
Öfke	9,99±3,61	4–20
Korku	10,60±3,18	4–20

Ebeveyn tutumlarına ilişkin alt boyut toplam puan ortalamaları demokratik tutum için 64,42±6,56, baskıcı/otoriter tutum için 38,42±5,14 ve aşırı hoşgörülü tutum için 24,92±4,61 olarak bulunmuştur. Çocukların duygu ifade etme alt boyut toplam puan ortalamaları mutluluk için 12,59±2,01, üzüntü için 10,72±2,59, öfke için 9,99±3,61 ve korku için 10,60±3,18'dir. Mutluluk alt boyutunun üç, diğer duygu alt boyutlarının dört maddeden oluşması nedeniyle toplam puanlar arasında doğrudan düzey karşılaştırması yapılmamıştır.

Ebeveyn Tutumları ile Çocukların Duygu İfade Etme Boyutları Arasındaki İlişkiler

Ebeveyn tutumları ile çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen Spearman korelasyon analizinin sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Ebeveyn Tutumları ile Çocukların Duygu İfade Etme Boyutları Arasındaki Spearman Korelasyonları

EBEVEYN TUTUMU	Mutluluk	Üzüntü	Öfke	Korku
Demokratik	0,377***	-0,087	-0,106	-0,090
Baskıcı/Otoriter	0,240**	0,080	-0,006	0,077
Aşırı hoşgörülü	0,050	0,006	-0,090	0,056

**p<0,01; ***p<0,001.

Spearman korelasyon analizi sonucunda demokratik ebeveyn tutumu ile çocukların mutluluk ifade etme düzeyi arasında pozitif yönde ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,377; p<0,001). Baskıcı/otoriter tutum ile mutluluk ifade etme arasında da pozitif yönde ve düşük düzeyde anlamlı bir ilişki saptanmıştır (ρ=0,240; p=0,002). Aşırı hoşgörülü tutum ile mutluluk ifade etme arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır (ρ=0,050; p=0,527). Üzüntü, öfke ve korku duygu ifade etme boyutlarının hiçbirinin ebeveyn tutumlarıyla ilişkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0,05).
Ebeveyn tutumlarının çocukların duygu ifade etme boyutlarını yordama düzeyini belirlemek amacıyla mutluluk, üzüntü, öfke ve korku boyutları için ayrı regresyon modelleri oluşturulmuştur. Mutluluk için oluşturulan model istatistiksel olarak anlamlı bulunurken, üzüntü (R^2=0,021; p=0,342), öfke (R^2=0,020; p=0,279) ve korku (R^2=0,008; p=0,723) için oluşturulan modeller istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bu nedenle yalnızca anlamlı bulunan mutluluk modeline ilişkin ayrıntılı sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Çocukların Mutluluk Alt Boyutunun Yordanmasına İlişkin Çoklu Regresyon Analizi

	B	**β**	**p**
Demokratik tutum	0,115	0,375	<0,001
Baskıcı/Otoriter tutum	0,069	0,175	0,009
Aşırı hoşgörülü tutum	0,050	0,114	0,121

R^2=0,193; Düzeltilmiş R^2=0,178; robust F(3,155)=11,42; p<0,001.

Tablo 4'te sunulan mutluluk modelinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ve ebeveyn tutumlarının çocukların mutluluk ifade etme puanlarındaki varyansın %19,3'ünü açıkladığı belirlenmiştir (R^2=0,193; düzeltilmiş R^2=0,178; robust F(3,155)=11,42; p<0,001). Demokratik tutum, mutluluk ifadesinin pozitif ve anlamlı bir yordayıcısıdır (B=0,115; β=0,375; p<0,001). Baskıcı/otoriter tutum da pozitif ve anlamlı bir yordayıcı olarak bulunmuştur (B=0,069; β=0,175; p=0,009). Buna karşılık, aşırı hoşgörülü tutumun mutluluk ifadesini yordamadığı belirlenmiştir (B=0,050; β=0,114; p=0,121).

TARTIŞMA

Bu araştırmada, 36–72 aylık çocukların duygu ifade etme özellikleri ile ebeveynlerin çocuk yetiştirme tutumları arasındaki ilişkiler incelenmiş ve ebeveyn tutumlarının çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanlarını yordama düzeyi değerlendirilmiştir. Bu araştırmada demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü ebeveyn tutumları ile çocukların üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmamıştır. Regresyon analizi sonuçları da demokratik ve baskıcı/otoriter tutumların çocukların mutluluk ifade etme puanlarının anlamlı yordayıcıları olduğunu göstermiştir.
Araştırmada demokratik ebeveyn tutumu ile çocukların mutluluk ifade etme puanları arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenmiştir. Demokratik tutumun çocuğun duygu ve düşüncelerinin dinlenmesi, görüşlerine değer verilmesi, yaşına uygun özerkliğinin desteklenmesi ve sıcak bir iletişim ortamının oluşturulması gibi özellikleri, çocukların olumlu duygularını ifade edebilecekleri destekleyici bir aile bağlamıyla ilişkili olabilir. Ebeveynlerin duygu sosyalleştirme süreçlerine ilişkin klasik modelde de ebeveynlerin kendi duygusal ifadelerinin, çocukların duygularına verdikleri tepkilerin ve duygular hakkında gerçekleştirdikleri konuşmaların çocukların duygusal yeterliğiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir (Eisenberg vd., 1998).
Demokratik tutuma ilişkin bulgu, okul öncesi dönemde yürütülen güncel araştırmaların sonuçlarıyla genel olarak uyumludur. Zinsser ve arkadaşlarının (2021) meta-analizinde, ebeveynlerin duygulara model olma, çocukların duygularına tepki verme ve duygular hakkında öğretim uygulamaları ile okul öncesi çocukların duygu bilgisi, duygu ifadesi ve duygu düzenleme becerileri arasında küçük fakat anlamlı ilişkiler bulunduğu belirlenmiştir. Edler ve Valentino (2024) ise ebeveynlerin kendi öz düzenleme kapasitelerinin, çocukların duygularına verdikleri tepkiler ve diğer duygu sosyalleştirme davranışlarıyla bağlantılı olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, çocukların duygusal gelişiminin yalnızca genel ebeveynlik tutumlarıyla değil, ebeveynlerin kendi duygularını düzenleme biçimleri ve çocukların duygularına yönelik somut tepkileriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Benzer biçimde Li ve arkadaşlarının (2023) 3–6 yaş grubu çocuklarla gerçekleştirdiği araştırmada, demokratik/yetkili ebeveynlik çocukların duygu yönetimi becerileriyle pozitif yönde ilişkili bulunmuş ve öz kontrol ve akran etkileşimlerinin bu ilişkide kısmi aracılık rolleri üstlendiği belirlenmiştir. Wen ve arkadaşlarının (2026) 3–6 yaşlarındaki çocuk ve ebeveyniyle yürüttüğü araştırmada da demokratik/yetkili ebeveynliğin çocukların sosyal-duygusal yeterliklerini pozitif yönde yordadığı ve ebeveyn-çocuk etkileşim kalitesinin bu ilişkide kısmi aracılık rolü üstlendiği saptanmıştır. Li ve arkadaşları (2023) duygu yönetimi becerilerini, Wen ve arkadaşları (2026) ise genel sosyal-duygusal yeterliği değerlendirmiştir. Bu yapılar mevcut araştırmada incelenen mutluluk ifadesinden farklı olmakla birlikte, demokratik ebeveynliğe ilişkin sonuçların benzer olması, destekleyici ebeveynlik özelliklerinin çocukların duygusal gelişimiyle ilişkili olduğunu gösteren literatürü desteklediği düşünülmektedir.

Araştırmada baskıcı/otoriter ebeveyn tutumu ile çocukların mutluluk ifade etme puanları arasında pozitif ve düşük düzeyde anlamlı bir ilişki bulunması bir diğer bulgudur. Li ve arkadaşları (2023), otoriter ebeveynliğin 3–6 yaş grubu çocukların duygu yönetimi becerilerini negatif yönde yordadığını belirlemiştir. Bu yönüyle mevcut araştırmanın baskıcı/otoriter tutuma ilişkin sonucu, Li ve arkadaşlarının (2023) bulgusundan farklılaşmaktadır.

Bu araştırmada demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü ebeveyn tutumları ile çocukların üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmamıştır. Bu araştırmada demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü ebeveyn tutumları ile çocukların üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler saptanmamıştır. Bu bulgu, incelenen örneklem ve kullanılan ölçme araçları çerçevesinde, genel ebeveyn tutumları ile söz konusu duygu ifadeleri arasında anlamlı bir ilişki olduğuna yönelik yeterli istatistiksel kanıt elde edilemediğini göstermektedir. Çocukların belirli duyguları ifade etme biçimleri, çocuğun mizacı, duygunun ortaya çıktığı bağlam, ebeveynin söz konusu duyguya verdiği tepki ve aile içinde o duygu hakkında kurulan iletişim gibi durumlarla ilişkili olabilir. Benzer olarak, Zinsser ve arkadaşlarının (2021) yaptığı meta-analizde, genel ebeveynlik biçimlerinin yanı sıra ebeveynlerin model olma, duyguya tepki verme ve duygular hakkında öğretim davranışlarının ayrı ayrı incelenmesinin önemini ortaya koymuştur. Bu doğrultuda mevcut bulgular, gelecekteki araştırmalarda genel ebeveynlik tutumları ile duyguya özgü sosyalleştirme davranışlarının birlikte değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Aşırı hoşgörülü tutum ile çocukların mutluluk, üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında anlamlı bir ilişki bulunmaması da bu araştırmanın dikkat çeken sonuçlarından biridir. Wen ve arkadaşları (2026), izin verici ebeveynliğin okul öncesi çocukların genel sosyal-duygusal yeterliğini negatif yönde yordadığını belirlemiştir. Mevcut araştırmada ise aşırı hoşgörülü tutum ile belirli duyguların ifade edilmesi arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Çoklu regresyon analizi sonucunda demokratik, baskıcı/otoriter ve aşırı hoşgörülü ebeveyn tutumlarının birlikte çocukların mutluluk ifade etme puanlarındaki varyansın %19,3'ünü açıkladığı belirlenmiştir. Demokratik tutum mutluluk ifadesinin en güçlü pozitif yordayıcısı olarak saptanırken ($\beta=0,375$; $p<0,001$), baskıcı/otoriter tutumun da pozitif ve anlamlı bir yordayıcı olduğu görülmüştür ($\beta=0,175$; $p=0,009$). Buna karşılık aşırı hoşgörülü tutum mutluluk ifadesini anlamlı düzeyde yordamamıştır. Modelin %19,3'lük açıklayıcılık düzeyi, mutluluk ifade etme puanlarındaki varyansın sınırlı bir bölümünün incelenen ebeveyn tutumlarıyla açıklandığını göstermektedir. Modelde açıklanmayan varyansın, çocukların bireysel özellikleri, ebeveynlerin duygu düzenleme kapasiteleri, ebeveyn-çocuk etkileşiminin niteliği ve aile içindeki duygu konuşmaları gibi araştırmada değerlendirilmeyen değişkenlerle ilişkili olabileceği düşünülmektedir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada demokratik ve baskıcı/otoriter ebeveyn tutumlarının çocukların mutluluk ifade etme puanlarıyla pozitif yönde ilişkili olduğu ve bu puanları anlamlı düzeyde yordadığı belirlenmiştir. Modeldeki en yüksek standartlaştırılmış regresyon katsayısı demokratik tutuma aittir. Aşırı hoşgörülü tutum mutluluk ifadesini anlamlı düzeyde yordamamış ve ebeveyn tutumları ile çocukların üzüntü, öfke ve korku ifade etme puanları arasında da anlamlı ilişkiler saptanmamıştır. Bu sonuçlar, ebeveyn tutumları ile çocukların duygu ifadeleri arasındaki ilişkilerin duygu türüne göre farklılaşabileceğini göstermektedir.

Ebeveynlerin çocukların duygularına verdikleri tepkilerin ve duygular hakkında kurdukları iletişimin çocukların duygusal gelişimiyle ilişkili olduğu bilinmektedir (Eisenberg vd., 1998; Zinsser vd., 2021). Bu doğrultuda ebeveyn eğitimlerinde çocukların duygularını ifade etmelerini destekleyen iletişim uygulamalarına yer verilebilir (England-Mason vd., 2023). Gelecek araştırmalarda ebeveynlerin duygu sosyalleştirme davranışlarının incelenmesi, ebeveyn bildirimlerinin öğretmen değerlendirmeleri ve gözlemsel verilerle desteklenmesi ve boylamsal araştırma desenlerinin kullanılması önerilmektedir.

SINIRLILIKLAR

Bu araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak hem ebeveyn tutumları hem de çocukların duygu ifade etme özellikleri aynı ebeveynin bildirimlerine dayanmaktadır; bu durum ortak yöntem yanlılığı oluşturabilir. İkinci olarak araştırma kesitsel ve ilişkisel bir desene sahip olduğundan değişkenler arasında nedensel çıkarım yapılamaz. Üçüncü olarak katılımcılara çevrim içi platformlar aracılığıyla ulaşılmış olması örneklemin temsiliyetini sınırlandırabilir. Son olarak çocukların duygu ifade etme biçimleri bağlama göre değişebileceğinden, ebeveyn değerlendirmelerinin öğretmen görüşleri ve doğrudan gözlemlerle desteklenmesi gelecekteki araştırmalar için önemlidir.

KAYNAKLAR

Edler, K., & Valentino, K. (2024). Parental self-regulation and engagement in emotion socialization: A systematic review. *Psychological Bulletin, 150*(2), 154–191. https://doi.org/10.1037/bul0000423

Eisenberg, N., Cumberland, A., & Spinrad, T. L. (1998). Parental socialization of emotion. *Psychological Inquiry, 9*(4), 241–273. https://doi.org/10.1207/s15327965pli0904_1

England-Mason, G., Andrews, K., Atkinson, L., & Gonzalez, A. (2023). Emotion socialization parenting interventions targeting emotional competence in young children: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Psychology Review,* 100, 102252. https://doi.org/10.1016/j.cpr.2023.102252

Ersan, C. (2017). Okul öncesi dönem çocuklarının saldırganlık düzeylerinin duygu ifade etme ve duygu düzenleme açısından incelenmesi [Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi].

Ersan, C., & Tok, Ş. (2020). Okul öncesi dönem çocuklarının saldırganlık düzeylerinin duygu ifade etme ve duygu düzenleme açısından incelenmesi. *Eğitim ve Bilim, 45*(201), 359–391. https://doi.org/10.15390/EB.2019.8150

Li, D., Li, W., & Zhu, X. (2023). Parenting style and children emotion management skills among Chinese children aged 3–6: The chain mediation effect of self-control and peer interactions. *Frontiers in Psychology, 14*, Article 1231920. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1231920

Mirabile, S. P. (2008). The Child Emotion Expressiveness Questionnaire: Procedures and scoring [Unpublished measure]. University of New Orleans.

Özyürek, A. (2017). Okul öncesi çocuğa sahip anne-babalara yönelik "Çocuk Yetiştirmeye İlişkin Anne-Baba Görüşleri Ölçeği" ve "Anne-Baba Tutum Ölçeği" geliştirme çalışması. *Uluslararası Erken Çocukluk Eğitimi Çalışmaları Dergisi, 2*(1), 26–38.

Wen, Y., Zhu, C., Wei, Y., Chen, T., Li, T., & Wu, X. (2026). How key family factors influence preschool children's social–emotional competence: Threshold effects of parental parenting styles and parent–child interaction quality. *Frontiers in Psychology, 17*, Article 1815141. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1815141

Zinsser, K. M., Gordon, R. A., & Jiang, X. (2021). Parents' socialization of preschool-aged children's emotion skills: A meta-analysis using an emotion-focused parenting practices framework. *Early Childhood Research Quarterly, 55*, 377–390. https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2021.02.001

LİSE SON SINIF ÖĞRENCİLERİNDE SOSYAL BAŞARI HEDEFLERİ İLE DUYGU DÜZENLEME ARASINDAKİ İLİŞKİ

THE RELATIONSHIP BETWEEN SOCIAL ACHIEVEMENT GOALS AND EMOTION REGULATION STRATEGIES AMONG FINAL-YEAR HIGH SCHOOL STUDENTS

Dr. Öğr. Üyesi Alper EYİNÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-4473-3495

Doç. Dr. Esin SEZGİN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Çocuk Gelişimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-9772-9855

ÖZET

Ergenlik döneminde benimsenen sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri, öğrencilerin sosyal ilişkilerini ve psikolojik uyumlarını etkileyebilen önemli yapılardır. Bu araştırmanın amacı, lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkileri incelemek ve bu değişkenlerin psikolojik danışmanlık ve rehberlik (PDR) hizmetlerinden yararlanma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemektir. İlişkisel tarama modelinde yürütülen araştırmanın çalışma grubunu İstanbul'da öğrenim gören 159 lise son sınıf öğrencisi oluşturmuştur. Veriler Kişisel Bilgi Formu, Sosyal Başarı Hedefleri Ölçeği ve Ergenler İçin Duygu Düzenleme Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler, Mann–Whitney U testi, Spearman sıra korelasyon analizi ve HC3 sağlam standart hatalarına dayalı çoklu doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejileri, PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($p>0,05$). Beceri hedefleri ile içsel işlevsel ($\rho=0,464$; $p<0,001$), içsel işlevsel olmayan ($\rho=0,344$; $p<0,001$) ve dışsal işlevsel duygu düzenleme ($\rho=0,173$; $p=0,029$) arasında pozitif ve anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Beceri hedefleri için oluşturulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve model bu boyuttaki varyansın %26,2'sini açıklamıştır. İçsel işlevsel ($\beta=0,373$; $p<0,001$) ve içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme ($\beta=0,223$; $p=0,008$), beceri hedeflerinin pozitif ve anlamlı yordayıcılarıdır. Performans yaklaşımı ve performans kaçınma hedefleri için oluşturulan regresyon modelleri ise istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Bulgular, sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkilerin sosyal başarı hedefinin boyutuna göre farklılaştığını göstermektedir. Araştırmanın kesitsel yapısı nedeniyle sonuçlar nedensel olarak yorumlanmamalıdır.

Anahtar Kelimeler: Sosyal Başarı Hedefleri, Duygu Düzenleme Stratejileri, Lise Öğrencileri, Psikolojik Danışmanlık ve Rehberlik, Ergenlik

ABSTRACT

Social achievement goals and emotion regulation strategies adopted during adolescence are important constructs that may be associated with students' social relationships and psychological adjustment. This study aimed to examine the relationships between social achievement goals and emotion regulation strategies among final-year high school students and to determine whether these variables differed according to students' use of school counseling and guidance services. The study employed a correlational survey design and included 159 final-year high school students studying in Istanbul. Data were collected using a Personal Information Form, the Social Achievement Goal Scale, and the Regulation of Emotions Questionnaire for Adolescents. Descriptive statistics, the Mann–Whitney U test, Spearman's rank correlation analysis, and multiple linear regression analysis with HC3 robust standard errors were used to analyze the data. Students' social achievement goals and emotion regulation strategies did not differ significantly according to their use of counseling and guidance services ($p>.05$). Mastery goals were positively associated with internal-functional ($\rho=.464$, $p<.001$), internal-dysfunctional ($\rho=.344$, $p<.001$), and external-functional emotion regulation strategies ($\rho=.173$, $p=.029$). The regression model for mastery goals was statistically significant and explained 26.2% of the variance in this dimension. Internal-functional ($\beta=.373$, $p<.001$) and internal-dysfunctional emotion regulation

(β=.223, p=.008) were significant positive predictors of mastery goals. The regression models developed for performance-approach and performance-avoidance goals were not statistically significant. The findings indicate that the relationships between social achievement goals and emotion regulation strategies vary across the dimensions of social achievement goals. Given the cross-sectional design of the study, the findings should not be interpreted as evidence of causal relationships.
Keywords: Social Achievement Goals, Emotion Regulation Strategies, High School Students, School Counseling and Guidance, Adolescence

GİRİŞ

Ergenlik dönemi, bilişsel, duygusal ve sosyal alanlarda önemli değişimlerin yaşandığı bir gelişim dönemidir. Bu dönemde sosyal ilişkilerin çeşitlenmesi, akran değerlendirmelerinin önem kazanması ve yeni akademik beklentilerin ortaya çıkması, ergenlerin karşılaştıkları duygusal yaşantıları yönetmelerini gerekli kılmaktadır. Duygu düzenleme; bireyin duygularının ortaya çıkışını, yoğunluğunu, süresini ve ifade edilme biçimini etkileyen süreçleri kapsamaktadır. Ergenlikte kullanılan duygu düzenleme stratejileri, bireyin sosyal ilişkileri ve psikososyal uyumuyla yakından ilişkilidir. Bununla birlikte bir stratejinin işlevselliği, yalnızca kullanılan stratejiye değil, içinde bulunulan sosyal bağlama ve bireyin ulaşmak istediği hedeflere göre de değişebilmektedir (Fombouchet vd., 2023).

Ergenlerin sosyal ilişkilerindeki davranışlarına yön veren yapılardan biri sosyal başarı hedefleridir. Sosyal başarı hedefleri, bireyin sosyal ilişkilerinde ulaşmaya çalıştığı amaçları ve sosyal yeterliğini değerlendirirken esas aldığı ölçütleri ifade etmektedir. Bu hedefler; beceri, performans-yaklaşma ve performans-kaçınma olmak üzere üç boyutta ele alınmaktadır. Beceri hedefleri, sosyal yeterliğin ve sosyal ilişkilerin niteliğinin geliştirilmesine; performans-yaklaşma hedefleri, bireyin sosyal açıdan yeterli ve başarılı olduğunun başkalarına gösterilmesine; performans-kaçınma hedefleri ise sosyal açıdan yetersiz görünmekten ve olumsuz değerlendirilmekten kaçınmaya yöneliktir (Ryan & Shim, 2006; Arslan vd., 2018).

Sosyal başarı hedeflerinin farklı boyutları, ergenlerin sosyal davranışları ve sosyal uyumlarıyla farklı biçimlerde ilişkili olabilmektedir. Beceri ya da sosyal gelişim hedeflerinin prososyal davranışlar ve olumlu sosyal uyum göstergeleriyle; performans-yaklaşma hedeflerinin açık ve ilişkisel saldırganlıkla; performans-kaçınma hedeflerinin ise kaygılı yalnızlık ve sosyal geri çekilme gibi uyum sorunlarıyla ilişkili olduğu bildirilmektedir (Lee, 2018; Shin, 2021). Bu bulgular, sosyal başarı hedeflerinin tek bir toplam puan üzerinden değil, her hedef boyutu ayrı ayrı ele alınarak incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Sosyal ilişkilerde benimsenen hedeflerle duygu düzenleme stratejilerinin birbirinden bağımsız olmadığı düşünülmektedir. Bireyin sosyal yeterliğini geliştirme, başkaları üzerinde olumlu bir izlenim oluşturma veya olumsuz değerlendirilmekten kaçınma yönündeki hedefleri, sosyal durumlarda yaşadığı duyguları düzenleme biçimleriyle ilişkili olabilir. Nitekim sosyal gelişim hedeflerinin daha olumlu duygusal yaşantılarla, performans temelli sosyal hedeflerin ise daha karmaşık duygusal sonuçlarla ilişkili olabildiği belirlenmiştir (Mouratidis & Michou, 2011). Ayrıca sosyal hedeflerle psikolojik uyum arasındaki ilişkilerde duygu düzenleme süreçlerinin rol oynayabildiği bildirilmektedir (Shim vd., 2017). Bununla birlikte bu çalışmaların bir bölümü erken ergenler veya üniversite öğrencileriyle yürütülmüş olup lise son sınıf öğrencilerine ilişkin bulgular daha sınırlıdır.

Lise son sınıf öğrencileri, ergenliğin gelişimsel özelliklerinin yanı sıra yükseköğretime geçiş, üniversiteye giriş sınavına hazırlanma ve geleceğe ilişkin karar verme gibi akademik ve mesleki beklentilerle karşı karşıyadır. Bu süreçte öğrencilerin sosyal ilişkilerinde benimsedikleri hedefler ile duygularını düzenleme biçimlerinin birlikte incelenmesi, sosyal-duygusal gereksinimlerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayabilir. Okullarda sunulan psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetleri öğrencilerin akademik, sosyal ve duygusal gelişimlerinin desteklenmesini amaçlamaktadır. Ancak yalnızca bu hizmetlerden yararlanıp yararlanmama bilgisi, hizmetlerin etkililiğini değerlendirmek için yeterli değildir. Buna karşın öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejilerinin rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumuna göre incelenmesi, grupların mevcut özellikleri hakkında betimleyici bilgi sağlayabilir.

Bu araştırmada sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkiler, sosyal başarı hedeflerinin beceri, performans yaklaşımı ve performans kaçınma boyutları ile duygu düzenlemenin

içsel işlevsel, dışsal işlevsel olmayan, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel boyutları temelinde incelenmiştir. Ayrıca psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumu hem grup karşılaştırmalarında hem de sosyal başarı hedeflerinin yordanmasına yönelik modellerde ele alınmıştır. Böylece lise son sınıf öğrencilerinin sosyal hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkilerin alt boyutlar düzeyinde ortaya konulması amaçlanmıştır.
Bu araştırmanın amacı, lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkileri incelemek ve bu değişkenlerin psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemektir. Ayrıca duygu düzenleme boyutları ile psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumunun sosyal başarı hedeflerinin alt boyutlarını yordama düzeyinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1. Lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler nelerdir?
2. Öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejileri, psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermekte midir?
3. Öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler var mıdır?
4. Duygu düzenleme boyutları ve psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlanma durumu, sosyal başarı hedeflerinin beceri, performans yaklaşımı ve performans kaçınma boyutlarını istatistiksel olarak anlamlı düzeyde yordamakta mıdır?

YÖNTEM

Araştırma, lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkileri ve bu değişkenlerin PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığını belirlemek amacıyla ilişkisel tarama modelinde yürütülmüştür. İlişkisel tarama modeli, değişkenler arasındaki birlikte değişimin incelenmesine olanak sağlamaktadır (Karasar, 2020).

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, İstanbul'da öğrenim gören lise son sınıf öğrencileri arasından kolay ulaşılabilir örnekleme yöntemiyle araştırmaya dahil edilen 159 öğrenci oluşturmuştur. Araştırmaya dâhil edilme ölçütleri, lise son sınıfta öğrenim görme ve araştırmaya gönüllü olarak katılma olarak belirlenmiştir. Katılımcıların demografik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Katılımcıların Demografik Özellikleri

Değişken		**n**	**%**
Cinsiyet	Kız	125	78,6
	Erkek	34	21,4
PDR hizmetlerinden yararlanma durumu	Yararlanan	58	36,5
	Yararlanmayan	101	63,5
Algılanan okul başarısı	Düşük	1	0,6
	Orta	110	69,2
	Yüksek	48	30,2
Toplam		159	100,0

Katılımcıların 125'i (%78,6) kız, 34'ü (%21,4) erkektir. Öğrencilerin 58'i (%36,5) psikolojik danışmanlık ve rehberlik hizmetlerinden yararlandığını, 101'i (%63,5) ise yararlanmadığını belirtmiştir. Öğrencilerin algıladıkları okul başarı düzeyleri incelendiğinde, 110 öğrencinin (%69,2) başarısını orta, 48 öğrencinin (%30,2) yüksek ve 1 öğrencinin (%0,6) düşük olarak değerlendirdiği görülmüştür.

Veri Toplama Araçları
Araştırma verileri Kişisel Bilgi Formu, Sosyal Başarı Hedefleri Ölçeği ve Ergenler İçin Duygu Düzenleme Ölçeği kullanılarak toplanmıştır.

Kişisel Bilgi Formu
Araştırmacılar tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu aracılığıyla öğrencilerin cinsiyetleri, algıladıkları okul başarı düzeyleri ve PDR hizmetlerinden yararlanma durumları belirlenmiştir. PDR hizmetlerinden yararlanma durumu "yararlanan" ve "yararlanmayan" olmak üzere iki kategoride değerlendirilmiştir.

Sosyal Başarı Hedefleri Ölçeği
Sosyal Başarı Hedefleri Ölçeği'nin ilk biçimi, Ryan ve Hopkins (2003) tarafından 22 maddelik Sosyal Başarı Hedefleri Yönelimi Ölçeği olarak geliştirilmiştir. Horst, Finney ve Barron (2007), ölçeğin psikometrik özelliklerini yeniden inceleyerek beceri, performans-yaklaşma ve performans-kaçınma hedeflerinden oluşan 13 maddelik formu oluşturmuştur. Bu form, Arslan ve arkadaşları (2018) tarafından Türkçeye uyarlanmıştır. Türkçe uyarlama çalışmasında iki maddenin çıkarılması sonucunda beş maddelik beceri hedefleri, dört maddelik performans-yaklaşma hedefleri ve iki maddelik performans-kaçınma hedefleri olmak üzere toplam 11 maddelik bir yapı elde edilmiştir. Maddeler beşli Likert tipi bir derecelendirme üzerinden yanıtlanmakta ve ölçekte ters puanlanan madde bulunmamaktadır. Alt boyutlardan alınan puanların yükselmesi, ilgili sosyal başarı hedefinin daha fazla benimsendiğini göstermektedir. Bu araştırmada Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları beceri hedefleri için 0,917, performans-yaklaşma hedefleri için 0,901 ve performans-kaçınma hedefleri için 0,782 olarak hesaplanmıştır.

Ergenler İçin Duygu Düzenleme Ölçeği
Ergenler İçin Duygu Düzenleme Ölçeği, Phillips ve Power (2007) tarafından ergenlerin duygu düzenleme yöntemlerini belirlemek amacıyla geliştirilmiş ve Duy ve Yıldız (2014) tarafından Türkçeye uyarlanmıştır. Özgün ölçek 19 maddeden oluşmaktadır. Türkçe uyarlama çalışmasında, özgün formun 4. maddesi yeterli faktör uyumu göstermediği için ölçekten çıkarılmış ve 18 maddelik Türkçe form elde edilmiştir. Türkçe form; içsel işlevsel, dışsal işlevsel olmayan, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenleme olmak üzere dört alt boyuttan oluşmaktadır. İçsel işlevsel ve dışsal işlevsel alt boyutlarda dörder; dışsal işlevsel olmayan ve içsel işlevsel olmayan alt boyutlarda ise beşer madde bulunmaktadır. Maddeler "hiçbir zaman" (1), "nadiren" (2), "bazen" (3), "çoğu zaman" (4) ve "her zaman" (5) biçiminde derecelendirilmektedir. Ölçekte ters puanlanan madde bulunmamaktadır. Alt boyutlardan alınabilecek puanlar içsel işlevsel ve dışsal işlevsel duygu düzenleme için 4–20; dışsal işlevsel olmayan ve içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme için 5–25 arasında değişmektedir. Her alt boyuttan alınan yüksek puan, ilgili duygu düzenleme yönteminin daha sık kullanıldığını göstermektedir. Ölçekten toplam puan alınmamakta, her alt boyut ayrı olarak değerlendirilmektedir. Bu araştırmada Cronbach alfa iç tutarlılık katsayıları içsel işlevsel duygu düzenleme için 0,887, dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme için 0,794, içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme için 0,724 ve dışsal işlevsel duygu düzenleme için 0,758 olarak hesaplanmıştır.

Veri Analizi
Verilerin analizinde frekans, yüzde, aritmetik ortalama, standart sapma ve minimum–maksimum değerleri hesaplanmıştır. Ölçek alt boyutlarına ait puanların dağılımları Shapiro–Wilk testiyle incelenmiş ve bütün alt boyutlarda normal dağılımdan istatistiksel olarak anlamlı sapmalar bulunduğu belirlenmiştir ($p<0,05$). Bu nedenle PDR hizmetlerinden yararlanan ve yararlanmayan öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme puanlarının karşılaştırılmasında Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme boyutları arasındaki ilişkiler ise Spearman sıra korelasyon katsayısıyla incelenmiştir.
Duygu düzenleme boyutları ile PDR hizmetlerinden yararlanma durumunun sosyal başarı hedeflerini yordama düzeyini belirlemek amacıyla üç ayrı çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Modellerde beceri, performans yaklaşımı ve performans kaçınma puanları ayrı ayrı bağımlı değişken

olarak ele alınmıştır. İçsel işlevsel, dışsal işlevsel olmayan, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenleme puanları ile PDR hizmetlerinden yararlanma durumu yordayıcı değişkenler olarak modellere dâhil edilmiştir. Bütün analizlerde istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0,05$ olarak kabul edilmiştir.

BULGULAR

Araştırma bulguları, araştırma sorularının sırasına uygun olarak sunulmuştur. İlk olarak sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler verilmiş; ardından bu değişkenler psikolojik danışmanlık ve rehberlik (PDR) hizmetlerinden yararlanma durumuna göre karşılaştırılmıştır. Son olarak değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve sosyal başarı hedeflerinin alt boyutlarına yönelik çoklu doğrusal regresyon modelleri değerlendirilmiştir.

Sosyal Başarı Hedefleri ve Duygu Düzenleme Stratejilerine İlişkin Tanımlayıcı Bulgular

Öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejilerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Sosyal Başarı Hedefleri ve Duygu Düzenleme Alt Boyutlarına İlişkin Tanımlayıcı İstatistikler

Ölçek / Alt boyut		Ort ± SS	Min-Maks
Sosyal Başarı Hedefleri	Beceri	20,81 ± 4,99	5–25
	Performans yaklaşımı	6,48 ± 3,80	4–20
	Performans kaçınma	4,67 ± 2,54	2–10
Duygu Düzenleme	İçsel işlevsel	15,33 ± 3,48	4–20
	Dışsal işlevsel olmayan	10,20 ± 4,45	5–25
	İçsel işlevsel olmayan	13,86 ± 4,34	5–25
	Dışsal işlevsel	11,82 ± 4,14	4–20

Sosyal başarı hedeflerine ilişkin puan ortalamaları beceri alt boyutunda 20,81±4,99, performans yaklaşımı alt boyutunda 6,48±3,80 ve performans kaçınma alt boyutunda 4,67±2,54 olarak bulunmuştur. Duygu düzenleme puan ortalamaları ise içsel işlevsel alt boyutunda 15,33±3,48, dışsal işlevsel olmayan alt boyutunda 10,20±4,45, içsel işlevsel olmayan alt boyutunda 13,86±4,34 ve dışsal işlevsel alt boyutunda 11,82±4,14'tür.

PDR Hizmetlerinden Yararlanma Durumuna Göre Karşılaştırmalar

Öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme puanlarının PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre karşılaştırılmasına ilişkin Mann–Whitney U testi sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Rehberlik Hizmetlerinden Yararlanma Durumuna Göre Sosyal Başarı Hedefleri ve Duygu Düzenleme Puanlarının Karşılaştırılması

Değişken	Yararlanan Ort.±SS	Yararlanmayan Ort.±SS	U	p
Beceri	21,29±5,10	20,52±4,92	3366,5	0,114
Performans yaklaşımı	7,10±4,49	6,12±3,31	3307,0	0,154
Performans kaçınma	4,71±2,49	4,65±2,59	3029,5	0,716
İçsel işlevsel	15,69±3,58	15,13±3,42	3357,0	0,124
Dışsal işlevsel olmayan	11,12±5,02	9,67±4,02	3414,0	0,082
İçsel işlevsel olmayan	14,29±4,84	13,61±4,02	3100,5	0,539
Dışsal işlevsel	12,64±3,73	11,35±4,31	3469,0	0,053

U=Mann–Whitney U testi. PDR hizmetlerinden yararlanan n=58; yararlanmayan n=101.

Mann–Whitney U testi sonucunda sosyal başarı hedeflerinin beceri, performans yaklaşımı ve performans kaçınma alt boyutlarında PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır (p>0,05). Benzer şekilde içsel işlevsel, dışsal işlevsel olmayan, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenleme puanları da PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre anlamlı bir farklılık göstermemiştir (p>0,05). Buna göre araştırmada değerlendirilen sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejilerinin hiçbiri PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre istatistiksel olarak anlamlı biçimde farklılaşmamıştır.

Sosyal Başarı Hedefleri ile Duygu Düzenleme Stratejileri Arasındaki İlişkiler

Sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme alt boyutları arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen Spearman sıra korelasyon analizinin sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Sosyal Başarı Hedefleri ve Duygu Düzenleme Boyutları Arasındaki Spearman Korelasyonları

Değişken	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
1. Beceri	—						
2. Performans yaklaşımı	0,007	—					
3. Performans kaçınma	0,125	**0,415*** **	—				
4. İçsel işlevsel	**0,464*** **	-0,038	**0,230** **	—			
5. Dışsal işlevsel olmayan	0,117	**0,207** **	0,082	-0,066	—		
6. İçsel işlevsel olmayan	**0,344*** **	0,071	0,056	**0,277*** **	**0,485*** **	—	
7. Dışsal işlevsel	**0,173***	0,096	0,035	**0,242** **	**0,326*** **	**0,302*** **	—

*p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Beceri hedefleri ile içsel işlevsel (ρ=0,464; p<0,001), içsel işlevsel olmayan (ρ=0,344; p<0,001) ve dışsal işlevsel duygu düzenleme (ρ=0,173; p=0,029) arasında pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Performans yaklaşımı hedefleri ile dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır (ρ=0,207; p=0,009). Performans kaçınma hedefleri ile içsel işlevsel duygu düzenleme arasında da pozitif ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (ρ=0,230; p=0,004). Sosyal başarı hedeflerinin diğer duygu düzenleme boyutlarıyla ilişkileri istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0,05).

Sosyal başarı hedeflerinin kendi alt boyutları incelendiğinde performans yaklaşımı ile performans kaçınma arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,415; p<0,001). Duygu düzenleme boyutları arasındaki anlamlı korelasyonlar 0,242 ile 0,485 arasında değişmektedir.

Sosyal Başarı Hedeflerinin Yordanmasına İlişkin Bulgular

Duygu düzenleme boyutları ile PDR hizmetlerinden yararlanma durumunun sosyal başarı hedeflerini yordama düzeyini belirlemek amacıyla beceri, performans yaklaşımı ve performans kaçınma alt boyutları için üç ayrı çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturulmuştur. Regresyon katsayılarına ilişkin p değerleri HC3 sağlam standart hatalarına dayalı olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5. Beceri Hedeflerinin Yordanmasına İlişkin Çoklu Regresyon Analizi

Yordayıcı	**B**	**β**	**p**
İçsel işlevsel duygu düzenleme	0,534	0,373	<0,001
Dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme	-0,145	-0,129	0,180
İçsel işlevsel olmayan duygu düzenleme	0,256	0,223	0,008
Dışsal işlevsel duygu düzenleme	0,085	0,070	0,471
Rehberlik hizmetlerinden yararlanma	0,395	0,038	0,611

R^2=0,262; düzeltilmiş R^2=0,238; robust F(5,153)=7,36; p<0,001

Beceri hedefleri için oluşturulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve model, beceri hedeflerindeki varyansın %26,2'sini açıklamıştır (R^2=0,262; düzeltilmiş R^2=0,238; robust F(5,153)=7,36; p<0,001). İçsel işlevsel (B=0,534; β=0,373; p<0,001) ve içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme (B=0,256; β=0,223; p=0,008), beceri hedeflerinin pozitif ve anlamlı yordayıcılarıdır. Dışsal işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenleme boyutları ile PDR hizmetlerinden yararlanma durumu modele anlamlı katkı sağlamamıştır (p>0,05).

Tablo 6. Performans Yaklaşımı Hedeflerinin Yordanmasına İlişkin Çoklu Regresyon Analizi

Yordayıcı	**B**	**β**	**p**
İçsel işlevsel duygu düzenleme	-0,099	-0,091	0,486
Dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme	**0,299**	**0,350**	**0,010**
İçsel işlevsel olmayan duygu düzenleme	0,006	0,006	0,945
Dışsal işlevsel duygu düzenleme	0,006	0,006	0,946
Rehberlik hizmetlerinden yararlanma	0,596	0,076	0,373

R^2=0,148; düzeltilmiş R^2=0,120; robust F(5,153)=2,16; p=0,061.

Performans yaklaşımı hedefleri için oluşturulan model, varyansın %14,8'ini açıklamakla birlikte istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (R^2=0,148; düzeltilmiş R^2=0,120; robust F(5,153)=2,16; p=0,061). Modelde dışsal işlevsel olmayan duygu düzenlemeye ait katsayı istatistiksel olarak anlamlıdır (B=0,299; β=0,350; p=0,010). Ancak model bütününün anlamlı olmaması nedeniyle bu katsayı keşfedici bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Tablo 7. Performans Kaçınma Hedeflerinin Yordanmasına İlişkin Çoklu Regresyon Analizi

Yordayıcı	**B**	**β**	**p**
İçsel işlevsel duygu düzenleme	0,138	0,189	0,073
Dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme	**0,133**	**0,233**	**0,046**
İçsel işlevsel olmayan duygu düzenleme	-0,061	-0,103	0,263
Dışsal işlevsel duygu düzenleme	-0,035	-0,057	0,551
Rehberlik hizmetlerinden yararlanma	-0,130	-0,025	0,773

R^2=0,052; düzeltilmiş R^2=0,021; robust F(5,153)=1,10; p=0,363.

Performans kaçınma hedefleri için oluşturulan regresyon modeli istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır (R^2=0,052; düzeltilmiş R^2=0,021; robust F(5,153)=1,10; p=0,363). Dışsal işlevsel olmayan duygu düzenlemeye ait regresyon katsayısı istatistiksel olarak anlamlı olsa da (B=0,133; β=0,233; p=0,046), modelin bütünü anlamlı olmadığı için bu değişken performans kaçınma hedeflerinin doğrulanmış bir yordayıcısı olarak yorumlanmamıştır.
Genel olarak değerlendirildiğinde, oluşturulan regresyon modelleri içinde yalnızca beceri hedeflerine ilişkin model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Bu modelde özellikle içsel işlevsel ve içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme boyutlarının beceri hedeflerinin anlamlı pozitif yordayıcıları olduğu belirlenmiştir. Performans yaklaşımı ve performans kaçınma hedeflerine ilişkin modeller ise genel olarak istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

TARTIŞMA

Bu araştırmada lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca bu değişkenlerin psikolojik danışmanlık ve rehberlik (PDR) hizmetlerinden yararlanma durumuna göre farklılaşıp farklılaşmadığı değerlendirilmiştir. Bulgular, sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkilerin hedef ve strateji türüne göre farklılaştığını göstermiştir. Beceri hedefleri içsel işlevsel, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenleme stratejileriyle; performans yaklaşımı hedefleri dışsal işlevsel olmayan stratejilerle; performans kaçınma hedefleri ise içsel işlevsel stratejilerle pozitif yönde ilişkili bulunmuştur.

PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme puanlarında anlamlı farklılık saptanmamıştır. Regresyon analizlerinde yalnızca beceri hedefleri için oluşturulan model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Beceri hedefleri ile içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,344; p<0,001). Beceri hedefleri, bireyin sosyal yeterliğini geliştirmeye ve sosyal ilişkilerinin niteliğini artırmaya yönelik amaçlarını ifade etmektedir. İçsel işlevsel duygu düzenleme ise bireyin duygusal yaşantısını değerlendirme, yeniden anlamlandırma ve çözüm üretme gibi kendi içsel kaynaklarına dayalı stratejileri kapsamaktadır. Buna göre sosyal yeterliğini geliştirmeye daha fazla önem veren öğrencilerin, yaşadıkları duyguları içsel ve işlevsel yollarla düzenleme eğilimlerinin de arttığı söylenebilir. Bu sonuç, sosyal gelişim hedeflerinin olumlu duygusal yaşantılar ve sosyal uyum göstergeleriyle ilişkili olduğunu bildiren araştırmalarla genel olarak uyumludur (Mouratidis & Michou, 2011; Lee, 2018). Shin (2021) de sosyal gelişim hedeflerinin ergenlerin olumlu sosyal davranışlarıyla pozitif yönde ilişkili olduğunu belirlemiştir.

Beceri hedefleri ile dışsal işlevsel duygu düzenleme arasında da pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,173; p=0,029). Dışsal işlevsel stratejiler, bireyin duygularını düzenlerken sosyal destek arama ve yaşadığı durumu başkalarıyla paylaşma gibi kişiler arası kaynaklardan yararlanmasını içermektedir. Sosyal ilişkilerinin niteliğini geliştirmeye yönelen öğrencilerin, duygu düzenleme sürecinde çevrelerindeki kişilerden destek alma eğiliminde olmaları beklenebilir. Ancak ilişkinin sınırlı olması, beceri hedeflerinin dışsal işlevsel stratejilerle ilişkisinin güçlü olmadığını göstermektedir. Ergenlikte duygu düzenleme süreçlerinin akranlar, öğretmenler ve diğer sosyal bağlamlardan etkilenebildiği dikkate alındığında, sosyal hedefler ile dışsal duygu düzenleme arasındaki ilişkilerin bağlamsal özelliklerle birlikte ele alınması önem taşımaktadır (Fombouchet vd., 2023).

Beceri hedefleri ile içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme arasında belirlenen pozitif ilişki (ρ=0,344; p<0,001) bulunmuştur. Bu sonuç, sosyal yeterliğini geliştirmeye yönelik hedefleri daha yüksek olan öğrencilerin yalnızca işlevsel değil, bazı içsel işlevsel olmayan stratejileri de daha sık bildirdiklerini göstermektedir. Bununla birlikte bu ilişki, içsel işlevsel olmayan stratejilerin sosyal gelişim açısından yararlı olduğu anlamına gelmemektedir. Ergenler, içinde bulundukları durumun özelliklerine göre işlevsel ve işlevsel olmayan farklı stratejileri birlikte kullanabilirler. Güncel duygu düzenleme yaklaşımları da belirli bir stratejinin işlevselliğinin, kullanıldığı bağlamdan ve bireyin ulaşmak istediği amaçtan bağımsız değerlendirilemeyeceğini vurgulamaktadır (Fombouchet vd., 2023). Dolayısıyla elde edilen sonuç, beceri hedefleri ile içsel işlevsel olmayan stratejilerin birlikte değiştiğini göstermektedir.

Performans yaklaşımı hedefleri ile dışsal işlevsel olmayan duygu düzenleme arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunmuştur (ρ=0,207; p=0,009). Performans yaklaşımı hedefleri, bireyin sosyal açıdan yeterli görünmeye, olumlu değerlendirilme kazanmaya ve sosyal statüsünü sergilemeye yönelmesini ifade etmektedir. Bu yönelimin, duyguların düzenlenmesinde başkalarına yönelme, çevreden gelen tepkilere bağımlı kalma veya uygun olmayan kişiler arası tepkiler gösterme gibi dışsal işlevsel olmayan stratejilerle ilişkili olabilir. Sosyal gösterim hedeflerinin saldırganlık ve daha olumsuz sosyal uyum göstergeleriyle ilişkili olabildiğini gösteren araştırmalar, bu sonucu desteklemektedir (Lee, 2018; Shin, 2021).

Performans kaçınma hedefleri ile içsel işlevsel duygu düzenleme arasında pozitif ve anlamlı bir ilişki belirlenmiştir (ρ=0,230; p=0,004). Performans kaçınma hedefleri olumsuz değerlendirilmekten veya sosyal açıdan yetersiz görünmekten kaçınmaya yöneliktir. Bu hedefleri benimseyen öğrenciler, sosyal durumlarda yaşadıkları olumsuz duyguları kontrol edebilmek amacıyla içsel işlevsel stratejilere daha fazla başvuruyor olabilirler. Sosyal başarı hedeflerinin sonuçları, hedeflerin tek başına olumlu veya olumsuz olarak sınıflandırılmasından daha karmaşık olabilmekte ve farklı hedeflerin birlikte benimsenmesine göre değişebilmektedir (Lee, 2018).

Araştırmada PDR hizmetlerinden yararlanan ve yararlanmayan öğrenciler arasında sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme stratejileri açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Bu bulgu, yalnızca öğrencilerin PDR hizmetlerinden yararlanma durumlarına göre oluşturulan grupların incelenen değişkenler bakımından farklılaşmadığını göstermektedir.

Regresyon analizinde beceri hedefleri için oluşturulan model istatistiksel olarak anlamlı bulunmuş ve model beceri hedeflerindeki varyansın %26,2'sini açıklamıştır. İçsel işlevsel duygu düzenleme (β=0,373; p<0,001) ile içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme (β=0,223; p=0,008), diğer duygu

düzenleme boyutları ve PDR hizmetlerinden yararlanma durumu modelde birlikte değerlendirildiğinde beceri hedeflerinin pozitif ve anlamlı yordayıcıları olarak belirlenmiştir. Modeldeki en yüksek standartlaştırılmış regresyon katsayısının içsel işlevsel duygu düzenlemeye ait olması, beceri hedefleriyle en belirgin ilişkinin bu strateji arasında bulunduğunu göstermektedir. Bu sonuç, sosyal yeterliğini geliştirmeye yönelik hedeflerle bireyin kendi duygusal yaşantısını işlevsel biçimde düzenlemesi arasındaki ilişkinin, diğer değişkenler kontrol edildiğinde de sürdüğünü ortaya koymaktadır. Sosyal hedeflerle psikolojik uyum arasındaki ilişkilerde duygu düzenlemenin rol oynayabildiğini gösteren önceki bulgular da sosyal hedefler ile duygu düzenleme süreçlerinin birlikte değerlendirilmesini desteklemektedir (Shim vd., 2017).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada lise son sınıf öğrencilerinin sosyal başarı hedefleri ile duygu düzenleme stratejileri arasındaki ilişkilerin alt boyutlara göre farklılaştığı belirlenmiştir. Beceri hedefleri içsel işlevsel, içsel işlevsel olmayan ve dışsal işlevsel duygu düzenlemeyle; performans yaklaşımı dışsal işlevsel olmayan, performans kaçınma ise içsel işlevsel duygu düzenlemeyle pozitif yönde ilişkili bulunmuştur. Regresyon analizinde yalnızca beceri hedeflerine ilişkin model anlamlıdır; içsel işlevsel ve içsel işlevsel olmayan duygu düzenleme bu boyutun anlamlı yordayıcılarıdır. PDR hizmetlerinden yararlanma durumuna göre öğrencilerin sosyal başarı hedefleri ve duygu düzenleme puanları anlamlı biçimde farklılaşmamıştır. Gelecek araştırmalarda PDR hizmetlerinin içeriği, süresi ve sıklığının dikkate alınması ve değişkenler arasındaki ilişkilerin boylamsal çalışmalarla incelenmesi önerilmektedir.

SINIRLILIKLAR

Çalışma grubunun İstanbul'da öğrenim gören ve kolay ulaşılabilir örneklemeyle belirlenen lise son sınıf öğrencilerinden oluşması, bulguların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Ayrıca PDR hizmetlerinden yararlanma yalnızca yararlanıp yararlanmama durumuna göre değerlendirilmiş; hizmetin içeriği, süresi ve niteliği incelenmemiştir.

KAYNAKÇA

Arslan, N., Turhan, N., Bingöl, T., Öztabak, M. Ü., & Çetintaş, Ş. (2018). Sosyal Başarı Hedefleri Ölçeğinin Türkçeye uyarlanması. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 47*, 39–58. https://doi.org/10.15285/maruaebd.315511

Duy, B., & Yıldız, M. A. (2014). Ergenler İçin Duygu Düzenleme Ölçeği'nin Türkçe'ye Uyarlanması. *Türk Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi, 5*(41), 23–35

Fombouchet, Y., Pineau, S., Perchec, C., Lucenet, J., & Lannegrand, L. (2023). The development of emotion regulation in adolescence: What do we know and where to go next? *Social Development, 32*(4), 1227–1242. https://doi.org/10.1111/sode.12684

Horst, S. J., Finney, S. J., & Barron, K. E. (2007). Moving beyond academic achievement goal measures: A study of social achievement goals. *Contemporary Educational Psychology, 32*(4), 667–698. https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2006.10.011

Karasar, N. (2020). Bilimsel araştırma yöntemi: Kavramlar, ilkeler, teknikler (32. basım). Nobel Akademik Yayıncılık.

Lee, E. J. (2018). Social achievement goals and social adjustment in adolescence: A multiple-goal perspective. *Japanese Psychological Research, 60*(3), 121–133. https://doi.org/10.1111/jpr.12189

Michou, A., Mouratidis, A., Ersoy, E., & Uğur, H. (2016). Social achievement goals, needs satisfaction, and coping among adolescents. *Personality and Individual Differences*, 99, 260–265. https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.05.028

Mouratidis, A., & Michou, A. (2011). Self-determined motivation and social achievement goals in children's emotions. *Educational Psychology, 31*(1), 67–86. https://doi.org/10.1080/01443410.2010.518595

Phillips, K. F. V., & Power, M. J. (2007). A new self-report measure of emotion regulation in adolescents: The Regulation of Emotions Questionnaire. *Personality and Individual Differences, 42*(8), 1451–1462. https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.09.037

Ryan, A. M., & Shim, S. S. (2006). Social achievement goals: The nature and consequences of different orientations toward social competence. *Personality and Social Psychology Bulletin, 32*(9), 1246–1263. https://doi.org/10.1177/0146167206289345

Shim, S. S., Wang, C., Makara, K., Xu, X.-G., Xie, L.-N., & Zhong, M. (2017). College students' social goals and psychological adjustment: Mediation via emotion regulation. *Journal of College Student Development, 58*(8), 1237–1255. https://doi.org/10.1353/csd.2017.0096

Shin, H. (2021). Early adolescents' social achievement goals and perceived relational support: Their additive and interactive effects on social behavior. *Frontiers in Psychology, 12*, Article 767599. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.767599

EFFECTS OF PERCUSSION MASSAGE THERAPY ON MUSCLE MECHANICAL PROPERTIES, FUNCTIONAL MOBILITY, BALANCE, AND JOINT POSITION SENSE IN INDIVIDUALS WITH CHRONIC POST-STROKE SPASTICITY: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

KRONİK İNME SONRASI SPASTİSİTESİ OLAN BİREYLERDE PERKÜSYON MASAJ TERAPİSİNİN KAS MEKANİK ÖZELLİKLERİ, FONKSİYONEL MOBİLİTE, DENGE VE EKLEM POZİSYON HİSSİ ÜZERİNE ETKİLERİ: RANDOMİZE KONTROLLÜ ÇALIŞMA

Hakan Polat, PhD, PT
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, SANKO University, Gaziantep, Turkey
ORCID: 0000-0002-3704-9081

Burak Menek, PhD, PT
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Bursa Uludağ University, Bursa, Turkey
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Istanbul Medipol University, Istanbul, Turkey
ORCID: 0000-0002-5206-0254

ABSTRACT

Background: Percussion massage therapy (PMT) is a mechanical stimulation-based intervention that may support neuromuscular and sensorimotor recovery after stroke. However, the effects of PMT in individuals with chronic post-stroke spasticity remain unclear. This study investigated the effects of PMT combined with conventional physiotherapy on lower-extremity muscle mechanical properties, functional mobility, gait performance, balance, and joint position sense in individuals with chronic stroke.

Methods: This single-blind randomized controlled trial included 34 individuals with chronic post-ischemic stroke and lower-extremity spasticity. Participants were randomly allocated to either the PMT group (n=17) or the conventional physiotherapy group (CT; n=17). Both groups participated in a conventional physiotherapy program three times per week for six weeks. In addition, the PMT group received PMT targeting the hip adductors, quadriceps, and gastrocnemius muscles. Muscle tone and stiffness were assessed using the Myoton device. Functional mobility was evaluated using the Timed Up and Go Test (TUG), gait performance with the 10-Meter Walk Test (10MWT), balance with the Berg Balance Scale (BBS), and proprioceptive accuracy using lower-extremity Joint Position Sense (JPS) assessment. Group × time interactions were analyzed.

Results: Significant group × time interactions favoring the PMT group were observed for muscle tone in the gastrocnemius ($p=0.008$, $\beta=-1.700$), quadriceps ($p=0.001$, $\beta=-5.139$), and hip adductors ($p=0.001$, $\beta=-3.682$). Muscle stiffness improved significantly only in the hip adductors ($p=0.037$, $\beta=-18.824$). Functional outcomes also demonstrated greater improvements in the PMT group, with significant group × time interactions for TUG ($p=0.001$, $\beta=-4.168$), 10MWT ($p=0.001$, $\beta=-5.501$), and BBS ($p=0.001$, $\beta=-11.136$). Improvements in JPS were greater in the PMT group for the hip ($p=0.001$, $\beta=-8.423$), knee ($p=0.001$, $\beta=-5.386$), and ankle ($p=0.041$, $\beta=-1.574$).

Conclusion: PMT combined with conventional physiotherapy may provide additional benefits in reducing lower-extremity muscle tone and improving functional mobility, gait performance, balance, and proprioceptive accuracy in individuals with chronic post-stroke spasticity. These findings should be interpreted cautiously because long-term follow-up and objective neurophysiological assessments were not performed. Further studies are warranted to clarify the sustainability and underlying mechanisms of these effects.

Keywords: Stroke; Percussion Massage Therapy; Mechanical Vibration; Proprioception; Joint Position Sense; Balance; Neurorehabilitation

ÖZET

Amaç: Perküsyon masaj terapisi (PMT), inme sonrası nöromüsküler ve sensorimotor iyileşmeyi destekleyebilecek, mekanik uyarıya dayalı bir müdahaledir. Ancak PMT'nin kronik inme sonrası spastisitesi olan bireylerdeki etkileri net değildir. Bu çalışma, konvansiyonel fizyoterapiyle birlikte uygulanan PMT'nin kronik inmeli bireylerde alt ekstremite kas mekanik özellikleri, fonksiyonel mobilite, yürüyüş performansı, denge ve eklem pozisyon hissi üzerindeki etkilerini araştırmayı amaçlamıştır.

Yöntem: Bu tek kör randomize kontrollü çalışmaya, kronik iskemik inme sonrası alt ekstremite spastisitesi olan 34 birey dahil edilmiştir. Katılımcılar rastgele olarak PMT grubuna (n=17) veya konvansiyonel fizyoterapi grubuna (KT; n=17) ayrılmıştır. Her iki grup da altı hafta boyunca haftada üç kez konvansiyonel fizyoterapi programına katılmıştır. Buna ek olarak, PMT grubuna kalça addüktörleri, kuadriseps ve gastroknemius kaslarını hedefleyen PMT uygulanmıştır. Kas tonusu ve sertliği Myoton cihazı ile değerlendirilmiştir. Fonksiyonel mobilite Zamanlı Kalk ve Yürü Testi (TUG), yürüyüş performansı 10 Metre Yürüme Testi (10MWT), denge Berg Denge Ölçeği (BDÖ) ve proprioseptif doğruluk alt ekstremite Eklem Pozisyon Hissi (EPH) değerlendirmesi ile ölçülmüştür. Grup × zaman etkileşimleri analiz edilmiştir.

Bulgular: PMT grubu lehine anlamlı grup × zaman etkileşimleri gastroknemius (p=0,008, β=-1,700), kuadriseps (p=0,001, β=-5,139) ve kalça addüktörleri (p=0,001, β=-3,682) kas tonusunda gözlenmiştir. Kas sertliği yalnızca kalça addüktörlerinde anlamlı olarak iyileşmiştir (p=0,037, β=-18,824). Fonksiyonel sonuçlarda da PMT grubunda daha fazla iyileşme görülmüş; TUG (p=0,001, β=-4,168), 10MWT (p=0,001, β=-5,501) ve BDÖ (p=0,001, β=-11,136) için anlamlı grup × zaman etkileşimleri saptanmıştır. EPH'deki iyileşmeler PMT grubunda kalça (p=0,001, β=-8,423), diz (p=0,001, β=-5,386) ve ayak bileği (p=0,041, β=-1,574) için daha fazla bulunmuştur.

Sonuç: Konvansiyonel fizyoterapiyle birlikte uygulanan PMT, kronik inme sonrası spastisitesi olan bireylerde alt ekstremite kas tonusunun azaltılmasında ve fonksiyonel mobilite, yürüyüş performansı, denge ve proprioseptif doğruluğun iyileştirilmesinde ek fayda sağlayabilir. Uzun dönem takip ve objektif nörofizyolojik değerlendirmeler yapılmadığından bu bulgular dikkatle yorumlanmalıdır. Bu etkilerin sürdürülebilirliğini ve altta yatan mekanizmalarını netleştirmek için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: İnme; Perküsyon Masaj Terapisi; Mekanik Vibrasyon; Propriosepsiyon; Eklem Pozisyon Hissi; Denge; Nörorehabilitasyon

INTRODUCTION

Stroke remains a major clinical condition requiring long-term rehabilitation despite advances in acute life-saving interventions, largely due to persistent neurological sequelae. According to the World Health Organization and Global Burden of Disease data, stroke was the third leading cause of death and disability worldwide in 2021, with approximately 11.9 million new stroke cases and more than 93 million stroke survivors reported globally. These figures highlight that stroke continues to represent a significant public health burden and underscore the critical importance of developing effective long-term rehabilitation strategies. [1]

One of the most common neuromuscular complications following stroke is increased muscle tone and spasticity. Spasticity, a core component of upper motor neuron syndrome, limits movement quality and may contribute over time to secondary musculoskeletal adaptations such as muscle shortening, stiffness, and contracture formation. Systematic reviews and meta-analyses have demonstrated that post-stroke spasticity affects approximately one-quarter of the overall stroke population, with even higher prevalence rates among individuals with paresis. In the chronic phase (typically ≥6 months), persistent hypertonia and associated neuromuscular and biomechanical alterations negatively influence functional outcomes such as gait speed, postural stability, and activities of daily living, thereby increasing fall risk and reducing quality of life. Although the clinical assessment of muscle tone commonly relies on subjective scales, increasing attention has recently been directed toward objective methods for evaluating muscle mechanical properties. In this context, myotonometry allows quantitative assessment of viscoelastic characteristics such as muscle tone, stiffness, and elasticity, and systematic reviews suggest that this method provides valid and reliable measurements in individuals with stroke. [2-4]

Spasticity management in clinical practice is generally approached through a multimodal framework. Current clinical guidelines recommend reducing nociceptive triggers, appropriate positioning and orthotic management, stretching exercises, and task-oriented rehabilitation as core treatment strategies. In addition, pharmacological approaches such as botulinum toxin injections, oral antispastic agents, and intrathecal baclofen may be incorporated into rehabilitation programs when appropriate. Nevertheless, despite these interventions, spasticity and related functional limitations frequently persist in many individuals during the chronic stage. This emphasizes the need to investigate novel adjunctive interventions capable of enhancing existing rehabilitation approaches. [5] Gait and balance impairments are among the most disabling long-term consequences of chronic stroke. Systematic reviews investigating post-stroke falls have identified impaired postural control and reduced mobility as highly prevalent and clinically significant issues within this population. Therefore, reliable assessment of gait performance is crucial for monitoring rehabilitation progress. The 10-Meter Walk Test (10MWT) is considered one of the most commonly used and well-established clinical tools for assessing gait speed in individuals with stroke. [6-8]

In addition to motor deficits, impairments in proprioceptive function may substantially affect functional performance after stroke. Damage to cortical and subcortical sensorimotor pathways may disrupt proprioceptive processing, resulting in diminished joint position sense and reduced movement accuracy. Proprioceptive deficits may particularly compromise neuromuscular responses required for balance control and coordinated functional activities. Previous studies have demonstrated that impaired joint position sense is associated with poorer balance performance and reduced mobility in individuals with stroke. Therefore, evaluating joint position sense may provide important insights into sensorimotor integration and functional limitations. Accordingly, joint position sense was included as an outcome measure in the present study as an indicator of proprioceptive function. [9-11]

In recent years, mechanically based soft-tissue interventions have increasingly been investigated as adjunctive treatment approaches for managing spasticity and muscle tone abnormalities. Systematic reviews and meta-analyses evaluating therapeutic massage interventions after stroke have reported beneficial effects on motor function and spasticity when combined with conventional rehabilitation. However, heterogeneity in intervention protocols and methodological limitations restrict the generalizability of these findings. Similarly, meta-analyses on vibration therapy have demonstrated significant improvements in spasticity and pain, although inconsistent findings have been reported regarding gait-related outcomes. [12-14]

Percussion massage therapy (PMT) is a mechanically based intervention increasingly used in rehabilitation and sports science settings through portable handheld devices. These devices generate repetitive high-frequency mechanical impulses to soft tissues, producing mechanical stimulation within muscle and fascial structures. Such stimulation may enhance local circulation, promote muscle relaxation, increase proprioceptive input, and contribute to pain modulation. Recent reviews indicate that percussion therapy is primarily associated with short-term improvements in range of motion and flexibility; however, evidence regarding long-term functional outcomes remains limited. [15, 16]

Most studies investigating percussion massage therapy have been conducted in healthy individuals or athletic populations. These studies suggest that short-duration percussive interventions may improve joint range of motion, whereas findings related to muscle strength and balance performance remain limited or inconsistent. In contrast, studies examining the effects of PMT on clinically meaningful outcomes such as muscle tone, gait, and balance in neurological populations, particularly individuals with chronic stroke, remain scarce. This highlights the need for further research to clarify the potential role of PMT in neurorehabilitation. [15-17] Therefore, the present study aimed to investigate the effects of percussion massage therapy on lower-extremity muscle mechanical properties, functional mobility, gait performance, balance, and joint position sense in individuals with chronic stroke. It was hypothesized that adding percussion massage therapy to a conventional physiotherapy program would reduce muscle tone and stiffness and contribute to greater improvements in functional mobility, gait performance, balance, and proprioceptive accuracy compared with conventional physiotherapy alone.

METHODS

2.1. Participants

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, and written informed consent was obtained from all participants prior to enrollment. Ethical approval was obtained from the SANKO University Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee (Protocol No: 2026/01-2). The study was prospectively registered at ClinicalTrials.gov (Identifier: NCT07454655). Recruitment and data collection were conducted between January and April 2026 at the Neurological Rehabilitation Unit of SANKO University Hospital. This randomized, parallel-group, single-blind clinical trial was conducted in accordance with the CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) guidelines.

The study was designed as a single-center randomized controlled trial including a total of 34 individuals with post-ischemic stroke who met the eligibility criteria. Inclusion criteria were: unilateral stroke in the chronic phase (≥6 months and ≤2 years), age between 40 and 65 years, presence of hemiplegia with lower-extremity dysfunction, Mini-Mental State Examination (MMSE) score ≥24, lower-extremity spasticity between grades 1 and 3 according to the Modified Ashworth Scale (MAS), full passive range of motion of the hip, knee, and ankle joints, and the ability to stand independently for at least one minute. Exclusion criteria included the presence of neurological, orthopedic, metabolic, or rheumatologic conditions affecting soft tissues, receipt of any treatment targeting spasticity within the previous three months, lower-extremity injury, and pregnancy. Participants were randomly allocated into either the PMT group (n=17) or Conventional Therapy group (CT; n=17) using a computer-generated randomization program (Randomizer.org). Allocation was performed according to enrollment order using an independent random assignment sequence. Block randomization was used to ensure balanced group allocation. The randomization list was generated prior to participant enrollment, and allocation was performed independently of treatment administration.

2.2. Procedures

Participants were recruited from individuals diagnosed with stroke at the SANKO University Hospital Neurology Outpatient Clinic and enrolled at the Neurological Rehabilitation Unit. Initially, 55 individuals were screened for eligibility. Forty participants met inclusion criteria and were enrolled. Of these, six participants were excluded due to unwillingness to continue participation or additional medical conditions. Consequently, the study was completed with 34 participants. Participants were randomly assigned to the PMT or CT groups using the web-based Randomizer.org platform. Participants remained blinded throughout the study, while all assessments and data collection procedures were performed by an assessor blinded to treatment allocation. Interventions were delivered by the same physiotherapist, who was not blinded. All participants received treatment three times weekly for six weeks, with each session lasting approximately 45–60 minutes. Assessments were conducted independently of treatment sessions at baseline and after completion of the intervention period.

2.3. Intervention

Both groups received a standardized physiotherapy program three times per week for six weeks under standard clinical conditions.

2.3.1. Conventional Therapy Group

Participants received treatment three times weekly for six weeks. Each session lasted approximately 60 minutes and included a 5-minute warm-up and a 5-minute cool-down period.

The exercise program included hip flexion, extension, abduction, adduction, knee flexion and extension, and ankle dorsiflexion and plantarflexion exercises. The program consisted of active and resisted exercises targeting lower-extremity muscle groups. Prior to strengthening exercises, warm-up procedures included dynamic and static stretching exercises targeting lower-extremity muscles surrounding the hip, knee, and ankle joints. Strengthening exercises consisted of bridge exercises, side-lying hip abduction exercises, seated knee extension exercises, hamstring curl exercises, and standing plantarflexion/dorsiflexion exercises. Resistance was applied using elastic resistance bands and ankle weights. Progressive resistance principles were implemented, with the initial load set at approximately

60% of one-repetition maximum (1RM), adjusted according to individual capacity. The number of repetitions and sets was individualized according to participants' clinical status and tolerance and progressively adjusted throughout the intervention period. Exercise intensity and volume were gradually increased according to participant performance. Neuromuscular electrical stimulation (NMES) was applied to the quadriceps and tibialis anterior muscles for 15 minutes to enhance muscle activation. Functional training included gait training within parallel bars, weight-transfer exercises, gait-pattern exercises designed to improve step symmetry, and step-up/step-down activities. Balance exercises progressed from static activities (double-leg and single-leg stance) to dynamic tasks involving weight shifting, directional changes, and adaptation to altered surfaces.

2.3.2. PMT Group

In addition to the conventional physiotherapy program, participants in the PMT group received percussion massage therapy.

Because stroke-related loss of supraspinal control commonly results in lower-extremity extensor synergy patterns accompanied by spasticity, PMT application was directed toward muscles associated with extensor synergy patterns and spasticity-related functional limitations.

PMT was delivered using the Hypervolt Go device (Hyperice, USA). Treatment targeted the hip adductors, quadriceps muscle group, and triceps surae (gastrocnemius–soleus complex). In muscles exhibiting spasticity, treatment was specifically applied along the muscle belly and musculotendinous junction. A standard round attachment was used at moderate intensity (33 Hz).

2.4. Outcome Measures

2.4.1. Primary Outcome Measures

The 10-Meter Walk Test (10MWT) was used to objectively assess gait speed. Walking time across the central 10 meters of a straight walking pathway was recorded and expressed in m/s. [18]

2.4.1.1. Timed Up and Go Test

The Timed Up and Go Test (TUG) was used to evaluate functional mobility. The test included standing up from a seated position, walking three meters, turning, returning, and sitting down again. Completion time was recorded in seconds. [19]

2.4.1.2. The Berg Balance Scale

The Berg Balance Scale (BBS) was administered to evaluate static and dynamic balance performance. The scale consists of 14 items scored from 0–56, with higher scores indicating better balance performance. [20]

2.4.1.3. Muscle Mechanical Properties

Muscle mechanical properties were assessed using the Myoton®PRO device. Measurements were performed on lower-extremity muscle groups, including the hip adductors, knee extensors, and ankle plantar flexors. The recorded parameters were frequency, which represents muscle tone; stiffness, which reflects mechanical muscle stiffness; decrement, which indicates muscle elasticity and damping capacity; and relaxation time, which reflects muscle relaxation dynamics and tonic regulation. This combination of parameters was used to objectively evaluate changes in muscle tone and mechanical properties and to provide a multidimensional assessment of treatment effectiveness. [20]

2.4.1.4. Joint Position Sense

Joint position sense (JPS) was assessed using an angle reproduction test with a goniometer. Assessments were performed during hip flexion, knee flexion, and ankle dorsiflexion. The tested joint was actively moved to a target angle and maintained for five seconds before returning to the starting position. Participants were then asked to reproduce the same position with their eyes closed. The angular difference between the target and reproduced position was recorded in degrees (°). Lower deviation values indicated better proprioceptive accuracy. [21]

2.5. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Python (Python Software Foundation) and IBM SPSS Statistics 22 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Descriptive statistics were presented as mean ± standard deviation (SD) for continuous variables and frequency (n) and percentage (%) for categorical variables. Normality of data distribution was assessed using the Shapiro–Wilk test. Considering the repeated-measures design and the robustness of Linear Mixed Models (LMM) to violations of normality, inferential analyses were conducted using a Linear Mixed Model approach.

Baseline comparisons between groups were performed using the Mann–Whitney U test for continuous variables and the Chi-square test for categorical variables.

A Linear Mixed Model was constructed to evaluate the effects of group (PMT vs CT), time (pre- and post-intervention), and their interaction. A random intercept for each participant was included in the model:

Value ~ Group × Time + (1 | Participant)

In this model, the main effect of time represents within-subject changes across measurement points, the main effect of group represents overall differences between groups, and the Group × Time interaction represents differential changes between groups over time.

Effect sizes were reported as regression coefficients (β), standard errors (SE), and 95% confidence intervals (CI). Statistical significance was set at $p < 0.05$.

RESULTS

When the demographic characteristics of the PMT and CG groups were compared, no statistically significant differences were observed between the groups with respect to gender, age, height, weight, and body mass index (BMI) ($p>0.05$). In the PMT group, 17 participants were evaluated, while 17 participants were included in the control group. Regarding gender distribution, 58.80% of the participants in the treatment group were male and 41.20% were female. In the CG, 64.70% of the participants were male and 35.30% were female. No statistically significant difference was found between the groups in terms of gender distribution ($p=0.724$). The mean age in the PMT group was 58.71±7.39, while it was 58.82±8.95 in the CG, demonstrating a similar distribution ($p=0.734$). The mean height in the PMT group was 163.41±7.93, compared with 163.59±7.19 in the CG, likewise indicating a similar distribution ($p=0.683$). The mean weight in the PMT group was 80.12±9.21, whereas it was 78.06±11.35 in the CG, again showing a similar distribution ($p=0.708$). The mean BMI in the PMT group was 30.63±4.86, compared with 28.89±3.31 in the control group, also reflecting a similar distribution ($p=0.29$). These findings indicate that the study groups were homogeneous in terms of demographic characteristics (Table 1).

Table 1. Demographic Characteristics of the Participants

Variable	**PMT (N=17) Mean±SD / n(%)**	**CG (N=17) Mean±SD / n(%)**	**P**
Gender, Male / Female	10 (58.8%) / 7 (41.2%)	11 (64.7%) / 6 (35.3%)	0.724
Age (years)	58.71±7.39	58.82±8.95	0.734
Height (cm)	163.41±7.93	163.59±7.19	0.683
Weight (kg)	80.12±9.21	78.06±11.35	0.708
BMI (kg/m²)	30.63±4.86	28.89±3.31	0.29

PMT, treatment group; CG, control group; BMI, body mass index; SD, standard deviation. Data are presented as mean ± SD. Group comparisons were performed using the Mann–Whitney U test. A p-value <0.05 was considered statistically significant.

In measurements of the gastrocnemius muscle, a decrease over time was observed in both groups for the F and S parameters. For the F variable, the Group×Time interaction was significant (β=-1.700), and a greater reduction was observed in the PMT group compared with the CG. However, for the S variable, the Group×Time interaction was not statistically significant ($p>0.05$). In the quadriceps muscle, a decrease over time was also observed in both groups for the F and S parameters. For the F variable, the

Group×Time interaction was significant (β=-5.139), indicating greater improvement in the treatment group. However, for the S variable, the Group×Time interaction was not statistically significant (p>0.05). In the hip adductor muscle, a decrease over time was observed in both the F and S parameters. The Group×Time interaction was significant for both F (β=-3.682) and S (β=-18.824), indicating a greater reduction in the PMT group compared with the CG (Table 2).

Table 2. Viscoelastic Properties of the Gastrocnemius, Quadriceps, and Hip Adductor Muscles

Variable	PMT Pre	PMT Post	CG Pre	CG Post	P-Time	P-Group	P-Group×Time	β	SE	95% CI (Group×Time)
Gastrocnemius – F	19.14±2.42	14.07±2.06	17.11±2.83	13.74±2.39	0.001*	0.012*	0.008*	-1.700	0.638	(-2.95)–(-0.45)
Gastrocnemius – S	341.24±56.26	274.94±47.43	315.47±62.60	272.76±39.95	0.001*	0.139	0.158	-23.588	16.721	(-56.36)–(9.18)
Quadriceps – F	30.23±3.76	22.36±4.51	28.42±3.23	25.70±4.52	0.001*	0.179	0.001*	-5.139	1.161	(-7.41)–(-2.86)
Quadriceps – S	300.65±58.66	251.35±49.76	286.24±67.57	244.47±50.51	0.001*	0.448	0.670	-7.529	17.640	(-42.1)–(27.05)
Hip Adductor – F	22.77±6.93	16.89±5.00	14.60±2.37	12.40±2.27	0.002*	0.001*	0.001*	-3.682	1.012	(-5.67)–(-1.7)
Hip Adductor – S	253.59±48.87	214.24±40.09	222.29±31.01	201.76±26.86	0.001*	0.013*	0.037*	-18.824	9.042	(-36.55)–(-1.1)

*PMT, treatment group; CG, control group; SD, standard deviation; F, frequency; S, stiffness; β, beta coefficient; SE, standard error; CI, confidence interval. Time, Group, and Group×Time effects were analyzed using linear mixed models. * p<0.05.*

For the Timed Up and Go Test, a decrease in scores over time was observed in both groups. The Group×Time interaction was statistically significant (β=-4.168), and greater improvement was observed in the treatment group compared with the control group. For the 10-Meter Walk Test, a more pronounced reduction was observed in the treatment group. The Group×Time interaction was significant (β=-5.501); however, the main effect of time was not statistically significant (p>0.05). The treatment group demonstrated greater improvement compared with the control group. For the Berg Balance Scale, changes in scores were observed in both groups over time. The Group×Time interaction was statistically significant (β=-11.136), and a more marked change was observed in the treatment group compared with the control group (Table 3).

Table 3. Timed Up and Go Test, 10-Meter Walk Test, and Berg Balance Scale Results of the Participants

Variable	PMT Pre	PMT Post	CG Pre	CG Post	P-Time	P-Group	P-Group×Time	β	SE	95% CI (Group×Time)
TUG (s)	23.12±8.54	16.51±5.96	19.55±3.34	17.10±3.32	0.001*	0.061	0.001*	-4.168	0.908	(-5.95)–(-2.39)
10MWT (s)	29.57±8.25	22.14±8.21	18.84±9.00	16.92±8.79	0.079	0.001*	0.001*	-5.501	1.526	(-8.49)–(-2.51)
BBS (score)	36.71±9.10	21.88±2.69	45.25±4.82	41.56±8.21	0.047*	0.001*	0.001*	-11.136	2.585	(-16.2)–(-6.07)

*SD, standard deviation; β, beta coefficient; SE, standard error; CI, confidence interval; TUG, Timed Up and Go Test; 10MWT, 10-Meter Walk Test; BBS, Berg Balance Scale. Time, Group, and Group×Time effects were analyzed using linear mixed models. * p<0.05.*

In hip joint JPS values, a decrease was observed in both groups over time. The Group×Time interaction was statistically significant (β=-8.423), and greater improvement was found in the treatment group compared with the control group. In knee joint proprioception values, a decrease was also observed in both groups. The Group×Time interaction was significant (β=-5.386), and more pronounced improvement was achieved in the treatment group compared with the control group. In ankle proprioception values, a decrease was observed in both groups. The Group×Time interaction was statistically significant (β=-1.574), and greater improvement was observed in the treatment group compared with the control group (Table 4).

Table 4. JPS Assessment Results of the Lower Extremity Joints of the Participants

Variable	PMT Pre	PMT Post	CG Pre	CG Post	P-Time	P-Group	P-Group×Time	β	SE	95% CI (Group×Time)
Hip JPS (°)	28.76±6.54	17.03±7.46	24.37±6.28	21.06±8.11	0.043*	0.068	0.001*	-8.423	2.276	(-12.88)–(-3.96)
Knee JPS (°)	27.06±6.63	18.24±6.54	18.12±5.12	14.69±4.27	0.002*	0.001*	0.001*	-5.386	1.546	(-8.42)–(-2.36)
Ankle JPS (°)	4.12±3.64	1.29±2.80	1.44±2.25	0.19±0.75	0.024*	0.002*	0.041*	-1.574	0.770	(-3.08)–(-0.06)

*JPS, joint position sense; SD, standard deviation; β, beta coefficient; SE, standard error; CI, confidence interval. Time, Group, and Group×Time effects were analyzed using linear mixed models. * p<0.05.*

DISCUSSION

This study investigated the effects of PMT added to CT on lower-extremity muscle mechanical properties, functional mobility, gait performance, balance, and JPS in individuals with chronic post-stroke spasticity. The primary findings demonstrated that PMT resulted in greater reductions in the frequency parameter, an indicator of muscle tone, in the gastrocnemius, quadriceps, and hip adductor muscles. Regarding muscle stiffness, significant improvement was observed only in the hip adductor muscle. Furthermore, participants in the PMT group demonstrated greater improvements in TUG, 10MWT, and BBS outcomes compared with the CT group, along with significant improvements in hip, knee, and ankle JPS accuracy. These findings suggest that PMT may represent a complementary intervention capable of supporting conventional rehabilitation in the management of neuromechanical and sensorimotor impairments associated with chronic post-stroke spasticity.

Spasticity, one of the most common and clinically significant symptoms following stroke, negatively affects functional performance by causing substantial limitations in gait, balance, mobility, and activities of daily living. [22] In the present study, the addition of PMT to conventional treatment resulted in greater improvements in lower-extremity muscle tone, suggesting that PMT may provide additional benefits in spasticity management. Regarding muscle stiffness, a significant reduction favoring PMT was observed only in the hip adductor muscle, whereas similar changes were found in the remaining muscle groups. This finding may indicate that PMT produces region-specific and muscle-specific effects. Given the important role of hip adductor muscles in post-stroke lower-extremity synergy patterns and their involvement in spasticity-related functional impairments, the observed changes in this muscle group may be clinically meaningful. Moreover, studies conducted in neurological populations have suggested that adductor muscles may exhibit greater sensitivity in terms of mechanical characteristics and that Myoton-derived stiffness parameters may vary heterogeneously across muscle groups. [23] Our findings are consistent with previous studies reporting that vibration- and massage-based mechanical interventions may reduce spasticity. Previous randomized controlled trials and meta-analyses have demonstrated beneficial effects of local vibration, functional massage, and various vibration modalities on post-stroke spasticity. [24-26] Mechanical vibration-based interventions, such as segmental muscle vibration, have been proposed to stimulate Ia afferent fibers and modulate spinal reflex activity, thereby exerting inhibitory effects on spasticity. These neurophysiological mechanisms may subsequently influence motor cortical excitability and contribute to improvements in motor function. [27-29] The literature suggests that the antispastic effects of vibration-based mechanical stimulation may be associated with multiple neurophysiological and mechanical mechanisms, including

increased cortical excitability, inhibition of spinal reflex pathways, and alterations in muscle viscoelastic properties. Similar mechanisms may also be relevant for PMT as a comparable mechanical stimulation-based intervention. Marconi et al. reported increased motor cortex activation and improvements in intracortical inhibition following repeated vibration interventions. [30] Similarly, Pope et al. demonstrated modulation of muscle tone through spinal reflex pathways. [31] In addition, alterations in muscle viscoelastic properties have also been associated with post-stroke spasticity. [32-34]

Balance impairment, gait dysfunction, and reduced functional mobility accompanying post-stroke spasticity represent major clinical problems that substantially affect independence and activities of daily living. Although improvements in gait, balance, and functional mobility parameters were observed in both groups, participants receiving PMT demonstrated greater improvements, particularly in gait performance and functional mobility outcomes. These findings suggest that PMT may provide additional benefits when incorporated into conventional rehabilitation programs. The observed improvements may be associated with reductions in muscle tone following PMT, potentially facilitating more efficient movement patterns and improved motor output.

Previous studies have reported beneficial effects of mechanical stimulation-based interventions on gait performance and postural control. Lee et al. demonstrated that local vibration stimulation improved postural stability and gait performance in individuals with chronic stroke, particularly in gait-related parameters. [35] These findings are consistent with the improvements observed in gait performance within the PMT group in the present study. In contrast, Burq et al. reported that adding whole-body vibration to routine physiotherapy did not provide additional benefits in 10MWT outcomes, with both groups demonstrating similar improvements. [36] These discrepancies may be attributable to differences in stimulation type, application site, and targeted muscle groups. Recent systematic reviews further emphasize that functional outcomes associated with mechanical vibration interventions may vary according to stimulation parameters, application characteristics, and target tissues. [37, 38] In the present study, PMT was locally applied to lower-extremity muscle groups commonly involved in post-stroke spasticity, which may have enabled more targeted neuromuscular stimulation and enhanced functional effects. This finding suggests that localized mechanical stimulation may induce more specific neuromuscular adaptations than generalized or whole-body interventions.

When balance performance was assessed using the BBS, greater improvements were observed in the PMT group compared with CT. This finding suggests that PMT may influence not only muscle tone but also sensorimotor control mechanisms. Considering the improvements observed in JPS, enhanced balance performance may be associated with increased proprioceptive feedback and improved neuromuscular coordination. Mechanical stimulation-based interventions have been proposed to activate peripheral mechanoreceptors and proprioceptive afferent pathways, thereby modulating postural control mechanisms and facilitating sensorimotor integration at the central nervous system level. [39] Previous studies have demonstrated that vibration and related mechanical stimulation interventions may positively influence postural control and balance performance. van Nes et al. reported short-term improvements in postural control following whole-body vibration in individuals with chronic stroke, whereas Karimi-AhmadAbadi et al. found beneficial effects of plantar vibration on balance performance. Similarly, Sade et al. reported favorable effects of vibration therapy on balance and gait outcomes. [40-42] Accordingly, the improvements observed in BBS outcomes within the PMT group may be associated with similar neurophysiological mechanisms involving enhanced proprioceptive input, improved sensorimotor integration, and modulation of postural control processes.

TUG results demonstrated greater improvements in functional mobility within the PMT group. Because TUG represents a multidimensional functional mobility assessment involving standing up, walking, turning, and sitting down, reductions in total test duration may reflect improvements in motor coordination, dynamic balance, and movement efficiency required for daily activities. Furthermore, TUG performance has been shown to be closely associated with balance capacity and fall risk in individuals with stroke. [43] These findings are consistent with previous research investigating the effects of gastrocnemius functional massage on lower-extremity spasticity, gait parameters, and fall risk in stroke patients. [26] Additionally, previous studies have suggested that mechanical stimulation and vibration-based interventions may improve functional mobility and support sensorimotor control mechanisms. Improvements in postural control and lower-extremity motor function may contribute to

enhanced performance in multidimensional functional assessments such as TUG. [27, 42] The improvements observed in TUG performance following PMT may therefore be associated not only with reductions in muscle tone but also with enhanced proprioceptive feedback, improved movement control, and more effective sensorimotor integration. Collectively, these findings suggest that PMT may influence broader neuromuscular processes beyond muscle mechanical characteristics alone.

When JPS outcomes were evaluated, greater improvements in hip, knee, and ankle proprioceptive accuracy were observed in the PMT group compared with CT. This finding suggests that PMT may exert beneficial effects not only on muscle tone but also on sensorimotor control processes. Following stroke, impairments in the proprioceptive system may adversely affect joint position perception, movement accuracy, and motor control. [44] The rhythmic mechanical stimulation provided by PMT may increase afferent sensory input through stimulation of muscle spindles, Golgi tendon organs, and joint mechanoreceptors. This enhanced proprioceptive input may facilitate sensorimotor integration and subsequently improve JPS accuracy. This interpretation is consistent with studies reporting that vibration-based interventions may modulate proprioceptive and motor functions through muscle spindle reflex pathways and cortical excitability mechanisms. [30, 31] Furthermore, studies specifically focusing on joint position sense support the clinical relevance of proprioceptive impairments in individuals with stroke and suggest the potential contribution of vibration-based interventions to improving proprioceptive accuracy. [45, 46]

Several aspects of this study may be considered strengths. First, conducting the study using a randomized controlled design in individuals with chronic post-stroke spasticity contributes methodologically to the interpretation of the findings. Furthermore, the objective assessment of muscle mechanical properties using the Myoton device and the simultaneous evaluation of multiple clinical outcomes, including muscle tone, functional mobility, balance, and JPS, allowed for a more comprehensive examination of the potential effects of PMT. Additionally, considering that existing PMT studies have predominantly been conducted in healthy individuals or athletic populations, the present study may provide preliminary evidence regarding the sensorimotor and functional effects of PMT in a neurological population.

Nevertheless, several limitations should be considered when interpreting the findings of this study. First, the relatively small sample size may limit the generalizability of the findings. Second, the absence of long-term follow-up assessments restricts conclusions regarding the sustainability of the observed clinical effects. In addition, although PMT parameters were standardized according to a predefined protocol, individual differences in tolerance and tissue characteristics may have influenced treatment responses. Moreover, although several neurophysiological mechanisms were proposed, electromyographic measurements, cortical excitability assessments, and other objective neurophysiological evaluations were not performed. Therefore, the proposed mechanisms could not be directly confirmed. Finally, although changes in gait performance and proprioception were evaluated, the lack of detailed gait analyses including step symmetry and kinetic-kinematic gait parameters may have limited a more comprehensive understanding of the mechanisms underlying the observed functional improvements.

CONCLUSION

In conclusion, PMT added to a conventional physiotherapy program was associated with reductions in lower-extremity muscle tone and greater improvements in functional mobility, gait performance, balance, and JPS in individuals with chronic post-stroke spasticity. These findings suggest that PMT may serve as a complementary approach capable of supporting conventional rehabilitation in managing neuromechanical and sensorimotor impairments associated with post-stroke spasticity. However, because long-term follow-up and objective neurophysiological assessments were not performed, the findings should be interpreted cautiously. Further large-scale, long-term, and mechanism-focused studies are warranted to confirm the clinical effectiveness, sustainability, and underlying mechanisms of PMT.

DECLARATIONS

Ethics Approval and Consent to Participate

The study was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki. Ethical approval was obtained from the SANKO University Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee (Gaziantep, Türkiye) (Protocol No: 2026/01-2). Written informed consent was obtained from all participants prior to enrollment. The study was prospectively registered at ClinicalTrials.gov (Identifier: NCT07454655).

Consent for Publication

Not applicable.

Availability of Data and Materials

The datasets generated and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Competing Interests

The authors declare that they have no competing interests.

Funding

This research received no external funding.

Authors' Contributions

H.P.: Writing – original draft, conceptualization, data retrieval, and writing – review and editing. B.M.: Project administration, data management, and writing – review and editing. All authors read and approved the final manuscript.

Acknowledgements

The authors would like to thank all stroke patients who voluntarily participated in this study.

REFERENCES

1. Feigin VL, Brainin M, Norrving B, Martins SO, Pandian J, Lindsay P, et al. World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet 2025. Int J Stroke. 2025;20:132–44. https://doi.org/10.1177/17474930241308142.
2. Mahmoudzadeh A, Nakhostin Ansari N, Naghdi S, Ghasemi E, Motamedzadeh O, Shaw BS, et al. Role of Spasticity Severity in the Balance of Post-stroke Patients. Front Hum Neurosci. 2021;15:783093. https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.783093.
3. Zeng H, Chen J, Guo Y, Tan S. Prevalence and Risk Factors for Spasticity After Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. Front Neurol. 2020;11:616097. https://doi.org/10.3389/fneur.2020.616097.
4. Garcia-Bernal M-I, Heredia-Rizo AM, Gonzalez-Garcia P, Cortés-Vega M-D, Casuso-Holgado MJ. Validity and reliability of myotonometry for assessing muscle viscoelastic properties in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. Sci Rep. 2021;11:5062. https://doi.org/10.1038/s41598-021-84656-1.
5. Baricich A, Chisari C, De Blasiis P, Millevolte M, Picelli A, Santamato A, et al. Good Clinical Practices for the Management of Post-Stroke Spasticity with BoNT-A: A Delphi-Based Approach from the Italian Expert Group. Toxins (Basel). 2026;18:94. https://doi.org/10.3390/toxins18020094.
6. Cheng DK-Y, Dagenais M, Alsbury-Nealy K, Legasto JM, Scodras S, Aravind G, et al. Erratum to: Distance-limited walk tests post-stroke: A systematic review of measurement properties. NeuroRehabilitation. 2022;51:351. https://doi.org/10.3233/NRE-228023.
7. Abdollahi M, Whitton N, Zand R, Dombovy M, Parnianpour M, Khalaf K, et al. A Systematic Review of Fall Risk Factors in Stroke Survivors: Towards Improved Assessment Platforms and Protocols. Front Bioeng Biotechnol. 2022;10:910698. https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.910698.

8. Salbach NM, MacKay-Lyons M, Howe J-A, McDonald A, Solomon P, Bayley MT, et al. Assessment of Walking Speed and Distance Post-Stroke Increases After Providing a Theory-Based Toolkit. J Neurol Phys Ther. 2022;46:251–9. https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000406.
9. Moore RT, Piitz MA, Singh N, Dukelow SP, Cluff T. The independence of impairments in proprioception and visuomotor adaptation after stroke. J Neuroeng Rehabil. 2024;21:81. https://doi.org/10.1186/s12984-024-01360-7.
10. Tulimieri DT, Semrau JA. Impaired proprioception and magnified scaling of proprioceptive error responses in chronic stroke. J Neuroeng Rehabil. 2024;21:51. https://doi.org/10.1186/s12984-024-01350-9.
11. Huang Q, Elangovan N, Zhang M, Van de Winckel A, Konczak J. Robot-aided assessment and associated brain lesions of impaired ankle proprioception in chronic stroke. J Neuroeng Rehabil. 2024;21:109. https://doi.org/10.1186/s12984-024-01396-9.
12. Cabanas-Valdés R, Calvo-Sanz J, Serra-Llobet P, Alcoba-Kait J, González-Rueda V, Rodríguez-Rubio PR. The Effectiveness of Massage Therapy for Improving Sequelae in Post-Stroke Survivors. A Systematic Review and Meta-Analysis. Int J Environ Res Public Health. 2021;18:4424. https://doi.org/10.3390/ijerph18094424.
13. Seo J-W, Kim J-D, Seok J-W. The Effects of Whole-Body Vibration on Spasticity in Stroke: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Clin Med. 2025;14:5966. https://doi.org/10.3390/jcm14175966.
14. Zeng D, Lei W, Kong Y, Ma F, Zhao K, Ye X, et al. Effects of vibration therapy for post-stroke spasticity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Biomed Eng Online. 2023;22:121. https://doi.org/10.1186/s12938-023-01176-x.
15. Ferreira RM, Silva R, Vigário P, Martins PN, Casanova F, Fernandes RJ, et al. The Effects of Massage Guns on Performance and Recovery: A Systematic Review. J Funct Morphol Kinesiol. 2023;8:138. https://doi.org/10.3390/jfmk8030138.
16. Skinner B, Dunn L, Moss R. The Acute Effects of Theragun Percussive Therapy on Viscoelastic Tissue Dynamics and Hamstring Group Range of Motion. J Sports Sci Med. 2023;22:496–501. https://doi.org/10.52082/jssm.2023.496.
17. Leabeater A, Clarke A, James L, Huynh M, Driller M. Under the Gun: The effect of percussive massage therapy on physical and perceptual recovery in active adults. Journal of Athletic Training. 2023.
18. Nagano K, Hori H, Muramatsu K. A comparison of at-home walking and 10-meter walking test parameters of individuals with post-stroke hemiparesis. J Phys Ther Sci. 2015;27:357–9. https://doi.org/10.1589/jpts.27.357.
19. Hafsteinsdóttir TB, Rensink M, Schuurmans M. Clinimetric properties of the Timed Up and Go Test for patients with stroke: a systematic review. Top Stroke Rehabil. 2014;21:197–210. https://doi.org/10.1310/tsr2103-197.
20. Fröhlich-Zwahlen AK, Casartelli NC, Item-Glatthorn JF, Maffiuletti NA. Validity of resting myotonometric assessment of lower extremity muscles in chronic stroke patients with limited hypertonia: a preliminary study. J Electromyogr Kinesiol. 2014;24:762–9. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2014.06.007.
21. Kütükcü B, Yana M. The relationship between shoulder pain and joint position sense, postural control, tactile sensation, and muscle strength in chronic hemiplegia. BMC Neurol. 2026. https://doi.org/10.1186/s12883-026-04924-3.
22. Sunnerhagen KS, Olver J, Francisco GE. Assessing and treating functional impairment in poststroke spasticity. Neurology. 2013;80(3 Suppl 2). https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3182764aa2.
23. Maden T, Polat H, Kiliçparlar Cengiz E. Characterization of the mechanical changes of adductor muscles in the lower extremities for patients with multiple sclerosis. Clin Biomech (Bristol). 2025;128:106606. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2025.106606.
24. Zeng D, Lei W, Kong Y, Ma F, Zhao K, Ye X, et al. Effects of vibration therapy for post-stroke spasticity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Biomed Eng Online. 2023;22:121. https://doi.org/10.1186/s12938-023-01176-x.

25. Chen Y-L, Jiang L-J, Cheng Y-Y, Chen C, Hu J, Zhang A-J, et al. Focal vibration of the plantarflexor and dorsiflexor muscles improves poststroke spasticity: a randomized single-blind controlled trial. Ann Phys Rehabil Med. 2023;66:101670. https://doi.org/10.1016/j.rehab.2022.101670.
26. Dengiz A, Sekeroz S, Baskan E, Kara G. Effects of gastrocnemius functional massage on lower extremity spasticity, spatio-temporal gait variables and fall risk in patients with stroke: A randomized controlled trial. PLoS One. 2025;20:e0332308. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0332308.
27. Yang F, Butler AJ. Efficacy of Controlled Whole-Body Vibration Training on Improving Fall Risk Factors in Stroke Survivors: A Meta-analysis. Neurorehabil Neural Repair. 2020;34:275–88. https://doi.org/10.1177/1545968320907073.
28. Zhang Q, Zheng S, Li S, Zeng Y, Chen L, Li G, et al. Efficacy and safety of whole-body vibration therapy for post-stroke spasticity: A systematic review and meta-analysis. Front Neurol. 2023;14:1074922. https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1074922.
29. Mortaza N, Abou-Setta AM, Zarychanski R, Loewen H, Rabbani R, Glazebrook CM. Upper limb tendon/muscle vibration in persons with subacute and chronic stroke: a systematic review and meta-analysis. Eur J Phys Rehabil Med. 2019;55:558–69. https://doi.org/10.23736/S1973-9087.19.05605-3.
30. Marconi B, Filippi GM, Koch G, Giacobbe V, Pecchioli C, Versace V, et al. Long-term effects on cortical excitability and motor recovery induced by repeated muscle vibration in chronic stroke patients. Neurorehabil Neural Repair. 2011;25:48–60. https://doi.org/10.1177/1545968310376757.
31. Pope ZK, DeFreitas JM. The effects of acute and prolonged muscle vibration on the function of the muscle spindle's reflex arc. Somatosens Mot Res. 2015;32:254–61. https://doi.org/10.3109/08990220.2015.1091770.
32. Kwah LK, Herbert RD, Harvey LA, Diong J, Clarke JL, Martin JH, et al. Passive mechanical properties of gastrocnemius muscles of people with ankle contracture after stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2012;93:1185–90. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.009.
33. Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2011;366:1466–76. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0316.
34. Picelli A, Tamburin S, Cavazza S, Scampoli C, Manca M, Cosma M, et al. Relationship between ultrasonographic, electromyographic, and clinical parameters in adult stroke patients with spastic equinus: an observational study. Arch Phys Med Rehabil. 2014;95:1564–70. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.011.
35. Lee S-W, Cho K-H, Lee W-H. Effect of a local vibration stimulus training programme on postural sway and gait in chronic stroke patients: a randomized controlled trial. Clin Rehabil. 2013;27:921–31. https://doi.org/10.1177/0269215513485100.
36. Ijaz Ahmed Burq HS, Karimi H, Ahmad A, Gilani SA, Hanif A. The effects of whole body vibration on gait after chronic stroke: A Randomized Controlled Clinical Trial. J Pak Med Assoc. 2021;71:2511–4. https://doi.org/10.47391/JPMA.711.
37. Zeng D, Lei W, Kong Y, Ma F, Zhao K, Ye X, et al. Effects of vibration therapy for post-stroke spasticity: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Biomed Eng Online. 2023;22:121. https://doi.org/10.1186/s12938-023-01176-x.
38. Xie H, Song H, Schmidt C, Chang W-P, Chien JH. The effect of mechanical vibration-based stimulation on dynamic balance control and gait characteristics in healthy young and older adults: A systematic review of cross-sectional study. Gait Posture. 2023;102:18–38. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2023.02.013.
39. Wiśniowska-Szurlej A, Leszczak J, Brożonowicz J, Ciąpała G, Hernández-Lázaro H, Sozańska A. Effectiveness of a rehabilitation program involving functional proprioceptive stimulation for postural control and motor recovery among stroke patients: a double-blinded, randomized, controlled trial. J Neuroeng Rehabil. 2025;22:147. https://doi.org/10.1186/s12984-025-01678-w.
40. van Nes IJW, Geurts ACH, Hendricks HT, Duysens J. Short-term effects of whole-body vibration on postural control in unilateral chronic stroke patients: preliminary evidence. Am J Phys Med Rehabil. 2004;83:867–73. https://doi.org/10.1097/01.phm.0000140801.23135.09.

41. Karimi-AhmadAbadi A, Naghdi S, Ansari NN, Fakhari Z, Khalifeloo M. A clinical single blind study to investigate the immediate effects of plantar vibration on balance in patients after stroke. J Bodyw Mov Ther. 2018;22:242–6. https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.04.013.
42. Sade I, Çekmece Ç, İnanir M, Selçuk B, Dursun N, Dursun E. The Effect of Whole Body Vibration Treatment on Balance and Gait in Patients with Stroke. Noro Psikiyatr Ars. 2020;57:308–11. https://doi.org/10.29399/npa.23380.
43. Persson CU, Danielsson A, Sunnerhagen KS, Grimby-Ekman A, Hansson P-O. Timed Up & Go as a measure for longitudinal change in mobility after stroke - Postural Stroke Study in Gothenburg (POSTGOT). J Neuroeng Rehabil. 2014;11:83. https://doi.org/10.1186/1743-0003-11-83.
44. Kessner SS, Schlemm E, Cheng B, Bingel U, Fiehler J, Gerloff C, et al. Somatosensory Deficits After Ischemic Stroke: Time Course and Association With Infarct Location. Stroke. 2019;50:1116–23. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.118.023750.
45. Piriyaprasarth P, Morris ME, Delany C, Winter A, Finch S. Trials needed to assess knee proprioception following stroke. Physiother Res Int. 2009;14:6–16. https://doi.org/10.1002/pri.405.
46. Xu P, Song J, Fan W, Zhang Y, Guan Y, Ni C, et al. Impact of whole-body vibration training on ankle joint proprioception and balance in stroke patients: a prospective cohort study. BMC Musculoskelet Disord. 2024;25:768. https://doi.org/10.1186/s12891-024-07906-z.

EXAMINATION OF WEBSITE FEATURES OF PUBLIC AND PRIVATE HOSPITALS: A STUDY IN AFYONKARAHİSAR PROVINCE

KAMU VE ÖZEL HASTANELERİN WEB SİTE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ: AFYONKARAHİSAR İLİNDE BİR ARAŞTIRMA

Öğr. Gör. Zuhal KAYA
Haliç Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu
ORCID: 0000-0002-3484-4979

ABSTRACT
This study aims to examine the website features of public and private hospitals in Afyonkarahisar comparatively, thereby revealing the current state and deficiencies of hospitals' digital communication strategies. The website characteristics of the hospitals were evaluated using a descriptive survey method and a comparative analytical approach. A structured checklist comprising seven primary categories of website attributes was utilized for data collection. The findings indicate that a degree of standardization has been achieved regarding fundamental patient requirements, such as contact information, access to laboratory results, and online appointment scheduling. Furthermore, public hospitals predominantly focus on organizational transparency and social utility, whereas private hospitals prioritize corporate marketing and the overall patient experience. None of the evaluated websites contained information regarding pricing, physician duty schedules, general patient satisfaction surveys, resources for international patients in the context of health tourism, or Joint Commission International (JCI) accreditation certificates. Consequently, it is emphasized that healthcare institutions must enhance their digital platforms by integrating robust data security protocols (privacy policies) to establish a more interactive, up-to-date, and international patient-oriented framework.
Keywords: Internet, Web Site Content, Hospital Web Sites.

ÖZET
Bu çalışma, Afyonkarahisar'daki kamu ve özel hastanelerin web sitesi özelliklerini karşılaştırmalı olarak incelemeyi ve böylece hastanelerin dijital iletişim stratejilerinin mevcut durumunu ve eksikliklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Hastanelerin web sitesi özellikleri, betimsel tarama yöntemi ve karşılaştırmalı analitik bir yaklaşım kullanılarak değerlendirilmiştir. Veri toplama sürecinde, web sitesi niteliklerinin yedi temel kategorisinden oluşan yapılandırılmış bir kontrol listesi kullanılmıştır. Bulgular; iletişim bilgileri, laboratuvar sonuçlarına erişim ve çevrimiçi randevu planlama gibi temel hasta gereksinimleri konusunda belirli bir standartlaşmanın sağlandığını göstermektedir. Ayrıca, kamu hastaneleri ağırlıklı olarak kurumsal şeffaflık ve toplumsal faydaya odaklanırken, özel hastaneler kurumsal pazarlama ve genel hasta deneyimine öncelik vermektedir. Değerlendirilen web sitelerinin hiçbirinde fiyatlandırma, hekim çalışma takvimleri, genel hasta memnuniyet anketleri, sağlık turizmi kapsamında uluslararası hastalara yönelik kaynaklar veya Joint Commission International (JCI) akreditasyon belgelerine ilişkin bilgilerin yer almadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, sağlık kurumlarının daha etkileşimli, güncel ve uluslararası hasta odaklı bir yapı oluşturmak adına güçlü veri güvenliği protokollerini (gizlilik politikaları) entegre ederek dijital platformlarını geliştirmeleri gerektiği vurgulanmaktadır.
Anahtar Kelimeler: İnternet, Web Site İçeriği, Hastane Web Siteleri.

INTRODUCTION
The Internet has created an unprecedented revolution in the computing and communications world. By uniting the capabilities provided by inventions such as the telegraph, telephone, and radio, it has offered a global medium for information dissemination and interaction among individuals regardless of geographic location. Over time, with the development of web technologies, a transition was made from static Hypertext Markup Language (HTML) pages to dynamic, interactive content featuring rich media integration. Today, artificial intelligence-supported designs, the automation of coding tasks, and personalized user experiences are completely reshaping the field of web development. In this transformation process, the role of web design has expanded significantly, becoming a critical factor in user interaction, engagement, and institutional success. In particular, it is emphasized that effective web

design characterized by simplicity, ease of navigation, clear and accurate content delivery is key to attracting and retaining users on the platform.

The growing importance of Internet technologies and websites manifests itself strongly in the healthcare sector as well. Hospital websites play a vital role in modern healthcare delivery by providing accessible health information to patients, facilitating interaction with the institution, and offering services that assist patients in health-related decision-making processes. Patients utilize websites as their first point of contact to acquire information regarding an institution's services, medical staff, appointment procedures, and general quality standards prior to visiting healthcare facilities.

In this context, the objective of this study is to evaluate the current status of websites, which serve as the digital face of healthcare institutions. Within the scope of this research, the websites of public and private hospitals operating in Afyonkarahisar province were comparatively examined in terms of fundamental features such as institutional information, target group and stakeholder information, health and product/service information, currency, and facilitative procedures. The study aims to guide healthcare institution managers and web designers by revealing standardized aspects and deficiencies in the digital communication strategies of hospitals.

CONCEPTUAL FRAMEWORK

The Internet has created an unprecedented revolution in the computing and communications world. The invention of the telegraph, telephone, radio, and computer laid the groundwork for this unprecedented integration of capabilities. The Internet is simultaneously a worldwide broadcasting capability, a mechanism for information dissemination, and a medium for collaboration and interaction among individuals and their computers regardless of geographic location (Leiner et al., 2009). With the widespread adoption of the Internet worldwide, World Wide Web (WWW) technology, developed by Tim Berners-Lee in the early 1990s, came into use. This first website was designed as a rather primitive, text-based information resource for sharing and linking documents globally (Challapalli et al., 2021).

Initially lacking multimedia features and characterized by a static, simple structure, websites over time became a critical platform for user engagement and interaction. Especially in the context of online services, attracting and retaining users is possible through effective web design characterized by simplicity, ease of navigation, and the presentation of clear, accurate content (Flavian et al., 2009). Subsequently, the development of scripting languages and server-side technologies facilitated the transition from static HTML pages to dynamic structures featuring rich media integration (Stolfi & Figueiró, 2025).

The current literature demonstrates that artificial intelligence (AI) technologies are creating new paradigms and transforming workflows in web development through the automation of coding tasks, AI-driven design, and personalized user experiences (UX) (Jadhav & Gholve, 2024). In the context of health informatics, the usability of hospital websites directly influences patients' preference for digital platforms and their ability to navigate the site to access accurate medical information (Kaur et al., 2025a; 2025b). Evaluation tools developed to identify primary usability issues in healthcare websites, alongside Delphi surveys conducted, have revealed that the parameters of highest importance in enhancing usability and user satisfaction are Property Protection, Reliability, and Privacy Protection. Optimizing these indicators enhances the success of digitalization processes and overall service quality (Liu & Park, 2024).

The UX design of medical interfaces such as hospital websites necessitates human-centered approaches that account for communication requirements, data privacy, and next-generation technologies, rather than a purely technological infrastructure. This design approach integrates principles of behavioral psychology with regulatory compliance to establish effective and secure interfaces (Familoni & Babatunde, 2024). In addition to all these, platforms serving the dissemination of health information to society must possess high accessibility standards for all population groups, including individuals with disabilities. This requirement is directly related to the readability of content and the comprehensibility of language. Data security measures implemented to protect patient confidentiality and robust content management systems constitute the fundamental building blocks of institutional trust in digital health platforms (Kaur et al., 2017).

Effective hospital websites encourage patient engagement by offering interactive services, patient portals, and community features. Websites optimized for mobile platforms and incorporating regional languages have achieved higher user engagement rates on cancer support NGO (Non-Governmental Organization) websites. Mobile optimization and language support have directly improved accessibility and retention. These findings highlight the importance of culturally sensitive, multilingual support to expand the reach and effectiveness of hospital websites (Kasture et al., 2025).

METHODOLOGY

The research is a descriptive and comparative review study aimed at determining the current status and features of hospital websites. It is limited to hospitals in Afyonkarahisar province. All hospitals in Afyonkarahisar, including both private and public institutions, were included in the research. Within the scope of the study, the websites of four hospitals were examined on 09.03.2025 one state hospital, one university hospital, and two private hospitals (Private Hospital-1 and Private Hospital-2). The websites of the hospitals were examined using a checklist/table structured around specific criteria. The checklist used in this study was constructed by Uğurluoğlu (2009). Data were collected by marking the presence or absence of features on the websites as "Available (✓)" or "Not Available (✗)". The websites were analyzed across seven main categories and sub-headings (e.g., appointment procedures, mission/vision, physician information, JCI accreditation information, etc.): Institutional Information, Target Group and Stakeholder Information, Health Information, Product/Service Information, Currency and Information, Facilitative Procedures, and Financial Information.

FINDINGS

A comparative analysis of corporate communication elements and digital features directed at target groups and stakeholders on the websites of public and private hospitals operating in the province of Afyonkarahisar is presented in Table 1.

Table 1: Website Features of Public and Private Hospitals in Afyonkarahisar

Website Feature	State Hospital	University Hospital	Private Hospital-1	Private Hospital-2
Institutional Information				
History	✓	✓	✓	✓
Telephone Number	✓	✓	✓	✓
Address information	✓	✓	✓	✓
Location map (map/location info)	✓	✓	✓	✓
Mission/vision statements	✓	✓	✓	✓
Current news about the institution	✓	✓	✗	✓
Intra-institutional announcements	✓	✓	✗	✓
News coverage in the press	✓	✓	✓	✓
Hospital logo	✗	✓	✗	✗
Parking information	✓	✓	✓	✓
Visitor information	✗	✓	✗	✓
Virtual tour	✗	✓	✗	✓
List of services/departments	✗	✓	✗	✗
Location of services/departments	✗	✓	✗	✗
Target Group and Stakeholder Information				
Patient-specific links	✓	✓	✗	✗
Consultant physician information	✗	✗	✓	✗
Telephone number	✗	✗	✗	✗
E-mail	✗	✗	✗	✗
Institutional physicians information	✓	✓	✓	✓
Name	✓	✓	✓	✓

Website Feature	State Hospital	University Hospital	Private Hospital-1	Private Hospital-2
Telephone number	✗	✓	✗	✗
E-mail	✓	✓	✗	✗
Biography	✓	✓	✓	✓
Photograph	✓	✓	✓	✓
Personnel training	✓	✓	✓	✓
E-newsletter/E-magazine	✗	✗	✗	✓
Donations (organ/blood)	✓	✓	✗	✗
Languages other than Turkish	✓	✓	✓	✓
Foreign patient information	✗	✗	✗	✗
Patient satisfaction survey	✗	✗	✗	✗
Patient rights	✓	✓	✓	✓

Source: *Uğurluoğlu, 2009.*

Findings Regarding Institutional Information

History is located in the 'about us' section on both public and private hospital websites. Telephone number, address information, and location map (map/location info) are likewise available on both public and private hospital websites. The mission and vision of the institution were available on all hospital websites. Current news about the institution and intra-institutional announcements are available on all hospital websites except for the Private Hospital-1 website. News coverage in the press regarding the institutions is available on all hospital websites. The hospital logo is not included on hospital websites other than the university hospital website. Parking information is available on all hospital websites. Visitor information is available on the university hospital and Private Hospital-2 websites, but is not available on the state hospital and Private Hospital-1 websites. Virtual tour is available on the university hospital and Private Hospital-2 websites, but is not available on the state hospital and Private Hospital-1 websites. The list of services/departments and the location of services/departments are included on the university hospital website, but are not included on other hospital websites.

Findings Regarding Target Group and Stakeholder List

Patient-specific links are available on public hospital websites, but are not available on private hospital websites. Consultant physician information is available as an online doctor consultation (for psychiatric patients) on the Private Hospital-1 website, but is not available on other hospital websites. The telephone number or e-mail address of the consultant physician was not included. Information regarding institutional physicians is available on both public and private hospital websites. Physicians' telephone numbers are available as landlines only on the university hospital website. Physicians' e-mail addresses are included on public hospital websites, but are not available on private hospital websites. Physicians' biographies and photographs are available in some of the physician profiles on both public and private hospital websites.

Personel training is included as planning on all hospital websites. E-newsletter/E-magazine is available as both an e-newsletter and an e-magazine on the Private Hospital-2 website, but is not available on other hospital websites. Donations (organ/blood) are available on public hospital websites, but are not available on private hospital websites. Languages other than Turkish are available on public and private hospital websites. Foreign patient information is not included on either public or private hospital websites. Patient rights are available on both public and private hospital websites. Patient satisfaction surveys are not included on either public or private hospital websites. Only the Private Hospital-2 website features an outpatient experience survey.

A comparative analysis of health information, product and service details, currency of information, facilitative procedures, and financial data provided on the websites of public and private hospitals operating in the province of Afyonkarahisar is presented in Table 2.

Table 2: Website Features of Public and Private Hospitals in Afyonkarahisar (continued)

Website Feature	State Hospital	University Hospital	Private Hospital-1	Private Hospital-2
Health Information				
General health information	✗	✓	✓	✓
Public health events	✗	✓	✓	✓
Recommended links for further info	✓	✓	✗	✗
Health event news	✓	✓	✓	✓
Search option	✓	✓	✓	✓
Product/Service Information				
Product and service information	✗	✓	✓	✓
Advertising links	✓	✓	✓	✗
Web designer	✗	✗	✓	✗
Accreditation information (JCI)	✗	✗	✗	✗
ISO 9001:2000 Quality Management System Certificate	✗	✗	✗	✓
Currency and Information				
Copyright date	✓	✓	✓	✓
Last update date	✓	✓	✗	✓
Privacy policy and terms of use	✗	✗	✓	✗
Facilitative Procedures				
Appointment procedures	✓	✓	✓	✓
Telephone	✓	✓	✓	✓
E-mail (e-appointment)	✓	✓	✓	✓
Laboratory results	✓	✓	✓	✓
Job application	✗	✗	✓	✗
Physician work schedule	✗	✗	✗	✗
Personnel procedures	✗	✓	✗	✗
Financial Information				
Prices	✗	✗	✗	✗
Tender information	✗	✓	✗	✗
Contracted institutions (Insurance info)	✓	✓	✓	✓

Findings Regarding Health Information

General health information is available on the university hospital, Private Hospital-1, and Private Hospital-2 websites, but is not available on the state hospital website. Public health events are available on other hospital websites except for the state hospital. Recommended links for further information are available on public hospital websites, but are not available on private hospital websites. Health event news is available on both public and private hospital websites. The search option is available on both public and private hospital websites.

Findings Regarding Product/Service Information

Product/service information is available on other hospital websites except for state hospital. Advertising links are available on the state hospital, university hospital, and Private Hospital-1 websites, but are not available on the Private Hospital-2 website. Web designer is included as a company name only on the Private Hospital-1 website. On other hospital websites, only the name of the institution was present. Accreditation information (JCI) is not available on either public or private hospital websites. The ISO

9001:2000 Quality Management System Certificate is specified only on the Private Hospital-2 website in the 'About Us' section as 'the first hospital to receive ISO quality', but document details are not provided.

Findings Regarding Currency and Information

The copyright date is available on both public and private hospital websites. Last update date is not available on the Private Hospital-1 website; it is available on other hospital websites. Privacy policy and terms of use are available on the Private Hospital-1 website, but are not available on other hospital websites.

Findings Regarding Facilitative Procedures

Appointment procedures are available on both public and private hospital websites. Telephone is available on both public and private hospital websites. E-mail (e-appointment) is available on both public and private hospital websites. Laboratory results are available on both public and private hospital websites. Job application is available on the Private Hospital-1 website, but is not available on other hospital websites. Physician work schedules are not available on either public or private hospital websites. Personnel procedures are available on the university hospital website, but are not available on other hospital websites.

Findings Regarding Financial Information

Prices are not included on either public or private hospital websites. Tender information is available at the university hospital, but is not available on other hospital websites. Contracted institutions (insurance information) are available on both public and private hospital websites.

DISCUSSION AND CONCLUSION

Hospital websites play a vital role in modern healthcare delivery by providing accessible health information to patients and consumers, facilitating interaction, and offering services that assist health-related decision-making processes. Across numerous studies, primary themes emerge regarding the evaluation, usability, accessibility, content quality, and user experience of hospital websites worldwide. When the research findings are analyzed, it is observed that a certain degree of standardization has been achieved regarding fundamental patient requirements on both public and private hospital websites. Basic institutional information such as history, address, contact numbers, mission-vision, parking information, and press coverage is included on all hospital websites. Furthermore, it was determined that facilitative features that simplify patients' access to healthcare services, such as online appointment procedures, access to laboratory results, and contracted institution (insurance) information, are actively used across all websites.

The websites of public and private hospitals differ in terms of the additional services they offer and their approaches to their target audiences:

Public Hospitals (Particularly the University Hospital): Focus more heavily on social utility, transparency, and corporate communication. Orientations such as patient-specific links, physicians' email addresses, recommended health links for further information, and organ/blood donation are included exclusively on public hospital websites. The university hospital also stands out as one of the most transparent platforms in terms of information access, providing tender information, personnel procedures, service locations, landline physician phone numbers, and hospital logo usage. In contrast, it is noteworthy that essential content such as 'general health information' and 'product/service information' is lacking on the state hospital website.

Private Hospitals: It is observed that private hospitals pursue distinct strategies among themselves on their websites. Private Hospital-1 differentiates itself with applications such as job applications, privacy policies, and online consultant physician services (for psychiatric patients); whereas Private Hospital-2 places greater emphasis on marketing and patient experience with virtual tours, e-newsletters/e-magazines, and an emphasis on the ISO 9001:2000 quality certificate.

Critical deficiencies were identified across all examined hospital websites in terms of contemporary healthcare management and digital communication standards:

Patient Feedback and Pricing: No hospital website contains service prices or physician work schedules. Furthermore, while a limited survey (outpatient) is present in only one hospital, general patient satisfaction surveys are absent across all sites.

Internationalization and Health Tourism: Despite the presence of different language options on the websites, the complete absence of 'foreign patient information' (health tourism/international patient info) across all institutions represents a major deficiency in terms of health tourism potential.

Accreditation and Security: JCI accreditation information, which demonstrates the international standards of hospitals, was not found on any website. Privacy policies and terms of use, which are critically important for reliability, are present in only one private hospital.

Hospitals should transform their websites from being mere one-way information tools into more interactive platforms by adding modules such as 'patient satisfaction surveys' and 'physician work schedules'. On websites offering foreign language options, 'Foreign Patient / International Patient Center' information tabs must be created to facilitate processes for patients arriving from abroad. In today's context, where digital rights and data security are gaining importance, it is essential for all hospitals to include 'privacy policies and terms of use' sections on their websites. International accreditation certificates such as JCI and ISO, which demonstrate service quality, should be shared on websites in a more detailed and visible manner to enhance patient trust.

REFERENCES

Challapalli, S. S. N., Kaushik, P., Suman, S., Shivahare, B. D., Bibhu, V., & Gupta, A. D. (2021, November). Web Development and performance comparison of Web Development Technologies in Node. js and Python. In *2021 International Conference on Technological Advancements and Innovations (ICTAI)* (pp. 303-307). IEEE.

Familoni, B. T., & Babatunde, S. O. (2024). User experience (UX) design in medical products: theoretical foundations and development best practices. *Engineering Science & Technology Journal*, *5*(3), 1125-1148.

Flavian, C., Gurrea, R., & Orus, C. (2009). Web design: a key factor for the website success. *Journal of Systems and Information Technology*, *11*(2), 168-184.

Jadhav, S. S., & Gholve, S. S. (2024). The impact of AI on web development. *International Journal of Scientific Research in Modern Science and Technology*, *3*(8), 07-12.

Kasture, S., Potdukhe, S., Kannan, R., Chauhan, P., Rakesh, N., & Bhardwaj, V. P. (2025, August). Guidelines for Effective User Interface and User Experience Design to Enhance Patient Engagement on Cancer Support NGO Websites. In *2025 International Conference on Artificial Intelligence and Machine Vision (AIMV)* (pp. 1-6). IEEE.

Kaur, A., Dani, D., & Agrawal, G. (2017, January). Evaluating the accessibility, usability and security of Hospitals websites: An exploratory study. In *2017 7th international conference on cloud computing, data science & engineering-confluence* (pp. 674-680). IEEE.

Kaur, A., Singh, J., & Kaur, S. (2025a). Automated framework for comprehensive usability analysis of healthcare websites using web parsing. *Scientific Reports*, *15*(1), 21834.

Kaur, A., Singh, J., & Kaur, S. (2025). Machine learning approach for optimizing usability of healthcare websites. *Scientific Reports*, *15*(1), 14450.

Leiner, B. M., Cerf, V. G., Clark, D. D., Kahn, R. E., Kleinrock, L., Lynch, D. C., ... & Wolff, S. (2009). A brief history of the Internet. *ACM SIGCOMM computer communication review*, *39*(5), 22-31.

Liu, X., & Park, K. (2024). Construction and ranking of usability indicators for medical websites based on website user experience. *Applied Sciences*, *14*(13), 5465.

Stolfi, A., & Figueiro, C. (2025). Audio on Web: From Sharing to Production. *Journal Of The Audio Engineering Society*, *73*(12).

Uğurluoğlu, Ö. (2009). İstanbul'daki hastanelerin web sitesi özellikleri üzerine bir inceleme. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi,* 12(1), 87-104.

EVALUATION OF YOUTUBE VIDEOS ON LANGUAGE AND SPEECH IN ALZHEIMER'S DISEASE: A METHODOLOGICAL STUDY

YOUTUBE'DAKİ ALZHEİMER'DA DİL VE KONUŞMA İLE İLGİLİ VİDEOLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ: METODOLOJİK ÇALIŞMA

Dkt. Gizem Büyükönder
Department of Speech and Language Therapy, Institute of Health Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1627-5320

Assoc. Prof. Dr. Mümüne Merve Parlak,
Department of Speech and Language Therapy, Institute of Health Sciences, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1603-2360

ABSTRACT

Purpose: Dementia has become one of the most significant health problems among the aging population worldwide, and Alzheimer's disease, which accounts for 60–70% of all dementia cases, is its most common form. Because impairments in language and speech directly affect the social interaction, daily communication, and care processes of individuals with Alzheimer's disease, diagnostic, educational, and therapeutic approaches in this area are of growing importance. Digital media and video-sharing platforms are increasingly used to access health information, allowing broad and heterogeneous audiences to be reached; however, the scientific accuracy, reliability, and informational quality of content shared on these platforms are not always guaranteed. YouTube, the third most visited website in the world, disseminates health-related content to a wide audience. In this context, evaluating how closely YouTube videos on language and speech in Alzheimer's disease adhere to scientific evidence is critical both for enabling patients and caregivers to access accurate information and for allowing healthcare professionals to provide guidance. This study aimed to systematically evaluate the content, reliability, and informational quality of YouTube videos related to language and speech in Alzheimer's disease.

Methods: In this descriptive, cross-sectional methodological study, a new YouTube account was created to eliminate the effect of personalization/search history, and a search was conducted on 16 October 2025 using the keyword "language and speech in Alzheimer's disease." Based on data from a previous similar study, the first 60 videos returned by the ranking algorithm were screened. Sponsored advertisements/product promotions, duplicate videos, videos unrelated to Alzheimer's disease, and inaccessible or deleted videos were excluded. Twenty-nine videos uploaded between 2011 and 2025 were included in the final analysis. The reliability and quality of the videos were independently assessed by two speech-language therapists using the modified DISCERN Scale (mDISCERN), the Journal of the American Medical Association (JAMA) benchmark criteria, and the Global Quality Scale (GQS). Video popularity was measured using the Video Power Index (VPI).

Results: The 29 analyzed videos had a mean of 174,880.48 views, 2,631.48 likes, and 90.72 comments. The mean mDISCERN score was 12.14 ± 5.99, the mean JAMA score was 2.28 ± 0.88, and the mean GQS score was 2.76 ± 1.15. As the VPI variable showed a non-normal distribution, it is reported as a median of 1512.28 (Q1: 15.24 – Q3: 458,202.06). Of the 29 videos, 15 (51.7%) were uploaded by healthcare professionals and 14 (48.3%) by individuals without a healthcare background. These findings indicate that the videos generally demonstrated a low-to-moderate level of quality and reliability.

Conclusion: YouTube presents significant potential for disseminating information on Alzheimer's disease and speech-language therapy; however, the current content was found to be insufficient in terms of scientific accuracy, reliability, and source transparency. Healthcare professionals, particularly speech-language therapists, should be encouraged to produce and share high-quality, evidence-based content on this platform, and mechanisms for monitoring the quality of health-related uploads should be developed.

Keywords: Alzheimer's Disease, YouTube, Speech-Language Therapy, Video Quality, Health Informatics.

ÖZET

Amaç: Demans, dünya genelinde yaşlanan nüfus arasında en önemli sağlık sorunlarından biri hâline gelmiştir ve tüm demans vakalarının %60-70'ini oluşturan Alzheimer hastalığı bu grubun en yaygın türüdür. Alzheimer hastalığı olan bireylerde görülen dil ve konuşma bozuklukları, sosyal etkileşimi, günlük iletişimi ve bakım süreçlerini doğrudan etkilediğinden, bu alandaki tanı, eğitim ve terapötik yaklaşımların önemi giderek artmaktadır. Dijital medya ve video paylaşım platformları, geniş ve heterojen kitlelere ulaşarak sağlık bilgisine erişimde giderek daha fazla kullanılmaktadır; ancak bu platformlarda paylaşılan içeriklerin bilimsel doğruluğu, güvenilirliği ve bilgi kalitesi her zaman garanti edilememektedir. Dünyanın en çok ziyaret edilen üçüncü web sitesi olan YouTube, sağlıkla ilgili içerikleri geniş bir kitleye ulaştırmaktadır. Bu bağlamda, Alzheimer hastalığında dil ve konuşmayla ilgili YouTube videolarının bilimsel kanıtlara ne ölçüde uygun olduğunun değerlendirilmesi, hem hastaların ve bakım verenlerin doğru bilgiye erişebilmesi hem de sağlık profesyonellerinin yönlendirme yapabilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Alzheimer hastalığında dil ve konuşmayla ilgili YouTube videolarının içerik, güvenilirlik ve bilgi kalitesini sistematik olarak değerlendirmektir.

Yöntem: Tanımlayıcı ve kesitsel nitelikteki bu metodolojik çalışmada, kişiselleştirme/arama geçmişinin etkisini ortadan kaldırmak amacıyla yeni bir YouTube hesabı oluşturulmuş ve 16 Ekim 2025 tarihinde "Alzheimer'da dil ve konuşma" anahtar kelimesiyle arama yapılmıştır. Daha önce yapılmış benzer bir çalışmadan elde edilen verilere dayanılarak, sıralama algoritmasının döndürdüğü ilk 60 video taranmıştır. Sponsorlu reklamlar/ürün tanıtımları, tekrar eden videolar, Alzheimer hastalığıyla ilgisi olmayan videolar ve erişilemeyen veya silinmiş videolar dışlanmıştır. 2011-2025 yılları arasında yüklenmiş 29 video nihai analize dahil edilmiştir. Videoların güvenilirliği ve kalitesi, iki dil ve konuşma terapisti tarafından bağımsız olarak, modifiye DISCERN Ölçeği (mDISCERN), Journal of the American Medical Association (JAMA) kıstasları ve Küresel Kalite Ölçeği (GQS) kullanılarak değerlendirilmiştir. Videoların popülerliği Video Güç İndeksi (VPI) ile ölçülmüştür.

Bulgular: Analiz edilen 29 videonun ortalama izlenme sayısı 174.880,48, ortalama beğeni sayısı 2.631,48 ve ortalama yorum sayısı 90,72'dir. Ortalama mDISCERN puanı 12,14 ± 5,99, ortalama JAMA puanı 2,28 ± 0,88 ve ortalama GQS puanı 2,76 ± 1,15 olarak bulunmuştur. VPI değişkeni normal dağılım göstermediğinden, medyan değeri 1512,28 (Q1: 15,24 - Q3: 458.202,06) olarak raporlanmıştır. 29 videonun 15'i (%51,7) sağlık profesyonelleri, 14'ü (%48,3) sağlık alanında geçmişi olmayan kişiler tarafından yüklenmiştir. Bu bulgular, videoların genel olarak düşük-orta düzeyde kalite ve güvenilirlik sergilediğini göstermektedir.

Sonuç: YouTube, Alzheimer hastalığı ve dil-konuşma terapisi konusunda bilgi yaymak açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır; ancak mevcut içeriklerin bilimsel doğruluk, güvenilirlik ve kaynak şeffaflığı açısından yetersiz olduğu belirlenmiştir. Başta dil ve konuşma terapistleri olmak üzere sağlık profesyonellerinin bu platformda yüksek kaliteli, kanıta dayalı içerik üretmeleri ve paylaşmaları teşvik edilmeli; sağlıkla ilgili içeriklerin kalitesini izleyecek mekanizmalar geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Alzheimer Hastalığı, YouTube, Dil ve Konuşma Terapisi, Video Kalitesi, Sağlık Bilişimi.

INTRODUCTION

As of 2021, approximately 57 million people worldwide were living with dementia, with around 10 million new cases reported each year; Alzheimer's disease is the most common form of dementia, accounting for 60–70% of all cases (World Health Organization [WHO], 2025). The progressive nature of the disease leads to marked deterioration not only in memory, executive function, and behavior but also in language and communication skills, directly affecting patients' activities of daily living and care processes. Language and speech impairments associated with dementia have a direct negative impact on patients' quality of life and communication abilities. Incorrect or insufficient information regarding the management of speech-language therapy can adversely affect the decisions of patients, families, and caregivers, and can make it more difficult to implement scientifically grounded interventions. Access to accurate, comprehensible, and up-to-date information for patients and caregivers is therefore of great importance.

The internet, and YouTube in particular, has become an increasingly popular source of health information. YouTube is the third most visited website in the world, and health-related content on the platform reaches a wide audience (Madathil et al., 2015). However, the quality and reliability of content on these platforms vary considerably. This situation makes the platform a valuable tool for facilitating access to accurate information, while at the same time creating a risky environment due to the rapid spread of erroneous or misleading content. Although the online popularity of content on language and speech in Alzheimer's disease has increased, the scientific accuracy and informational quality of these videos often remain uncertain. No study has yet systematically evaluated YouTube videos on language and speech in Alzheimer's disease. This study aims to fill this gap by evaluating the content quality and reliability of these videos using standardized scales, thereby establishing the scientific rationale for the need for evidence-based videos to be produced by healthcare professionals.

METHOD

Study Design

This is a descriptive, cross-sectional study.

Data Collection

To prevent user history from influencing the results, a new YouTube account was created for the study, and a search was conducted on the YouTube platform on 16 October 2025 using the keyword "language and speech in Alzheimer's disease." Based on data from a previously conducted similar study (Başaran, Koçak, & Cangi, 2023), the first 60 videos returned by the platform's ranking algorithm were screened. Sponsored advertisements/product promotions, duplicate videos, videos unrelated to Alzheimer's disease, and inaccessible or deleted videos were excluded. Twenty-nine videos uploaded between 2011 and 2025 were included in the final content analysis.

Assessment Scales and Evaluation Procedure

Modified DISCERN Scale (mDISCERN): A 5-item scale that rates information quality from 1 to 5, used to assess the reliability of the videos. The mDISCERN was developed with five items addressing clarity, reliability, bias/balance, provision of additional information sources, and areas of uncertainty; a score of ≥3 indicates good reliability, while a score of <3 indicates low reliability (Singh, Singh, & Singh, 2012).

Journal of the American Medical Association (JAMA) Benchmark Criteria: A scoring system developed to evaluate the transparency of publication information based on authorship, attribution, disclosure, and currency criteria. It consists of 4 items; a score of 0–1 indicates insufficient data in the video source, a score of 2–3 indicates partially sufficient data, and a score of 4 indicates fully sufficient data in the video source (Silberg, Lundberg, & Musacchio, 1997).

Global Quality Scale (GQS): A 1–5 point scale developed to evaluate the quality of internet-based resources. Scores of 1–2 indicate low quality, 3 indicates moderate quality, and 4–5 indicate high quality (Singh et al., 2012; Bernard et al., 2007; Kaşıkcı & Yıldırım, 2021).

Video Power Index (VPI): Used to measure the popularity of the videos. Consistent with previous studies, VPI was calculated in this study using the formula VPI = (number of likes × number of views) / 100 (Kunze et al., 2019; McMahon et al., 2022; Erdem & Karaca, 2018).

Evaluation Procedure

Assessments were carried out independently by two different speech-language therapists; for discrepant ratings, the average of the two scores was used. The videos analyzed were divided into three source groups: speech-language therapists, healthcare workers who were not speech-language therapists, and other individuals.

Data Analysis

Data were analyzed using IBM SPSS version 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). The GQS, mDISCERN, and JAMA scores, along with other video parameters, were summarized using descriptive statistics (mean and standard deviation). Because the VPI variable did not show a normal distribution,

the median and interquartile range (IQR) were used for this variable. The Pearson correlation test was used to determine the relationships between quality, reliability, and other video parameters. A p-value <0.05 was considered statistically significant.

FINDINGS

A total of 29 YouTube videos meeting the inclusion criteria were analyzed. The videos had a mean of 174,880.48 views, 2,631.48 likes, and 90.72 comments, indicating that content on language and speech in Alzheimer's disease reaches a considerable audience on the YouTube platform.

The scale scores of the 29 videos are presented in Table 1. The mean mDISCERN score was 12.14 ± 5.99, the mean JAMA score was 2.28 ± 0.88, and the mean GQS score was 2.76 ± 1.15. As the VPI variable did not show a normal distribution, the median for this variable is reported as 1512.28 (Q1: 15.24 – Q3: 458,202.06).

Table 1. Scale scores and VPI values for the analyzed videos

Scale/Variable	N	Min	Max	Mean ± SD
mDISCERN score	29	5	25	12.14 ± 5.99
GQS score	29	1	5	2.76 ± 1.15
JAMA score	29	1	4	2.28 ± 0.88
VPI (median, IQR)	29	—	—	1512.28 (15.24 – 458,202.06)

Regarding content source, 15 of the 29 videos (51.7%) were uploaded by healthcare professionals and 14 (48.3%) by individuals without a healthcare background, indicating that content on language and speech in Alzheimer's disease is shared on YouTube by both professional and non-professional sources. The relationships between video quality/reliability scores and video popularity indicators were examined using Pearson correlation analysis, evaluating the associations between quality scores and the number of views, likes, and comments.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This study found that YouTube videos on language and speech in Alzheimer's disease are generally of low-to-moderate quality. The mean GQS score of 2.76 and mean mDISCERN score of 12.14 point to inadequate content quality, while the mean JAMA score of 2.28 indicates that most videos also fall short in terms of source transparency. Similar reliability and quality concerns regarding YouTube as a source of health information have been reported in studies on related topics (Başaran et al., 2023; Kaşıkcı & Yıldırım, 2021).

In terms of VPI, the very wide IQR (15.24–458,202.06) around the median value (1512.28) reveals marked heterogeneity in popularity among the videos. This finding suggests that popularity is not directly related to content quality.

YouTube videos on language and speech in Alzheimer's disease generally exhibit insufficient quality and reliability. To prevent patients and caregivers from being exposed to misleading information, healthcare professionals—particularly speech-language therapists—should be encouraged to contribute high-quality, evidence-based content to this platform, and mechanisms should be developed to monitor the health-related content uploaded to it. Strengthening YouTube's oversight policies regarding health-related content is also recommended.

REFERENCES

Başaran, A., Koçak, A. N., & Cangi, M. E. (2023). YouTube ortamındaki otizm ile ilgili videoların dil ve konuşma terapisti bakış açısıyla incelenmesi. *Atlas Journal of Medicine*, 4(10), 73–80.

Bernard, A., Langille, M., Hughes, S., Rose, C., Leddin, D., & Veldhuyzen van Zanten, S. (2007). A systematic review of patient inflammatory bowel disease information resources on the World Wide Web. *American Journal of Gastroenterology*, 102(9), 2070–2077.

Erdem, M. N., & Karaca, S. (2018). Evaluating the accuracy and quality of the information in kyphosis videos shared on YouTube. *Spine*, 43(22), E1334–E1339.

Kaşıkcı, M. T., & Yıldırım, S. (2021). Alzheimer hastalığı bilgilendirmesinde kaynak olarak YouTube videolarının incelenmesi. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Tıp Dergisi*, 8(3), 215–219.

Kunze, K. N., Krivicich, L. M., Verma, N. N., & Chahla, J. (2019). YouTube as a source of information about the posterior cruciate ligament: A content-quality and reliability analysis. *Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation*, 1(2), e109–e114.

Madathil, K. C., Rivera-Rodriguez, A. J., Greenstein, J. S., & Gramopadhye, A. K. (2015). Healthcare information on YouTube: A systematic review. *Health Informatics Journal*, 21(3), 173–194.

McMahon, K. M., et al. (2022). YouTube and the Achilles tendon: An analysis of internet information reliability and content quality. *Cureus*, 14(4).

Silberg, W. M., Lundberg, G. D., & Musacchio, R. A. (1997). Assessing, controlling, and assuring the quality of medical information on the Internet. *JAMA*, 277(15), 1244–1245.

Singh, A. G., Singh, S., & Singh, P. P. (2012). YouTube for information on rheumatoid arthritis—A wakeup call? *The Journal of Rheumatology*, 39(5), 899–903.

World Health Organization. (2025). *Dementia*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia

PERINATOLOGY AND PATIENT SAFETY
PERİNATOLOJİ VE HASTA GÜVENLİĞİ

MSc. Belkıs Şule GÜNDÜZ
Graduate School of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-5546-3286

Asst. Prof. Dr. Seda KARAÇAY YIKAR
Graduate School of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1885-5376

Prof. Dr. Evşen NAZİK
Graduate School of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5464-4467

ABSTRACT
The perinatal period—which encompasses pregnancy, childbirth, and the postpartum period—is a critical phase that directly affects the health outcomes of the mother, the fetus, and the newborn. Preventable medical errors that occur during this period can increase maternal and neonatal mortality and morbidity, negatively impact the quality of care, and place a significant burden on the health care system. The purpose of this paper is to evaluate the concept of perinatal patient safety in light of the current literature, identify the primary risk factors that threaten patient safety, and highlight the role of obstetric nurses in the safe care process. The literature review was conducted in the PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL, Google Scholar, and Ulakbim databases. The search used the keywords “birth satisfaction”, “birth experience”, “postpartum”, “postpartum depression”, “maternal-infant bonding”, “breastfeeding” and “midwifery care” in both Turkish and English. In the literature, communication breakdowns, medication administration errors, incorrect patient identification, deficiencies in teamwork, failure to adhere to standard care protocols, and shortcomings in record-keeping and reporting systems are reported as key factors that negatively impact perinatal patient safety. Key practices for ensuring safe care include the safe administration of high-risk medications, evidence-based management of labor induction, early diagnosis and management of postpartum hemorrhage, prevention of infections, accurate patient identification, and effective interdisciplinary communication. Obstetric nurses play a key role in the early identification of risks, the implementation of safe care practices, the education of mothers and their families, the support of team coordination, and the development of a culture of patient safety. In conclusion, strengthening the safety culture, promoting evidence-based care protocols, supporting ongoing professional education, and implementing effective record-keeping and reporting systems are of great importance for improving perinatal patient safety. These approaches will contribute to enhancing maternal and neonatal safety and improving the quality of care.
Keywords: Perinatal patient safety, obstetric nursing, patient safety, maternal safety, newborn safety.

ÖZET
Perinatal dönem; gebelik, doğum ve doğum sonu süreci kapsayan, anne, fetüs ve yenidoğanın sağlık sonuçlarını doğrudan etkileyen kritik bir dönemdir. Bu süreçte meydana gelen önlenebilir tıbbi hatalar maternal ve neonatal mortalite ile morbiditeyi artırabilmekte, bakım kalitesini olumsuz etkileyebilmekte ve sağlık sistemine önemli yükler getirebilmektedir. Bu bildirinin amacı; perinatal hasta güvenliği kavramını güncel literatür doğrultusunda değerlendirmek, hasta güvenliğini tehdit eden başlıca risk faktörlerini ortaya koymak ve kadın doğum hemşirelerinin güvenli bakım sürecindeki rolünü vurgulamaktır. Literatür taraması PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL, Google Scholar ve Ulakbim veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Taramada “doğum memnuniyeti”, “doğum deneyimi”, “doğum sonu dönem”, “doğum sonu depresyon”, “anne-bebek bağlanması”, “emzirme” ve “ebelik bakımı” anahtar kelimeleri Türkçe ve İngilizce olarak kullanılmıştır. Literatürde iletişim eksiklikleri, ilaç uygulama hataları, yanlış hasta kimliklendirme, ekip çalışmasındaki yetersizlikler, standart bakım

protokollerine uyulmaması ve kayıt-raporlama sistemlerindeki eksiklikler perinatal hasta güvenliğini olumsuz etkileyen temel faktörler olarak bildirilmektedir. Güvenli bakımın sağlanmasında yüksek riskli ilaçların güvenli uygulanması, doğum indüksiyonunun kanıta dayalı yönetimi, postpartum hemorajinin erken tanılanması ve yönetimi, enfeksiyonların önlenmesi, doğru hasta kimliklendirme ve etkili disiplinlerarası iletişim temel uygulamalar arasında yer almaktadır. Kadın doğum hemşireleri; risklerin erken belirlenmesi, güvenli bakım uygulamalarının yürütülmesi, anne ve ailesinin eğitimi, ekip koordinasyonunun desteklenmesi ve hasta güvenliği kültürünün geliştirilmesinde önemli sorumluluk üstlenmektedir. Sonuç olarak; perinatal hasta güvenliğinin geliştirilmesi için güvenlik kültürünün güçlendirilmesi, kanıta dayalı bakım protokollerinin yaygınlaştırılması, sürekli mesleki eğitimlerin desteklenmesi ve etkin kayıt-raporlama sistemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşımlar, anne ve yenidoğan güvenliğinin artırılmasına ve bakım kalitesinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.
Anahtar Kelimeler: Perinatal hasta güvenliği, kadın doğum hemşireliği, hasta güvenliği, maternal güvenlik, yenidoğan güvenliği.

GİRİŞ

Hasta güvenliği, sağlık hizmetlerinden kaynaklı hataların önlenmesi ve hastaların zarar görmemesi için alınan önlemleri ifade eder. “Öncelikle zarar verme” kavramıyla tanınmaya başlayan hasta güvenliği, sağlık bakım hizmeti içindeki yasal düzenlemeler, finans, istihdam, sağlık bakım ortamı, tüketici katkıları, bakım sağlayıcı ve tüketicilerin eğitimi, sağlayıcıların katkıları ve iletişim gibi unsurlardan etkilenir. Sağlık hizmeti sunucularının temel amacı, hastanın herhangi bir zarar görmeden hizmet almasını sağlamaktır. Oluşan hatalar raporlanmalı ve bu raporlar incelenerek aynı hatanın tekrar meydana gelmemesi için düzeltici önlemler alınmalıdır. Bu süreçlerde belli standartlar uygulanmalı ve standartlar doğrultusunda hareket edilmelidir. Hasta güvenliği sağlanmadığında hastaların hatalara maruz kalma riski artar (Kurutkan, Orhan, & Kaygısız, 2017).

Perinatal hasta güvenliği, perinatal dönem boyunca (gebelik, doğum ve doğum sonrası erken dönem) anne, fetus ve yenidoğanın bakımında güvenliğin sağlanması ve önlenebilir hasta zararının azaltılması ile ilgilenen hasta güvenliği alt alanıdır. Perinatal bakımda meydana gelen tıbbi hatalar maternal/fetal/yenidoğan mortalite ve morbiditenin önemli nedenleri arasında yer aldığı için bu dönemde bakım güvenliğinin sağlanması sağlık profesyonelleri ve sağlık bakım sistemlerinin ortak hedefidir. Perinatal hasta güvenliğinin sağlanması, disiplinlerarası ekip çalışması, kurumsal destek, dikkatli planlama, etkin iletişim, standart protokollerin kullanımı ve doğru uygulamalarla risklerin azaltılmasını içerir. Bu kavramsal çerçeve kapsamında perinatal hasta güvenliği**,** anne ve bebek bakımında ortaya çıkabilecek önlenebilir zararlara karşı sistematik koruma ve risk azaltma çabalarını ifade eder. Hem klinik süreçler hem de sağlık bakım sistemlerinin organizasyonel işleyişini kapsar (Evcili & Gölbaşı, 2020).

PERİNATOLOJİ VE PERİNATAL BAKIM

Perinatoloji, yüksek riskli veya sorunlu gebelikleri belirleyen, anne karnındaki hastalıkların tanısı ve tedavisi ile ilgilenen bir bilim dalıdır (Çetinkaya & Sevil, 2016). Perinatal süreç; gebelik, doğum ve doğum sonu dönemin tamamını kapsamaktadır. Perinatal bakım; normal/riskli anne ve fetüs/yenidoğan bakımını bütüncül olarak ele alarak parçalanmadan sunan bir bakım yaklaşımıdır. Perinatal bakımın amacı, annenin ve yenidoğanın sağlığını koruma ve geliştirme, annede var olan veya bu süreçte görülen sağlık problemlerinin erken dönemde tanı ve tedavisini sağlama, mortalite ve morbidite oranlarını en aza indirebilmektir. Her kadının perinatal süreç boyunca optimal bakım alma hakkı vardır. Perinatal süreç boyunca kanıta dayalı uygulamaların kullanılması, anne, fetüs ve yenidoğana yönelik gereksiz ve zararlı girişimlerin en aza indirilmesini, maternal bakımda kalitenin artmasını ve bakımda standardizasyonu sağlayan temel faktörlerdir (Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi [DEUHFED], 2022).

HASTA HAKLARI KAVRAMI

Hasta hakları; kişi, hekim ve sağlık kurumları arasındaki hukuksal ilişkileri düzenlemeyi, bireyin sağlıklı bir yaşam sürmesini sağlamayı, hastanın temel insani ihtiyaçlarını karşılamayı ve tıbbi hizmet

sunumu sırasında insan haklarını gözetmeyi amaçlayan bir insan hakkı kavramıdır. Bu hak yalnızca tanınmakla kalmayıp kullanımına ilişkin usul ve esasları da kapsamaktadır (Kurt, 2022).
Hasta hakları, insan haklarıyla doğrudan bağlantılı olup sağlık hizmetlerinin bu haklar doğrultusunda düzenlenmesini gerektirir. Bu yönüyle hasta hakları, sağlık hizmetlerinin temel unsurlarından biridir. İnsan haklarının bir parçası olarak hastaların hakları, kişilerin insan olmasından kaynaklanan vazgeçilmez "insani değer hakları" niteliğindedir. Ayrıca diğer insan haklarının kullanılabilmesinin başlangıç noktası olarak da değerlendirilebilir; çünkü birey, sağlıklı olmadan diğer haklarını etkin biçimde kullanamaz. Bu bağlamda, anayasada yaşam hakkının güvence altına alınması hasta haklarını da kapsayan genel bir yaklaşımı ifade etmektedir (Kurt, 2022).
Hasta haklarının yasal düzenlemelere konu edilmesini gerekli kılan etkenler arasında nüfus artışı, tıbbi teknolojideki gelişmeler, sağlık hizmetlerinde müdahalelerin artması ve çeşitlenmesi ile sağlık hizmetlerine erişim sorunları bulunmaktadır. Bu gelişmeler "eşitlik ve hakkaniyet" ilkeleri doğrultusunda artan toplumsal ihtiyaçlar ve piyasa dinamiklerine karşı hastaları koruma amacıyla hasta haklarının hukuki çerçevede güvence altına alınmasını zorunlu kılmıştır (Kurt, 2022).

HASTA GÜVENLİĞİ KAVRAMI

Hasta güvenliği, sağlık bakım hizmetlerinin sunumu sırasında hastaların önlenebilir zararlardan korunması ve bu hizmetlerle ilişkili gereksiz zarar riskinin kabul edilebilir minimum seviyeye indirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2021). Günümüzde hasta güvenliği tıbbi hataların yalnızca bireysel düzeyde tespit edilmesinden ziyade hataların oluşmasını en başından engelleyecek sistemlerin tasarlandığı ve sürdürüldüğü bir "güvenlik kültürü" yaklaşımını temel almaktadır. Sağlık hizmeti sunumunun her aşamasında hasta güvenliğinin sağlanması ve buna bağlı olarak tıbbi hataların önlenmesi sağlık kurumlarının en öncelikli hedefleri arasında yer almaktadır (Çiçek Korkmaz, 2018).
Ulusal Tıp Enstitüsü (IOM), yayınladığı iki rapor ile sağlık hizmetlerinin en önemli sorunlarının hasta güvenliği, sağlık hizmetlerinde kalite ve tıbbi hatalar olduğunu bildirmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde yılda 44.000-98.000 kişinin tıbbi hatalardan dolayı öldüğü varsayılmaktadır. Nüfusa oranlı karşılaştırma yapıldığında Türkiye'de aynı tıbbi hizmet aynı riski oranları ile yılda 10. 280-22.900 ölüm olabileceği tahmin edilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre ise güvenli olmayan tıbbi uygulamalar nedeniyle 10 hastadan birinde yaralanma ya da ölüm olduğu ve bu oranın gelişmekte olan ülkelerde daha fazla olabileceği belirtilmektedir. Tıbbi bakım uygulamaları ile ilgili en sık karşılaşılan güvenli olmayan durumlara bakıldığında;

- İlaç uygulamasına bağlı gelişen advers etkiler %13,
- Tıbbi uygulamalardan kaynaklanan hatalar %16,
- Anestezi ve cerrahi hatalara yönelik yaralanmalar %19,
- Sağlık bakımı kaynaklı enfeksiyonlar %27,
- Güvenli olmayan enfeksiyon uygulamaları %30,
- Güvenli olmayan kan ve kan ürünleri uygulamaları %32,
- Gebe ve yeni doğan güvenliği %35,
- Yaşlıların güvenliği %40,
- Hastanelerde yaralanmalı düşmeler %43
- Bası yaraları %45 olarak tanımlanmaktadır (Dila Top & Ertem, 2016).

Sağlık hizmeti sunumunda kalite ve güvenliğin standardizasyonu amacıyla Joint Commission International (JCI) ve DSÖ tarafından uluslararası hedefler belirlenmiştir. Bu hedefler; hastanın kimliğinin doğru tanımlanması, çalışanlar arası etkili iletişimin geliştirilmesi, yüksek riskli ilaçların güvenliğinin sağlanması, doğru taraf/doğru işlem/doğru hasta cerrahisinin güvence altına alınması, sağlık hizmeti ile ilişkili enfeksiyon riskinin azaltılması ve düşmelerden kaynaklanan zararların önlenmesi ilkelerini içermektedir (JCI, 2020; T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020).

HASTA GÜVENLİĞİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Sağlık alanında bakım kalitesi son yıllarda ivme kazanmasına rağmen temeline inildiğinde çok eski tarihsel geçmişe sahip bir konudur. Hasta güvenliği kavramı, 1951 yılında kurulan Sağlık Bakım Organizasyonlarının Akreditasyonu'ndan sorumlu Birleşik Komisyon (Joint Commission International

– JCI) tarafından sağlık hizmetlerinde kalite ve güvenliği artırmak amacıyla başlatılan çalışmalarla gündeme gelmiştir. Ancak sağlık sistemine geniş ölçüde entegrasyonu, 1960'lardan sonra gerçekleşmiştir. Ernest Codman 1955 yılında hasta güvenliğinin ilk temelini atarak konuyla ilgili dikkatleri üzerine toplamıştır. Hasta çıktılarını izlemek amacıyla hasta sonuçları ve komplikasyonları ile ilgilenen Codman, hasta güvenliği girişimleri hakkında hiç bilgi vermemiştir. Nitekim sadece hasta sonuçlarının ölçülmesi ve raporlaştırılması kavramları ile bakım kalitesini geliştirmeye katkı sağlamıştır. Konunun öncelikli sorun haline gelmesi IOM (Ulusal Tıp Enstitüsü) tarafından yayınlanan raporlar ile hasta güvenliği konusunda araştırmalar ve çalışmalar hız kazandırarak farkındalığı artırmıştır (Çiçek Korkmaz, 2018).

Tablo 1'de 1955-2003 tarihleri arasında hasta güvenliği ve kalitesi ile ilgili önemli çalışmalar kronolojik olarak verilmiştir.

Tarih	Olaylar
1955	-Codman'ın hasta çıktıları üzerine yoğunlaşması
1984	-Anestezi Hasta Güvenliği Vakfı tarafından New York'ta Harvard Tıp Uygulama Çalışması"nın kurulması,
1992	-Colorado / Utah'ta Tıbbi Uygulama Çalışması'nın yapılması
1995	-Birinci Annenberg Hasta Güvenliği Konferansı'nın düzenlenmesi
1996	Hasta güvenliği ile ilgili çalışmalar hız kazanmış ve politikacılar konu ile ilgili düzenlemelerin içinde yer almaya başlamışlardır. Bu yılın önemli olayları; -Ulusal Hasta Güvenliği Vakfı'nın kurulması -ABD Başkanı Clinton tarafından Sağlık Bakım Endüstrisi'nde Kalite ve Tüketicinin Korunması Danışma Komisyonu'nun Kurulması -Ulusal Koalisyon IOM Sağlık Bakımı Komisyonları ile birlikte RAND (Amerikan Araştırma ve Geliştirme Kuruluşu) için ABD bakım kalitesine kanıt sunmak üzere akademik alan yazının gözden geçirilmesi -Harvard Üniversitesi'nde Hasta Güvenliği ve Tıbbi Hatalar Yönetim Kürsüsü'nün açılmasıdır ve ilk toplantısının yapılmasıdır.
1997-1998	1997-1998 yılları arasında hasta güvenliği ile ilgili çalışmalara bu konu ile ilgili araştırma sonuçlarının yer aldığı raporlar yön vermiş ve bu raporlar kamuoyu ile paylaşılmıştır. Bu yılların önemli olayları; -IOM tarafından, Teknik Danışma Paneli'nin 1997–1998 yılları arasındaki çalışmaları Devlet Kalite Komisyonları'na eklemek üzere güncelleme çalışması yapması, -Amerika Birleşik Devletleri Başkanı Clinton tarafından "IOM Tüketiciyi Koruma ve Kalite Danışma Komisyonu'nun bir sonucu olarak "Amerika Sağlık Bakımında Kalite ve Kurumlar arası Kalite Koordinasyonu Görev Gücü Projesi'nin başlatılması, -Amerika Birleşik Devletleri Başkan Yardımcısı Gore tarafından "Ulusal Forum'da Sağlıkta Kalite Ölçümleri ve Raporları"nın yayınlanması, -Tıp Enstitüsü'nün "Ulusal Sağlık Bakımı ve Kalite Yuvarlak Masa" toplantısında üç tip kalite sorununun (aşırı, yetersiz, kötü kullanım) tanımlanması, -IOM'ın "Sağlık Bakımı Kalite Komitesi" tarafından "İnsan Hata Yapar: Daha Güvenli Bir Sağlık Sisteminin Oluşturulması Raporu'nun yayınlanması
2000	Bakım kalitesini arttırmak için kalite ve hasta güvenliği ile ilgili standartlar oluşturulmaya başlamıştır. 2000 yılındaki çalışmalar; -Sağlık Politikası ve Sağlık Araştırma Ajansı'nın isminin, Sağlık Araştırma ve Kalite Ajansı olarak değiştirilmesi, -Leapfrog grup tarafından "İşveren Yuvarlak Masası"nın kurulması, -IOM tarafından "Kalite Uçurumlarını Aşmak" adlı raporun yayınlanması, -Birleşik Komisyon tarafından "Güvenlik Standartları Raporu"nun yayınlanması, -Hasta Güvenliği Konferansı öncülüğünde "Hasta Güvenliği Ortakları"nın kurulması, -Sağlık Araştırma ve Kalite Ajansı'nın alt birimi olarak "Kalite İyileştirme ve Hasta Güvenliği Merkezi"nin (CQuIPS) kurulması, -Kurumlararası Kalite Koordinasyonu Görev Gücü (QuIC) ve AHRQ tarafından "Hasta Güvenliği Araştırma Ajandası"nın yayınlanması
2001	-Ulusal Hasta Güvenliği Görev Gücü (FDA, AHRQ, CDC, CMS) kurulması
2002	Sağlık sigorta şirketleri de 2002 yılında hasta güvenliği konusuna dahil olduklarını gösteren çalışmalar yapmışlardır. Yapılan çalışmaların başlıcaları; -IOM tarafından "Ulusal Sağlık Bakım ve Kalite Planı Raporu"nun yayınlanması, Birleşik Komisyon tarafından "6 Ulusal Hasta Güvenliği Hedefleri"nin yayınlanması, -Medicare ve Medicaid Hizmet Merkezleri tarafından ve tıbbi hataların azaltılması dahil performans iyileştirme ve kalite değerlendirmeleri için katılım koşullarının yayınlanması

2003	-"Uluslararası Birleşik Komisyon" tarafından yeni araştırma sürecinde "Halkın Sağlığını Arttırma Stratejileri Vizyonu"nun duyurulması, -IOM tarafından "Ulusal Eylem İçin Öncelikli Alanlar" adlı raporun yayınlanması, -Medicare ve Medicaid Hizmet Merkezleri tarafından ve tıbbi hataların azaltılması dahil performans iyileştirme ve kalite değerlendirmeleri için katılım koşullarının yayınlanması, -"Hasta Güvenliği ve Kalite Geliştirme Yasası 2003"ün (HR 877) Ev Komitesi tarafından onaylanması, -FDA'nın, ilaç kodlamanın gerekli kurallarını açıklaması, -Sağlık Araştırma ve Kalite Ajansı tarafından hasta güvenliği göstergeleri ve web tabanlı kalite ölçümleri kitabının yayınlanması, -Sağlık Geliştirme Enstitüsü tarafından interaktif kalite kaynaklarının geliştirilmesidir.

Tablo 1. Hasta Güvenliği ve Kalitesi İle İlgili Önemli Çalışmalar

Amerika Birleşik Devletleri'nde 2007 yılında Hasta Güvenliği Uzlaşı Raporu yayınlanmıştır (Çiçek Korkmaz, 2018).

PERİNATAL HASTA GÜVENLİĞİ

Perinatal dönem, gebeliğin 20. haftasından başlayıp yeni doğan yaşamının ilk haftasına kadar devam eden riskli bir dönemdir. Bu dönemde anne ve bebeğin sağlık bakımının en önemli parçasını perinatal hasta güvenliği oluşturmaktadır. Perinatal hasta güvenliğinin amacı, anne ve bebeğin güvenli bir ortamda bakımını sağlamak ve perinatal dönemdeki ölümleri en aza indirmektir. Hasta güvenliğini etkileyen faktörler arasında iyi tanımlanmamış görevler, ihlaller, bilgi eksikliği, iletişim zayıflığı, yanlış kayıt, bilginin paylaşılmaması, zaman kısıtlılığı, yetersiz ekip ve uygunsuz çevre şartları yer almaktadır (Dila Top & Ertem, 2016).

Yapılan bir çalışmada, hastanedeki tıbbi hataların %80,8'inin iletişim kaynaklı, %65,4'ünün sistem kaynaklı ve %67,3'ünün insan kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Gökdoğan & Yorgun, 2010). Bir diğer çalışmada ise iş ortamından kaynaklanan hataları birinci sırada, iletişim eksikliğinden kaynaklanan hataları ikinci sırada, hekim ve hemşire kaynaklı hataları üçüncü sırada raporlamıştır (Işık, Akbolat, Çetin, & Çimen, 2012). Perinatal hasta güvenliğini sağlamaya yönelik girişimler:

- Profesyonel kodu oluşturma ve uygulama,
- Hastane kaynaklı enfeksiyonları azaltma,
- Doğru hasta tayini,
- Bakım sağlayanlar arasında etkili iletişimin sağlanması ve işbirliği,
- Obstetrik hasta güvenliği için kurumlar arası işbirliği,
- Personel becerisini artırma,
- Hasta güvenliğinin yönetim öncelikleri arasında yer alması,
- Hasta güvenliğinin kurumsal bir sorumluluk olarak benimsenmesi,
- Klinik uygulamaların ve politikaların gözden geçirilmesi,
- Etkili Elektronik Fetal Monitörizasyon (EFM) sertifika programlarının düzenlenmesi,
- Hasta güvenliği kültürünün değerlendirilmesi ve geliştirilmesi,
- Tam ve doğru tıbbi kayıt tutma olarak sıralanabilmektedir (Dila Top & Ertem, 2016).

Kadın hastalıkları, doğum ve yenidoğan hemşireliği uygulamalarında hasta güvenliği**,** maternal ve fetal/neonatal sonuçların optimize edilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Perinatal dönemde maternal, fetal ve yenidoğan güvenliğinin sağlanması tüm sağlık çalışanları için ortak bir hedeftir; çünkü anne ve bebekle ilgili olumsuz bir durum ciddi ve yıkıcı sonuçlar doğurabilir (Arora ve ark., 2016).

Doğum salonlarında ve yenidoğan yoğun bakım ünitelerinde, anne-bebek kimlik doğrulama süreçlerindeki hataların önlenmesi ve yenidoğanın ilk bakımına yönelik güvenlik uygulamalarının eksiksiz yerine getirilmesi hasta güvenliğinin temel bileşenlerindendir (Yaman Şengül ve ark., 2016). Buna ek olarak jinekolojik cerrahi girişimlerde Güvenli Cerrahi Kontrol Listelerinin rutin ve etkin kullanımı, hemşirelerin hasta güvenliği kültürünü destekler ve postoperatif komplikasyonları azaltan kanıta dayalı bir stratejidir. Yüksek riskli obstetrik acillerin yönetiminde, kimliklendirme hataları, iletişim problemleri ve ilaç güvenliği hatalarına karşı klinik yönergeler ve kontrol listelerinin kullanılması perinatal hasta güvenliği uygulamalarının kilit unsurlarını oluşturur (Arslan ve ark., 2020).

PERİNATOLOJİDE HASTA GÜVENLİĞİNİ TEHDİT EDEN FAKTÖRLER

Perinatal dönem, tıbbi hatalar nedeniyle hem annenin hem de fetüsün zarar görme riskinin arttığı; bununla birlikte doğru ve zamanında müdahaleler ile zarar görme riskinin azaltılabileceği ve böylece sağlık bakımı kalitesinin artırılabileceği önemli bir zaman dilimidir. Perinatal hasta güvenliği sağlanarak bebek ve annenin gebelik, doğum ve doğum sonrası dönemde mümkün olan en güvenli şekilde bakım almasını sağlamak, anne ve bebek ölümlerini önlemek mümkündür. Perinatal hasta güvenliğinin alanı oldukça geniştir, bu kapsamda ele alınan konular Tablo 2'de verilmiştir (Evcili & Gölbaşı, 2020). Perinatal hasta güvenliği kapsamında ele alınan konulardan bazıları aşağıda ayrıntılı olarak incelenmiştir:

Tablo 2. Perinatal hasta güvenliği kapsamında ele alınan konular

Klinik Konular:
İlaç güvenliği (Oksitosin, misoprostol, magnezyum sülfat) Elektif doğum zamanı Doğum indüksiyonu Uterin taşisistolün yönetimi İntrauterin resusitasyon Sezaryen doğum riskini azaltmak Doğumun II. evre bakımı Operatif vajinal doğum Rutin epizyotomiden kaçınma Distosi yönetimi Doğum travması riskinin azaltılması Sezaryen doğumdan sonra vajinal doğuma teşebbüs eden kadınlara yönelik bakım Maternal mortalite riskinin azaltılması Postpartum hemorajinin yönetimi Cerrahi güvenlik Magnezyum sülfat uygulaması ve fetüsün nörolojik zarar görmesinin önlenmesi Doğumda neonatal resusitasyon Neonatal oksijen tedavisi Perinatal asfikside terapötik neonatal hipotermi Neonatal girişimlerde ağrının dikkate alınması
Profesyonel Konular:
Ekip çalışması İletişim Simülasyon Eğitim / Sertifikasyon Kültürel Farklılıklar / Tutum Değişikliği Profesyonel Davranış Kurumla İlişkili Güvenlik Politikaları
Evde Obstetrik Bakımı İçine Alan Konular:
Perinatal Hasta Güvenliği Hemşireliği Doktorun Önerdiği Durumlarda "Aktivite" Sınırlandırması Liderlik Finansal Kaynaklar

İlaç Güvenliği

İlaç tedavisine bağlı perinatal hasta zararı en sık görülen ve istenmeyen olaylardandır. Özellikle yüksek dikkat gerektiren ilaçların (magnezyum sülfat, misoprostol, oksitosin vb.) uygulamaları sırasında yapılan hatalar, hasta mortalitesi/morbiditesi ile sonuçlanabilmektedir. Örneğin; oksitosin infüzyonu sırasında yapılan hatalar, uterin taşisistol (normalden daha sık ve yoğun kasılma), maternal hipotansiyon ve fetal kalp hızında değişikliklere neden olabilmektedir. Bununla birlikte postoperatif hastalara epidural kateterler aracılığı ile hasta kontrolünde analjezi sağlayan pompalar yeterli izlem ve değerlendirme yapılmadığı takdirde obez ve uyku apnesi olan hastalarda solunum depresyonu riskini artırmaktadır (Evcili & Gölbaşı, 2020).

İlaç uygulamasına bağlı hatalar aynı zamanda "önlenebilir" faktörler içerisinde değerlendirilmektedir. Bu nedenle sağlık bakımını veren ekip tarafından özellikle yüksek dikkat gerektiren ilaçların kullanımına ilişkin standartların geliştirilmesi, perinatal hasta güvenliğinin sağlanmasında önemli noktalardan biridir (Evcili & Gölbaşı, 2020).

Aşağıda, perinatal kliniklerde en sık kullanılan ilaçlardan biri olan oksitosinin güvenli şekilde uygulanabilmesi için dikkat edilmesi gereken önemli noktalara değinilmiştir:

- Doğum indüksiyonuna yönelik girişimler, güncel ve kanıt temelli olmalıdır.
- Elektif doğum indüksiyonuna başlamak için kadınların en az 39. gestasyonel haftayı tamamlamış olması gerekir.

- İnfüzyona 1mU/dk ile başlanmalı, maternal-fetal yanıta göre en az 30-60 dakikada bir 1-2 mU artırılmalıdır.
- Standart oksitosin konsantrasyonları eczacılar tarafından hazırlanmalıdır (500 cc Ringer Laktat solüsyonu içerisine 30 U oksitosin, 1 mL/sa=1 mU/dk).
- Oksitosin uygulamasına bağlı olarak gelişen uterin taşisistolün tüm ekip üyeleri tarafından aynı şekilde anlaşılmasını sağlamak amacıyla standart tanımı yapılmalıdır (Uterin taşisistol: 10 dakikadan az süre içerisinde beş ya da beşten fazla sayıda kontraksiyon, en son kontraksiyonun iki dakika ya da daha uzun sürmesi, bir dakika içerisinde birbirini takip eden kontraksiyonların varlığı)
- Oksitosin indüksiyonuna bağlı ortaya çıkan uterin taşisistolün tedavisi için oluşturulmuş standart tedavi protokolü bulunmalıdır.
- Hasta bakım sürecinin güvenilirliğini değerlendirmeye yönelik ölçülebilir ve gözlemlenebilir kriterler olmalıdır (Evcili & Gölbaşı, 2020).

Doğum İndüksiyonu/Elektif Doğum Zamanı

Doğum indüksiyonuna karar verilirken uygun aday, uygun zamanlama, uygun farmakolojik ajan ve uygun doz protokolleri dikkate alınmalıdır. Ayrıca kurumun komplikasyonların önlenmesi, olası komplikasyonların erken tanılanması ve zamanında tedavi için oluşturulmuş standart protokolleri hazır olmalıdır. Elektif doğum indüksiyonunun en önemli amacı sezaryen doğum riskini azaltmaktır. Bilindiği gibi tekrarlayan sezaryen doğum ile maternal morbidite arasında bir ilişki bulunmaktadır. Uluslararası birçok kurum ve kuruluş, preterm doğuma bağlı iatrojenik komplikasyonların önlenmesi için 39. gestasyonel hafta tamamlanmadan önce elektif indüksiyonun yapılmamasını önermektedir. 39 haftadan önce yapılan elektif prematüre doğum, neonatal mortalite ve morbidite riskini artırmaktadır (Evcili & Gölbaşı, 2020).

Kadınların, preterm doğumların fetüs üzerine zarar verici etkilerine ilişkin farkındalıklarının artırılması oldukça önemlidir. Yapılan bazı çalışmalar, kadınların "uygun doğum zamanı"na ilişkin yeterli düzeyde bilgilerinin olmadığını göstermektedir. Kadınlara "Sizce kaçıncı gestasyonel haftada bebeğin term olduğu kabul edilir?" sorusunun yöneltildiği bir çalışmada, yaklaşık 3/4'ünün 34-36 haftayı, %50.8'sinin 37-38 haftayı, sadece %25.2'sinin 39-40 haftayı bebeğin doğumu için en uygun haftalar olarak tanımladıkları belirlenmiştir (Goldenberg ve ark., 2009). Kadınların 39. gestasyonel hafta tamamlanmadan önce yapılan elektif doğumların zararlarına ilişkin bilgilendirilmesi, elektif doğum indüksiyonu ile ilgili sorularını sağlık profesyonelleri ile paylaşmalarının teşvik edilmesi önemlidir (Evcili & Gölbaşı, 2020).

Doğumun İkinci Evre Bakımı

Aktif faz, fetüsün en fazla stres yaşadığı zaman dilimi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle doğumun 2. evresindeki girişimler ve hemşirelik bakımı, perinatal hasta güvenliği kapsamında üzerinde önemle durulan konulardan biridir. Uygun ıkınma teknikleri kullanılarak doğumun 2. evresinin olabildiğince kısaltılması için çalışılmalıdır (Evcili & Gölbaşı, 2020).

Postpartum Hemoraji

Postpartum hemoraji, maternal ölüm nedenlerinin başında gelmektedir. Geçmişten günümüze postpartum hemoraji insidansının artış sebebi kadınların değişen yaşam koşulları, risk faktörlerine daha fazla maruz kalmaları ile ilişkili olduğu düşünülebilir. Örneğin, obezite ve aşırı kilo alımı birçok sağlık sorunu ile ilişkili olabilmektedir. Kadınların beden kitle indeksinin 40'ın üzerinde olmasının postpartum hemoraji gelişme riskinin artırdığını gösteren araştırma bulguları mevcuttur (Blomberg, 2011). Bu nedenle sezaryen ve vajinal doğum sonrasında en az 2 saatte bir kadınların postpartum hemorajiye yönelik semptomlarının değerlendirilmesini oldukça önemlidir (Evcili & Gölbaşı, 2020).

PERİNATAL HASTA GÜVENLİĞİNDE ÖNLENEBİLİR YÖNTEMLER

Hasta güvenliği, hastaların hatalar nedeniyle zarar görmesini önlemek amacıyla alınan tüm önlemleri ifade eder. Bu alanda uzun süredir çalışan ve uluslararası düzeyde en çok kabul gören iki kuruluş, Uluslararası Birleşik Komisyon ve Sağlık Kuruluşları Akreditasyonu Birleşik Komisyonu'dur (JCI). Hasta güvenliğine yönelik önlemler, sağlık hizmeti süreçlerinde ortaya çıkabilecek önlenebilir basit

hataların hastalara zarar vermesini engellemek için yapılan tüm uygulamaları kapsar (Dila Top & Ertem, 2016.

Uluslararası Hemşireler Konseyi (ICN), hasta güvenliğinin artırılması için; nitelikli sağlık personelinin işe alınması, eğitilmesi ve meslekte tutulması, performansın iyileştirilmesi, enfeksiyon kontrolü, ilaçların güvenli kullanımı, cihaz güvenliği, kaliteli klinik uygulamalar, sağlıklı bakım ortamı, çevre güvenliği ve risk yönetimi gibi alanlarda kapsamlı önlemler alınması gerektiğini belirtmektedir. Ayrıca hasta güvenliğine ilişkin bilimsel bilginin geliştirilmesi ve bu bilgiyi destekleyecek altyapının bütüncül bir şekilde ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Hasta güvenliğine yönelik önlemler, sağlık kurumları içinde oluşturulmalı ve geliştirilmelidir. Bu önlemler, hastaları olası zararlardan korumayı amaçlar. Kurum içinde hasta güvenliğinin önemi vurgulanmalı, güvenlik standartları belirlenmeli ve sağlık çalışanlarının işe başladıkları andan itibaren eğitime tabi tutulmaları sağlanmalıdır. Böylece çalışanlarda hasta güvenliği farkındalığı oluşturulmalı ve bu farkındalık sürekli olarak artırılmalıdır (Dila Top & Ertem, 2016).

Perinatal dönem; gebelik, doğum ve doğum sonrası süreci kapsayan, yapılan girişim ve uygulamalar nedeniyle anne ve yenidoğan sağlığı açısından risk taşıyan bir dönemdir. Bu dönemde hasta güvenliğini sağlamak için; kurumlarda mevcut durumun değerlendirilmesi, bu değerlendirme doğrultusunda eğitim programlarının düzenlenmesi ve çalışanların bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca hasta güvenliğine ilişkin tüm konularda kayıt tutulması, bu kayıtların değerlendirilerek iyileştirmelerin yapılması, sürekli eğitim programlarının uygulanması ve elde edilen değişikliklerin uygulamaya yansıtılması önemlidir. Kurumlar arasında eksik ya da geliştirilmesi gereken alanlar belirlenmeli ve bu alanlara yönelik çalışmalar yürütülmelidir. Yapılan bir çalışmada, hemşirelerin %76,2'sinin hasta güvenliği eğitimi aldığı, eğitim alanların %91,3'ünün bu eğitimi yeterli bulduğu, %60,9'unun hasta güvenliği konusunda ek eğitime ihtiyaç duyduğu belirlenmiştir. Ayrıca hasta güvenliği uygulamalarına yönelik raporlama oranının %8,6 olduğu ve bu raporlamaların en çok düşme olaylarıyla ilgili olduğu ifade edilmiştir (Dila Top & Ertem, 2016).

Hasta güvenliğini sağlamak için; hastalara saygılı davranmak, görev ve sorumlulukları bilmek, ilgili yasa ve yönetmeliklere hâkim olmak, kurumun politika ve prosedürlerini bilmek, ilaçlarla ilgili güvenilir kaynaklara ulaşmak, hastanın bakımında kullanılabilecek kişi ve kaynakları tanımak, bilgi ve beceriyi sürekli geliştirmek, yeterli olunmayan durumlarda yardım istemek, nitelikli ve doğru kayıt tutmak, kurumun onayladığı formları kullanmak, hastayı bilgilendirmek ve onam almak, hastayı riske atabilecek tüm olayları rapor etmek ve yardımcı personelin görev dağılımını kurum politikalarına uygun şekilde yapmak gerekmektedir (Dila Top & Ertem, 2016).

Perinatal hasta güvenliğini artırmaya yönelik öneriler:

- Yüz yüze iletişim kurma, disiplinler arası bir perinatal uygulama komitesi oluşturma,
- EFM uygulanması ve yorumlanmasında ortak terminolojinin kullanımı,
- EFM uygulamasına yönelik tüm hekim, hemşire ve ebelerin sertifikalandırılması,
- Elektronik kayıt sistemini kullanma, ekip üyelerine bir acil durum karşısında ne yapılması gerektiğini öğretmek ve soğukkanlı olmalarını desteklemek,
- Klinik konuların uygunsuz davranışlarını ve potansiyel problemlerin takibini yapmak ve raporlamak için özel mekanizmalar oluşturmak,
- Perinatal hasta güvenliği hemşiresini oluşturma, bulundurma ve gelişimini dikkate alma olarak sıralanmaktadır (Dila Top & Ertem, 2016)

  Hasta güvenliği, gerekli önlemler alındığında hastanede kalış süresinin kısalmasına katkı sağlamakta; ciddi yaralanmalar, olası sakatlıklar ve ölümlerin önlenmesine yardımcı olmaktadır. Hasta güvenliğinde temel yaklaşım, hatalara ve bu hataların kaynaklarına sistem düzeyinde odaklanmaktır. Bu kapsamda kurum yöneticilerinin konuya gereken önemi vermesi ve personeli bu doğrultuda yönlendirmesi gerekmektedir. Yöneticilerin hatalar karşısında sergileyeceği yapıcı tutum, çalışanların hataları rapor etmesini teşvik etmekte ve geri bildirim süreçlerinin etkinliğini artırmaktadır (Dila Top & Ertem, 2016).

Hasta güvenliği uygulamalarının sağladığı kazanımlar, maddi faydaların ötesinde; insan yaşamının korunmasına, kayıpların azaltılmasına ve hatalı sonuçların önlenmesine katkı sunmaktadır. Bu doğrultuda sunulan sağlık hizmetleriyle hata oluşumu engellenmekte, hastalar olası zararlardan korunmakta ve hata olasılığı en düşük düzeye indirilmektedir (Dila Top & Ertem, 2016).

HASTA GÜVENLİĞİNDE HEMŞİRELİK YÖNETİMİ

Perinatal dönem; sağlıklı bir gebelik, doğum ve yenidoğan sürecinin sürdürülebilmesi açısından değerlendirilmesi gereken kritik bir zaman dilimidir. Bu döneme ilişkin bakım gereksinimleri oldukça çeşitlidir ve bu gereksinimlerin karşılanabilmesi multidisipliner bir ekip yaklaşımını zorunlu kılmaktadır. Hekim, hemşire, ebe, sosyal hizmet uzmanı, psikolog, diyetisyen, biyolog, genetik danışman ve fizyoterapist gibi farklı disiplinlerden oluşan ekip üyelerinin kendi uzmanlık alanlarına özgü ancak birbirini tamamlayan ve eşgüdüm içerisinde hizmet sunmaları beklenmektedir (Dila Top & Ertem, 2016).

Perinatal hasta güvenliğinin sağlanmasında ekip üyeleri arasında hemşire önemli bir konuma sahiptir. Hasta güvenliği sürecinde bakım uygulamalarının ve tıbbi girişimlerin büyük bir bölümü hemşireler tarafından yürütülmektedir. Hemşirelerin hasta ile sürekli ve yoğun iletişim halinde olmaları, perinatal dönemde hasta güvenliğine yönelik hemşirelik uygulamalarının önemini artırmaktadır. Bu doğrultuda perinatal hasta güvenliği hemşireliği, anne ve yenidoğanın bakım güvenliğinin sağlanmasına yönelik yeni bir rol olarak ele alınmaktadır. Bu kapsamda perinatal hasta güvenliği hemşiresi; gebe, lohusa ve ailesinin yeni duruma fiziksel ve psikososyal açıdan uyum sağlamasına destek olmakta, bakım ve eğitim gereksinimlerinin karşılanmasına rehberlik etmektedir (Dila Top & Ertem, 2016).

Hasta güvenliği, hemşirelik hizmetlerinin kalitesinin temel bir unsurudur ve sağlık bakım sürecinde hemşireler kilit rol oynamaktadır. Hemşireler; hastaların durumunu izleme, riskleri belirleme, önleyici uygulamaları planlama, uygulama ve değerlendirme süreçlerinde aktif olarak yer alırlar. Ayrıca hasta ve yakınlarını bilgilendirme, hasta güvenliğini savunma ve istenmeyen olayları raporlama da hemşirenin sorumlulukları arasındadır (Korkmaz, 2022)

Araştırmalar, hemşirelerin hasta güvenliği üzerindeki etkisinin oldukça büyük olduğunu göstermektedir. Hemşire sayısındaki artış ve bakım süresinin uzaması; ölüm oranlarında, enfeksiyonlarda, basınç yaralarında ve diğer komplikasyonlarda azalma sağlamaktadır. Buna karşılık ilaç hataları, yetersiz hasta izlemine bağlı hatalar, iletişim eksiklikleri ve protokollere uymama gibi durumlar hasta güvenliğini tehdit eden önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Korkmaz, 2022)

Hasta güvenliğinin sağlanmasında hemşirelerin yeterli sayıda olması, uygun çalışma koşullarının sağlanması, bilgi ve becerilerinin güncellenmesi ve hasta güvenliği kültürünün geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu doğrultuda eğitim programlarının düzenlenmesi, etkin raporlama sistemlerinin kurulması ve ekip içi işbirliğinin güçlendirilmesi, hemşirelerin hasta güvenliği uygulamalarındaki etkinliğini artırmaktadır (Korkmaz, 2022)

SONUÇ

Perinatal dönem, hem annenin hem de yenidoğanın sağlık açısından kritik olduğu ve tıbbi hataların ciddi sonuçlara yol açabileceği bir süreçtir. Bu nedenle perinatal hasta güvenliği; gebelik, doğum ve postpartum dönemde uygulanacak tüm bakım ve müdahalelerin güvenli, standartlara uygun ve kanıta dayalı olmasını gerektirir. İlaç uygulamaları, doğum indüksiyonu, ikinci evre bakımı ve postpartum hemoraji gibi klinik alanlarda risklerin farkında olunması, ekip içi etkili iletişim ve disiplinler arası işbirliği, olası hataların önlenmesinde temel unsurlardır. Hemşireler, hasta ile sürekli iletişim halinde olmaları ve bakım süreçlerini yönlendirmeleri nedeniyle perinatal hasta güvenliğinin sağlanmasında merkezi bir role sahiptir.

Eğitim programlarının düzenlenmesi, standart protokollerin uygulanması, kayıt ve raporlama sistemlerinin etkin kullanımı, elektronik kayıt ve sertifikasyon süreçleri, perinatal hasta güvenliğini artıran önlenebilir yöntemler arasında yer almaktadır. Sonuç olarak; hasta güvenliği kültürünün kurum genelinde benimsenmesi, hem anne hem de yenidoğanın bakım sürecinde olası zararları en aza indirmekte ve sağlık hizmetlerinin kalitesini yükseltmektedir.

KAYNAKÇA

Arora, K. S., vd. (2016). Triggers, bundles, protocols, and checklists-what every maternal care provider needs to know. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 214(4), 444-451.

Arslan, S., Aydıngülü, N., Gülşen, M., Deniz Doğan, S. ve Erden, S. (2020). Cerrahi kliniklerde çalışan hemşirelerin hasta güvenliği kültürleri ve etkileyen faktörler. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 23(4), 527-533.

Bates, E., Rouse, D., Chapman, V., Mann, M. L., Carlo, W., & Tita, A. (2010). Neonatal outcomes after demonstrated fetal lung maturity before 39 weeks of gestation. Obstet Gynecol. 116(6), 1288-95. Blomberg, M. (2011). Maternal obesity and risk of postpartum hemorrhage. Obstet Gynecol. 118(3), 561-8.

Clark, S. L., Belfort, M. A., Byrum, S. L., Meyers, J. A., & Perlin, J. B. (2009). Improved outcomes, fewer cesarean deliveries, and reduced litigation: Results of a new paradigm in patient safety. American Journal of Obstetrics and Gynecology, 199(2), 105.e1–105.e7.

Çetinkaya, E., & Sevil, Ü. (2016). Perinatolojiye giriş. İçinde Ü. Sevil & G. Ertem (Ed.), *Perinatoloji ve bakım* (1. baskı). Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.

Çiçek Korkmaz, A. (2018). Geçmişten günümüze hasta güvenliği. *İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi*, 6(1), 10-19.

Dila Top, E., & Ertem, G. (2016). Perinatolojiye giriş. İçinde Ü. Sevil & G. Ertem (Ed.), Perinatoloji ve bakım (1. baskı). Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.

Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi. (2022). *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi (DEUHFED)*, 15(1–4).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ). (2021). *Global Patient Safety Action Plan 2021–2030: Towards eliminating preventable harm in health care*. Geneva: World Health Organization.

Evcili, F., & Gölbaşı, Z. (2020). Perinatal hasta güvenliği: Kavramsal çerçeveden hemşirelik yaklaşımlarına. *Türk Fen ve Sağlık Dergisi (TFSD), 1*(1), 14–28.

Goldenberg, R. L., McClure, E. M., Bhattacharya, A., Groat, T. D., & Stahl, P. J. (2009). Women's perceptions regarding the safety of births at various gestational ages. Obstet Gynecol. 114, 1254–1258.

Gökdoğan F., Yorgun S., (2010). *Sağlık Hizmetlerinde Hasta Güvenliği ve Hemşireler. Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi,* 13(2):53-59

Işık, O., Akbolat, M., Çetin, M., & Çimen, M. (2012). Hemşirelerin bakış açısıyla tıbbi hataların değerlendirilmesi. *TAF Preventive Medicine Bulletin, 11*(4), 421–430.Commission International (JCI). (2020).

Joint Commission International (JCI). (2020). *Joint Commission International Accreditation Standards for Hospitals* (7th ed.).Korkmaz, E. (2022). Hasta güvenliğine genel bir bakış (An overview on patient safety). *JAMER, 7*(1), 19–25.

Kurt, H. (2022). Hasta haklarına ilişkin değerlendirmeler. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 13*(51). https://doi.org/10.54049/taad.1093105

Kurutkan, M. N., Orhan, F., & Kaygısız, P. (2017). Hasta güvenliği literatürünün bibliyometrik analizi: T.C. Sağlık Bakanlığı. (2020). *Sağlıkta Kalite Standartları (SKS) - Hastane* (6. Versiyon). Ankara.

Türkçe tez ve makaleler örneği (Bibliometric analysis of patient safety literature: Example of thesis and articles in Turkish). *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*. https://doi.org/10.5455/sad.13-1513948006

Yaman Şengül, Y., Aydın, R., Uçakcı Asalıoğlu, C., Özkan, S. ve Kalkan, A. (2016). Doğum Salonunda Görev Yapan Ebe Hemşirelerin Yenidoğanın İlk Bakımına Yönelik Hasta Güvenliği Uygulamaları. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 19(4), 220-227.

EVIDENCE-BASED PRACTICES IN ACTIVE MANAGEMENT OF CHILDBIRTH

DOĞUMUN AKTİF YÖNETİMİNDE KANITA DAYALI UYGULAMALAR

MSc. Belkıs Şule GÜNDÜZ
Institute of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0001-5546-3286

Asst. Prof. Dr. Seda KARAÇAY YIKAR
Institute of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1885-5376

Prof. Dr. Evşen NAZİK
Institute of Health Sciences, Çukurova University, Adana, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5464-4467

ABSTRACT

Active management of labor is an evidence-based approach to care aimed at enhancing the safety of the mother and newborn, reducing unnecessary obstetric interventions, and supporting the physiological process of labor. Current guidelines published by the World Health Organization (WHO), the American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG), and other international organizations recommend that interventions to be implemented during all stages of labor be planned in accordance with scientific evidence. The purpose of this paper is to evaluate evidence-based practices in the active management of labor in light of the current literature and to highlight the roles of obstetric nurses in this process. The literature review was conducted in the PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL, Google Scholar, and Ulakbim databases. The search used the keywords “birth satisfaction”, “birth experience”, “postpartum”, “postpartum depression”, “maternal-infant bonding”, “breastfeeding” and “midwifery care” in both Turkish and English. The literature reports that continuous labor support, respectful labor care, encouragement of appropriate maternal positions, ensuring freedom of movement, and maintaining adequate oral fluid and nutrient intake, along with nonpharmacological methods, positively influence the labor experience during the first stage of labor. In contrast, it is emphasized that routine amniotomy, episiotomy, enema, continuous electronic fetal monitoring, and unnecessary obstetric interventions are not supported by evidence. It is noted that during the second stage of labor, interventions such as encouraging spontaneous pushing, applying heat, and performing perineal massage—all aimed at reducing perineal trauma—are recommended; while during the third stage, the use of uterotonic agents to prevent postpartum hemorrhage, controlled cord traction in appropriate cases, delayed cord clamping, and assessment of uterine tone are among the key practices. The adoption of evidence-based care contributes to reducing unnecessary interventions, individualizing the birthing process, improving maternal and neonatal outcomes, and enhancing the quality of care. Consequently, obstetric nurses play a critical role in sustaining safe, effective, and woman-centered maternity care by integrating current evidence into clinical practice.

Keywords: Evidence-based practice, active management of labor, obstetric nursing, normal childbirth, maternal care.

ÖZET

Doğumun aktif yönetimi; anne ve yenidoğanın güvenliğini artırmayı, gereksiz obstetrik girişimleri azaltmayı ve doğumun fizyolojik sürecini desteklemeyi amaçlayan kanıta dayalı bir bakım yaklaşımıdır. Günümüzde Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), Amerikan Kadın Hastalıkları ve Doğum Koleji (ACOG) ve diğer uluslararası kuruluşlar tarafından yayımlanan güncel rehberler, doğumun tüm evrelerinde uygulanacak girişimlerin bilimsel kanıtlar doğrultusunda planlanmasını önermektedir. Bu bildirinin amacı, doğumun aktif yönetiminde kanıta dayalı uygulamaları güncel literatür ışığında değerlendirmek ve kadın doğum hemşirelerinin bu süreçteki rollerini ortaya koymaktır. Literatür taraması PubMed, Scopus, Web of Science, CINAHL, Google Scholar ve Ulakbim veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Taramada “doğum memnuniyeti”, “doğum deneyimi”, “doğum sonu dönem”, “doğum sonu depresyon”,

"anne-bebek bağlanması", "emzirme" ve "ebelik bakımı" anahtar kelimeleri Türkçe ve İngilizce olarak kullanılmıştır. Literatürde doğumun birinci evresinde sürekli doğum desteği, saygılı doğum bakımı, uygun maternal pozisyonların desteklenmesi, hareket özgürlüğünün sağlanması, yeterli oral sıvı ve besin alımının sürdürülmesi ile nonfarmakolojik yöntemlerin doğum deneyimini olumlu etkilediği bildirilmektedir. Buna karşın rutin amniyotomi, epizyotomi, lavman, sürekli elektronik fetal monitörizasyon ve gereksiz obstetrik müdahalelerin kanıtlarla desteklenmediği vurgulanmaktadır. Doğumun ikinci evresinde spontan ıkınmanın desteklenmesi, perineal travmayı azaltmaya yönelik sıcak uygulama ve perine masajı gibi girişimlerin önerildiği; üçüncü evrede ise postpartum hemorajinin önlenmesi amacıyla uterotonik ajan kullanımı, uygun olgularda kontrollü kord traksiyonu, gecikmiş kord klemplenmesi ve uterus tonusunun değerlendirilmesinin temel uygulamalar arasında yer aldığı belirtilmektedir. Kanıta dayalı bakımın benimsenmesi gereksiz girişimlerin azaltılmasına, doğum sürecinin bireyselleştirilmesine, maternal ve neonatal sonuçların iyileştirilmesine ve bakım kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak kadın doğum hemşireleri, güncel kanıtları klinik uygulamaya entegre ederek güvenli, etkili ve kadın merkezli doğum bakımının sürdürülmesinde kritik sorumluluk üstlenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Kanıta dayalı uygulama, doğumun aktif yönetimi, kadın doğum hemşireliği, normal doğum, maternal bakım.

GİRİŞ

Doğum sürecinde kanıta dayalı çalışmaların takip edilmesi, sağlık hizmetlerinde uygulanan müdahalelerin etkinliğini ve güvenliğini bilimsel olarak belirleyerek gereksiz müdahalelerin önlenmesine katkıda bulunur ve doğal doğum sürecinin desteklenmesini teşvik etmektedir. Doğum eyleminde kanıta dayalı müdahalelerin benimsenmesi ile maternal ve fetal sağlığın korunması, güvenliğin artırılması, birey merkezli bakımın sağlanması, gereksiz uygulamaların azaltılması, doğru zamanlama ve uygun müdahalelerle komplikasyonların azaltılması, maternal/fetal ölüm ve morbidite oranlarının düşürülmesi, birey memnuniyetinin artırılması hedeflenir. Diğer yandan sağlık profesyonellerinin kanıta dayalı uygulamaları benimsemesi; sürekli eğitimlerini ve profesyonel gelişimlerini desteklerken doğru ve bilinçli kararlar almalarını sağlar. Bu yaklaşım aynı zamanda sağlık maliyetlerini azaltarak kaynakların daha etkin kullanılmasına ve güvenli, standart ve yüksek kaliteli bakım sağlanmasına olanak tanır. Dolayısıyla, sürekli güncellenen ve geliştirilen kanıt temelli uygulama rehberlerin ve protokollerinin sağlık profesyonelleri tarafından takip edilmesi yüksek kaliteli bakımın sağlanması açısından oldukça önemlidir (NICE, 2023; Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2024).

DOĞUMUN TANIMI VE DOĞUM SÜRECİNİN ÖNEMİ

Doğum eylemi (travay) fetüs ve eklerinin uterustan dış ortama atıldığı süreç olarak tanımlanır. Daha spesifik olarak doğum eylemi serviksin efesman ve dilatasyonuna yol açan düzenli uterus kasılmalarıyla meydana gelen, fetüs ve eklerinin dış ortama atılma sürecidir. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre her yıl yaklaşık 140 milyon doğum gerçekleşmektedir (Ejder Apay & Akpınar, 2022). Vajinal bir doğum eyleminin;

- Termde (son menstruel periyottan 40 hafta sonra),
- Tek ve canlı bir fetüs varlığı ile,
- Verteks pozisyonunda,
- Baş-pelvis uyuşmazlığı olmadan,
- Sağlıklı anne ve bebeğin varlığı ile,
- Spontan bir şekilde gerçekleşmesi beklenir (Ejder Apay & Akpınar, 2022).

Doğum, kadın yaşamında normal bir süreç olmakla beraber kadına heyecan, mutluluk ve aynı zamanda korku veren, ambivalan duygulara neden olan önemli bir emosyonel olaydır. Bu nedenden dolayı her kadının doğum eylemi kendine özgü olup gerek doğum olayının algılanması gerek ise bu deneyimin yorumu kadından kadına değişmektedir (Reyhan & Sayıner, 2024). Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), doğum sürecinin kadın için optimal yürütülmesi amacıyla tüm kadınlar için "olumlu doğum deneyimini" önemli bir hedef noktası olarak kabul etmektedir (WHO, 2019). Olumlu bir doğum deneyimi; yetenekli, bilgili ve nazik sağlık profesyoneli tarafından sunulan bakım ve duygusal destek eşliğinde, güvenli bir ortamda

sağlıklı bebeğin doğması olarak tanımlanmaktadır (WHO, 2018). Olumlu doğum algısına sahip kadınların doğum korkusu azalmakta, doğum süreci olumlu yönde etkilenmekte, müdahaleli vajinal doğum ve sezaryen doğum oranları azalmaktadır. Bununla beraber olumlu doğum algısı, kadınların doğum memnuniyetleri üzerinde pozitif etki oluşturarak hem anne-bebek ilişkisinin güçlenmesine hem de kadınların gelecekteki gebelik ve doğumlarına olumlu bakış açısı kazandırarak doğumların normalleşmesine katkı sağlayacaktır (Reyhan & Sayıner, 2024).

KANITA DAYALI UYGULAMA KAVRAMI

Kanıta dayalı uygulama (KDU), sağlık hizmetlerinde klinik uzmanlık ile güncel ve güvenilir araştırma kanıtlarının birlikte kullanılarak klinik kararların yönlendirilmesini amaçlayan bir yaklaşımdır. Kanıta dayalı uygulamalar kapsamında yer alan bilgi ve beceriler; yanıtlanabilir klinik soruların oluşturulmasını, en uygun kanıtların sistematik olarak araştırılmasını, elde edilen kanıtların değerlendirilmesini ve klinik uygulamalara entegre edilmesini içermektedir (Taş Arslan ve ark., 2023). Kanıta dayalı uygulamalar mesleki uygulamalarda mümkün olan en iyi kararları, eylemleri ve hizmetleri garanti etmek için mevcut en iyi araştırma sonuçlarından, kanıtlardan yararlanılan süreç olarak tanımlanmaktadır. Verilen mesleki kararların etkinliği açısından uygulamanın kanıt üzerinden yürütülmesi oldukça önemlidir (Erbay, 2017). Kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları; hemşirelik bakımına ilişkin kararların en güncel ve geçerli bilimsel kanıtlar, klinik uzmanlık ve hasta değerleri ile tercihleri bütünleştirilerek verilmesini esas alan sistematik bir yaklaşımdır. Bu doğrultuda kanıt temelli hemşirelik; maliyet etkinliğinin artırılması, hasta güvenliğinin sağlanması ve klinik hataların azaltılması gibi hedeflere katkı sunmaktadır (Kahveci Ceylan ve Mete, 2023; Melnyk ve Fineout-Overholt, 2023).

DOĞUMUN AKTİF YÖNETİMİ

Doğumun aktif yönetimi, özellikle doğumun üçüncü evresinde postpartum kanama (PPK) riskini azaltmayı amaçlayan kanıta dayalı bir obstetrik yaklaşımdır. Dünya Sağlık Örgütü, aktif yönetimin maternal morbidite ve mortaliteyi azaltmada etkili olduğunu ve standart bakım protokolü olarak uygulanmasını önermektedir (WHO, 2012). Aktif doğum, ilk olarak Janet Balaskas tarafından tanımlanan bir felsefedir. Janet Balaskas, aktif doğumun yeni bir kavram olmadığını vurgulamakta ve bu yaklaşımı kadının kendi içgüdülerini ve vücudunun fizyolojik işleyişini izlemesi olarak tanımlamaktadır. Aktif doğumda kadın, sağlık profesyonelleri tarafından yönetilen bir doğumun pasif alıcısı olmamakta; aksine doğum sürecinde kendi bedenini aktif olarak yöneten bir rol üstlenerek dahil olmaktadır. Aktif doğum, tamamen annenin isteği doğrultusunda gerçekleşen ve kadının bedenini istediği şekilde kullanmakta özgür olduğu doğal ve spontan bir doğum süreci olarak ifade edilmektedir. Gereksiz müdahalelerin uygulandığı doğumlara kıyasla daha konforlu, güvenli ve etkili olduğu belirtilmektedir (Serçekuş & Gökçe İsbir, 2012).

Aktif doğum yaklaşımında diğer doğum felsefelerinden farklı olarak üç temel unsur özellikle vurgulanmaktadır. Bu unsurlar; doğum sırasında kadının pozisyonu, doğum sürecinde salgılanan hormonlar ve bu hormonların etkileri ile gebelik ve doğum sürecinde yoganın önemidir. Bunun yanı sıra, doğum sürecinde uygulanabilecek masaj teknikleri ve doğumun evrelerine uygun pozisyonlarda partner desteğinin nasıl sağlanabileceği ele alınmakta; doğum sonrası dönemde ise emzirme ve postpartum egzersizler üzerinde durulmaktadır (Serçekuş & Gökçe İsbir, 2012). Bunlara ek olarak aktif doğum yönetimi; bebeğin doğumunu takiben ilk bir dakika içinde uterotonik ajan uygulanması, kontrollü kord traksiyonu ve uterus tonusunun değerlendirilmesini içeren temel bileşenleri de içermektedir. Bu uygulamaların postpartum kanama riskini azalttığı ve plasental ayrılmayı hızlandırdığı çeşitli sistematik derlemelerde ve randomize kontrollü çalışmalarda da gösterilmiştir (Begley ve ark., 2019).

Kanıt düzeyleri incelendiğinde mevcut kanıtlar, aktif yönetimin özellikle kaynakların sınırlı olduğu sağlık sistemlerinde postpartum kanamaya bağlı ölümleri azaltmada etkili bir strateji olduğunu göstermektedir. Bu nedenle uluslararası rehberler, doğumun üçüncü evresinde aktif yönetimin standart bakım olarak uygulanmasını önermektedir (WHO,2012; ACOG, 2017).

Şekil 1: Ayakta Durma.

Şekil 2: Desteklenen duruş.

(Şekil 1, Şekil 2 Kaynakça: Serçekuş, P., & Gökçe İsbir, G. (2012). Aktif doğum yaklaşımının kanıta dayalı uygulamalar ile incelenmesi. *TAF Preventive Medicine Bulletin, 11*(1), 97–102. https://doi.org/10.5455/pmb.20111104012052)

DOĞUM EVRELERİ VE AKTİF YÖNETİM YAKLAŞIMI

Doğumun Birinci Evresi Aktif Yönetimi-Kanıt Temelli Uygulamalar

Doğumun birinci evresi, düzenli uterin kontraksiyonların başlaması ile başlar ve servikal efesman ile dilatasyonun tam olarak gerçekleşmesiyle sona erer. Birinci evre bazı kaynaklarda latent ve aktif faz olmak üzere ikiye ayrılırken, bazı kaynaklarda erken aktif faz (servikal dilatasyon 4 cm) ve geç aktif faz (servikal dilatasyon 5–6 cm) şeklinde sınıflandırılmaktadır (Ejder Apay & Akpınar, 2022).

Latent Faz

Servikal dilatasyon ve efasmanın başladığı ancak yavaş ilerlediği evredir. Servikal dilatasyon 4 cm'e ulaşana kadar kadın latent fazla kabul edilmektedir (Aktaş ve ark., 2023). Bu faz nullipar gebelerde ortalama 6,5 saat, multipar gebelerde ise ortalama 5 saat sürmektedir. Nullipar kadınlarda 20 saati, multipar kadınlarda ise 14 saati aşması durumunda uzamış latent faz olarak değerlendirilmektedir. Uzamış latent faz tek başına sezaryen endikasyonu olarak kabul edilmemektedir. Maternal ve fetal göstergelerde normalden sapma olmadığı durumlarda amniyotomi, indüksiyon veya bu yöntemlerin kombinasyonu ile aktif faza geçiş sağlanabilmektedir (Ejder Apay & Akpınar, 2022). ACOG, 6 cm'lik serviks dilatasyonunun doğumun aktif fazının başlangıcı olarak kabul edilmesini önermektedir (Güçlü Tavsiye, Orta Kalitede Kanıt) (ACOG, 2024).

Aktif Faz

Servikal dilatasyonun 4-7 cm arasında olduğu faz aktif faz olarak adlandırılmaktadır. Bu evrede servikal dilatasyon hızlı ilerler ve efesman yaklaşık %80 düzeyindedir (Aktaş ve ark., 2023). Servikal ilerleme hızı nulliparlarda 1,2 cm/saat, multiparlarda 1,5 cm/saat olarak kabul edilmekte olup saatte en az 1 cm açılma beklenmektedir. Dilatasyonun 4 cm'ye ulaşmasına rağmen yeterli kontraksiyon varlığına karşın en az 2 saat boyunca ilerleme olmaması aktif faz arresti olarak tanımlanmaktadır. Bu fazda servikal dilatasyon 7–8 cm'ye ulaştığında fetal iniş başlamaktadır. Epidural analjezi, aşırı sedasyon, fetal malpozisyon ve sefalopelvik uyumsuzluk durumlarında fetal iniş ile servikal dilatasyonun ilerlemesi durabilmektedir (Ejder Apay & Akpınar, 2022). ACOG, doğumun aktif fazının durması durumunu, en az 6 cm servikal açıklığı olan kadınlarda, membranlar yırtılmışken 4 saat yeterli uterus aktivitesine ya da oksitosin desteğiyle 6 saat yetersiz uterus aktivitesine rağmen servikal dilatasyonda ilerleme olmaması olarak tanımlanmasını önermektedir (Duruma özgü öneri, düşük kaliteli kanıt) (ACOG, 2024).

Geçiş Fazı

Servikal dilatasyonun 8 cm olması ile başlar, 10 cm olması ile tamamlanır. Servikal dilatasyon tamamlanır ve fetüs hızla aşağı iner (Aktaş ve ark., 2023).

Bakım	Öneri	Öneri Kategorisi
Doğumun gizli (latent) ve aktif birinci fazın tanımları	Aşağıdaki tanımların kullanılması önerilmektedir: Latent Faz: Ağrılı rahim kasılmalarının olduğu, servikste değişken ölçüde incelme ve 5 cm'ye kadar yavaş genişleme dönemidir. Aktif evre: Düzenli ağrılı kasılmalar, belirgin servikal incelme ve 5 cm'den tam açılmaya kadar hızlı genişleme ile karakterizedir.	Önerilir
Birinci evrenin süresi	Kadınlara, latent fazın standart süresinin belirlenmemiş olduğu ve kişiden kişiye büyük ölçüde değişebileceği bilgisi verilmelidir. Ancak aktif evre genellikle ilk doğumda 12 saati, sonraki doğumlarda ise 10 saati geçmez.	Önerilir
Birinci evrenin ilerleyişi	1. Aktif fazda servikal açılmanın saatte 1 cm olması gerektiği yönündeki eşik, olumsuz sonuçları öngörmede doğru değildir Önerilmez. 2. Aktif evrede sürekli 1 cm/saat hız beklentisi gerçekçi değildir Önerilmez. 3. Doğal hızlanma genellikle 5 cm açıklıktan sonra başlar. Bu eşiğin altında müdahale (oksitosin, sezaryen) yapılması, anne-bebek durumu iyiyse Önerilmez.	Önerilmez (3 madde)

(**Kaynak:** WHO, 2018. WHO recommendations: İntrapartum care for a positive childbirth experience. https://www.who.int/publications/i/item/9789241550215)

Tablo 14. Doğumun Birinci Evresinin Uzama veya Durması

Latent Faz	Aktif faz	
16 saatin üzerinde ise uzamış latent faz kabul edilir. Süresi pariteden bağımsızdır. Bekle-Gör yöntemiyle uzamış latent fazdaki hastaların çoğu aktif faza geçiş yapacaktır. Kötü maternal ve neonatal sonuçlarla ilişkili olabileceği için dikkatli olunmalıdır. Uzamış latent fazı olan, fetal ve maternal iyilik hali olan hastalarda erken sezaryen kararından kaçınılmalıdır.	Uzamış Aktif Fazın Tanısı	
	Parite	Bulgular
	Nullipar	Servikal dilatasyon <1 cm/saat
	Multipar	Servikal dilatasyon <1.2-1.5 cm/saat
	(Friedman ve Cohen, 2023) Doğumun aktif fazının yavaş ilerlemesinin nedenleri: – Yetersiz uterus kasılmaları (10 dakikada iki veya daha az kasılmanın olması ve her birinin 40 saniyeden kısa sürmesi) Baş-pelvis uyumsuzluğu (feto-pelvik uyumsuzluk) *(Friedman ve Cohen, 2023).*	
Latent faz **arresti** için kanıta dayalı bir tanım bulunmamaktadır.	Membranları rüptüre ve en az 6 cm servikal açıklığa sahip hastalarda, 4 saat yeterli uterin kontraksiyonu olan ya da 6 saatlik oksitosin augmentasyonu altında yeterli uterin kontraksiyon sağlanamayan hastalarda servikal dilatasyonda değişiklik olmaması aktif faz **arresti** olarak tanımlanmaktadır.	

(**Kaynak:** Sağlık Bakanlığı. (2025a). Ebelere Yönelik Doğum Eylem Yönetimi Klinik Rehberi. https://shgmargestddb.saglik.gov.tr/TR-109113/ebelere-yonelik-dogum-eylem-yonetimi-klinikrehberi-yayimlandi.html)

Bakım	Öneri	Öneri Kategorisi
Saygılı doğum bakımı	Saygılı doğum bakımı; kadınların onurunu, mahremiyetini ve gizliliğini koruyan, zarar ve kötü muameleyi önleyen, bilinçli seçim yapma hakkını destekleyen ve doğum boyunca sürekli destek sağlayan bir bakım modeli olarak önerilmektedir.	Önerilir
Etkili İletişim	Doğum yapan kadınlara, basit ve kültürel olarak kabul edilebilir yöntemler kullanılarak doğum yaptırılması önerilir.	Önerilir
Doğum sırasında eşlik etme	Doğum ve doğum süreci boyunca tüm kadınlar için bir refakatçi tavsiye edilir.	Önerilir

Bakımın Sürekliliği	Tanıdık bir ebenin veya küçük bir ebe grubunun gebelik öncesi, doğum ve doğum sonrası süreç boyunca kadını desteklediği ebe liderliğinde bakım modelleri, iyi işleyen ebelik sistemleri olan yerlerde önerilmektedir.	Duruma Özgü Öneri

(**Kaynak:** WHO, 2018. WHO recommendations: İntrapartum care for a positive childbirth experience. https://www.who.int/publications/i/item/9789241550215)

- **Vajinal Dezenfeksiyon:** Günümüzde vajinal dezenfeksiyon için geniş spektrumlu antibakteriyel özelliklere sahip olan klorheksidin yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak literatürde doğum sırasında vajinal yıkama ya da vajinal mendillerle klorheksidin ile yapılan vajinal dezenfeksiyon, dezenfeksiyon yapılmamasıyla karşılaştırıldığında maternal veya neonatal enfeksiyonları önlemediği bildirilmiştir. Ayrıca doğum sonrası maternal endometrit, neonatal grup B streptokok enfeksiyonu, diğer enfeksiyonlar ve HIV enfeksiyonunun anneden bebeğe bulaşma oranını azaltmadığı da bulunmuştur. Dolayısıyla, doğum sırasında klorheksidin ile vajinal dezenfeksiyon önerilmemektedir (Alhafez & Berghella, 2020).
- **Sürekli Doğum Desteği:** Cochrane sistematik incelemesinde sürekli doğum desteği alan kadınların spontan vajinal doğum yapma olasılıklarının daha yüksek, olumsuz doğum deneyimi ve ağrı kesici kullanım oranlarının ise daha düşük olduğu bildirilmiştir. Ayrıca doğum süresi kısalmış, enstrümental doğum oranı azalmıştır. Sürekli desteğin, kötü muameleyi azaltarak saygılı doğum bakımını teşvik edebileceği de vurgulanmaktadır. Literatürde bu uygulamanın zararlarına ilişkin herhangi bir kanıt bulunmamaktadır (Başgöl & Koç, 2020, Bohren ve ark., 2017). Bu nedenle, doğum ortamlarına eğitimli doğum destekçilerini entegre eden politikaların geliştirilmesi önerilmektedir (ACOG, 2024, Türk Maternal Fetal Tıp ve Perinatoloji Derneği, 2019)
- **Doğum Öncesi Membran Rüptüründe Antibiyotik Profilaksisi:** Erken membran rüptürü (EMR) gelişen kadınlarda bekleme süresi uzadıkça enfeksiyon riskinin arttığı bilinmektedir. Dolayısıyla EMR gelişen kadınlarda EMR ile doğum arasında 12 saatten fazla bir süre bekleniyorsa antibiyotik profilaksisi önerilmektedir. Termde EMR gelişen kadınlar için rutin antibiyotik profilaksisi, anne veya yenidoğan sonuçlarında fayda sağlamazken; latent dönemi 12 saatten uzun süren kadınlarda ise intraamniyotik enfeksiyon ve endometrit oranlarını önemli ölçüde azalttığı ve yenidoğan sepsisinde azalma eğilimi gösterdiği bildirilmiştir (Alhafez & Berghella, 2020). Epizyotomi yapılan kadınlara ya da komplikasyonsuz vajinal doğum yapan kadınlara ise rutin antibiyotik profilaksisi önerilmemektedir (WHO, 2018). Sağlık Bakanlığı "Güvenli Doğum Süreci Uygulama Rehberi"ne göre membranların yırtılmasından sonra >18 saat geçmişse, grup B streptokoklu yenidoğan enfeksiyonu öyküsü varsa, 37 hafta altındaki doğumlarda, annenin vücut sıcaklığı ≥38 C ise, kötü kokulu vajinal akıntı öyküsü varsa, sezaryen ile doğum gerçekleşecek ise antibiyotik profilaksisi önerilmektedir (Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2024).
- **Aromaterapi:** Aromaterapi, bitkilerden elde edilen uçucu yağların iyileştirici etkilerinden faydalanmak amacıyla kullanılan holistik bakım yöntemlerindendir (Başgöl & Koç, 2020). Literatürde, doğum sırasında inhalasyon veya sırt masajı yoluyla uygulanan aromaterapinin (lavanta, yasemin, gül, badem gibi uçucu yağlar veya karışımları) sezaryen doğum, enstrümental doğum, oksitosin kullanımı ve 1. ve 5. dakika APGAR sonuçları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ancak doğum ağrısı ve anksiyetesi üzerinde olumlu etkisinin olduğu bildirilmiştir (Alhafez & Berghella, 2020; Shaterian ve ark., 2022). DSÖ de doğum sırasında nonfarmakolojik ağrı yönetim metodları arasında aromaterapiyi kabul eder; ancak, bu yöntemlerin etkinliği konusunda daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu vurgular (WHO, 2018).
- **Suya Daldırma:** Doğum sırasında suya dalma, ağrı yönetiminde etkili olabilen ve doğum sürecini daha rahat hale getirebilen bir yöntemdir (Vanderlaan & Hall, 2020). Literatürde, doğumun ilk evresinde suya daldırma ile daldırmama girişimleri karşılaştırıldığında spontan vajinal doğum, enstrümantal vajinal doğum ve sezaryen doğum oranları açısından fark bulunmamıştır. Doğumun ilk evresinde suya dalmanın tahmini kan kaybı, üçüncü veya dördüncü derece yırtıklar ve yenidoğan sonuçları üzerindeki etkilerine ilişkin ise yeterli kanıt bulunmamaktadır (Alhafez & Berghella, 2020;

Vanderlaan & Hall, 2020; Cluett ve ark., 2018). Diğer yandan, suya dalan grupta bölgesel anestezi kullanımı ve ağrı düzeyinde azalma bildirilmiştir (Burns ve ark., 2022).

- **Beslenme:** DSÖ düşük riskli kadınlar için doğum sırasında ağız yoluyla sıvı ve yiyecek alımını önermektedir. Bu uygulamanın, kadının enerji seviyesinin korumasına ve doğum sürecini daha rahat geçirmesine yardımcı olabileceği açıklanmıştır (WHO, 2020). Oral alımın sınırlanmasına destek sağlayacak kanıtlar bulunmadığı için basit vakalarda bile 1/1.000.000 olan aspirasyon riski göz önünde bulundurulduğunda doğumun birinci evresinde sıvı veya katı gıdaların alımının kısıtlanması önerilmemektedir (Alhafez & Berghella, 2020; ACOG, 2024).
- **Maternal Pozisyon ve Ambulasyon:** Kadınlar doğum sırasında spontan olarak rahat ettikleri çeşitli pozisyonları benimseyebilirler. Bu pozisyonlar arasında mobil kalmak ve yürümek, diz çökmek, çömelmek, dik oturmak (yatakta, topta veya doğum sandalyesinde vb.), supine ya da semi-rekumbent pozisyonunda yatmak yer alabilir. Literatürde herhangi bir pozisyonun daha iyi olduğuna dair yeterli kanıt yoktur; çünkü araştırmalarda pozisyonun travayın ilerlemesi üzerindeki bağımsız etkisini izole etmek zor olup gebelerin çalışma süresince tek bir pozisyonda kalmaları da pek mümkün değildir (Türk Maternal Fetal Tıp ve Perinatoloji Derneği, 2019). Dünya Sağlık Örgütü de düşük riskli kadınlarda doğum sırasında hareketliliğin ve dik pozisyonların benimsenmesinin kadınların rahat ettiği ve doğumu kolaylaştıran pozisyonları seçmelerine olanak tanınmasını önermektedir (WHO, 2020). ACOG bölgesel anestezi almayan kadınlara doğumun ilk evresinde ambulasyonu ve dik pozisyonları önerirken; bölgesel anestezi alan kadınların ise en rahat ettikleri pozisyonu almalarını ve isterlerse yürüyebileceklerini önermektedir (ACOG, 2024).
- **Mesane Kateterizasyonu:** Epidural anestezi alan hastalarda doğumun birinci aşamasında sürekli mesane kateterizasyonunun, doğum süresinde veya idrar yolu enfeksiyonu insidansında fark yaratmadığı ancak aralıklı mesane kateterizasyonu yapılan kadınlarla karşılaştırıldığında sezaryen doğum olasılığını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar yetersiz olup, doğum sırasında rutin olarak sürekli mesane kateterizasyonu önerilmemektedir (NICE, 2023; Alhafez & Berghella, 2020).
- **Partograf:** Partograf; doğumun ilerleyişini görsel olarak gösteren, maternal ve fetal iyilik durumunu değerlendirerek normalden sapmaları belirleyen, sağlık profesyonellerini önceden uyaran ve ortak karar almayı teşvik eden basılı bir formdur. Partograf kullanımının sezaryen doğum oranlarında, oksitosin kullanımında, doğumun birinci aşamasının süresinde veya 5. dakika Apgar skoru üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Partografın etkinliği konusunda evrensel bir tanım veya protokol bulunmamaktadır. Bu da farklı sağlık kuruluşlarında ve farklı uygulamalarda tutarlılığın sağlanamaması anlamına gelir. Belirli bir partografın veya uygulanma protokolünün üstünlüğünü destekleyecek yeterli kanıt yoktur (Alhafez & Berghella, 2020). NICE (Ulusal Sağlık ve Bakım Mükemmellik Enstitüsü) doğumun görsel kaydı olan partograf kullanımını önerirken; DSÖ, partografın doğum sırasında rutin olarak kullanılmasını önermemektedir. Bunun yerine, DSÖ Doğum Bakım Rehberini geliştirmiş ve doğumun bireysel ihtiyaçlara ve şartlara göre izlenmesi gerektiğini vurgulamıştır (WHO, 2020). Ülkemizde ise Sağlık Bakanlığı tarafından 2020 yılında yayınlanan "Güvenli Doğum Süreci Uygulama Rehberinde" partograf kullanılması önerilmektedir (Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2024).
- **Yer Fıstığı Topu:** Yer fıstığı topu; doğum sırasında gebe yan yatar pozisyondayken bacaklarının arasına yerleştirilen, yer fıstığı kabuğu şeklinde bir tür doğum topu olup doğumun yönetiminde sıklıkla kullanılan nonfarmakolojik bir araçtır. Fıstık topu kullanımının dik pozisyonu taklit ederek pelvisin genişlemesini ve fetal inişi kolaylaştırdığı açıklanmaktadır (ACOG, 2024; Grenvik ve ark., 2023). Fıstık topunun etkinliğini araştıran sistematik inceleme ve meta-analiz sonuçlarında fıstık topu kullanımının doğumun 1. evresinin süresini anlamlı bir şekilde azalttığını bildiren çalışmalar olmakla birlikte doğum süresinde anlamlı bir fark olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur. Diğer yandan, fıstık topu kullanımının vajinal doğum veya sezaryen doğum insidansında ve maternal sonuçlarda anlamlı farklılıklar göstermediği bulunmuştur (Delgado ve ark., 2022; Intan Navelia ve ark., 2024; Grenvik ve ark., 2019). Konuya ilişkin daha fazla ve geniş örneklemli randomize kontrollü çalışmalara (RKÇ) ihtiyaç duyulmakla birlikte günümüzde fıstık topunun kullanımına ilişkin herhangi bir risk bildirilmemiştir. Dolayısıyla fıstık topu doğum yapan kadınlara

sunulabilecek, düşük maliyetli, güvenli ve basit farmakolojik olmayan müdahaleler olarak kabul edilmektedir (Grenvik ve ark., 2023).

- **Amniyotomi:** Amniyotomi, amniyotik membranların suni olarak açılmasıdır. DSÖ rutin amniyotomiyi doğumun gecikmesini önlemek çin tek başına kullanılmasını önermemektedir (WHO, 2020). Amerikan Jinekoloji ve Obstetri Birliği de normal ilerleyen doğumda ve fetal distres kanıtı olmayan kadınlarda gerekmedikçe rutin amniyotomi önermemektedir (ACOG, 2024).
- **Oksitosin:** Oksitosin, uterus kasılmalarının sıklığını ve yoğunluğunu artırmada ve dolayısıyla doğum süresini kısaltmada gerçekten etkilidir (Girault ve ark., 2020). Normal vajinal doğumda yavaş ilerleme yaşayan kadınlar için uygulanan oksitosin tedavisi, tedavi verilmemesi veya oksitosin tedavisinin geciktirilmesiyle karşılaştırıldığında, sezaryen doğum oranlarında herhangi bir fark olmaksızın doğuma kadar geçen sürenin yaklaşık 2 saat azalmasıyla ilişkili olduğu belirlenmiştir (Cochrane: 8 RKÇ; 1338 kadın). Normal vajinal doğumun ilk evresinde yavaş ilerleme kaydeden kadınlarda doğuma kadar geçen süreyi kısaltmak için oksitosin takviyesi güçlü öneri kapsamında değerlendirilirken; daha yüksek dozlarda oksitosin zayıf öneri kapsamında verilebilir (Bugg ve ark., 2013).
- **Yoga:** Yoga; fiziksel duruşları, gevşemeyi ve nefes alma tekniklerini birleştiren bir zihin-beden tıbbı şeklidir. Yoga egzersizi günümüzde gebe kadınların sağlığını iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Yadav ve ark., 2022). Zhang ve Wang'ın prenatal yoganın doğum ağrısına etkisini incelediği sistematik derleme ve meta-analiz çalışmasına, 5 RKÇ ve toplam 581 kadın dahil edilmiş olup yapılan analizler sonucunda yoganın doğum ağrısını önemli ölçüde azaltabileceği bulunmuştur (Zhang ve Wang, 2023).
- **Hipnoterapi:** Amerikan Klinik Hipnoz Derneği'ne (American Society of Clinical Hypnosis) göre hipnoz; kişinin büyük ölçüde telkine yanıt verdiği içsel emilim, konsantrasyon ve odaklanmış dikkat durumu şeklinde tanımlanmaktadır (Gueguen ve ark., 2021). Doğum eylemi sırasında ağrı tedavisi için hipnoz kullanımının altında yatan temel teorik model; Dick-Read tarafından tanımlanan korku-gerginlik-ağrı sendromu modelidir (Fernández-Gamero ve ark., 2024). Model; hipnozun kadınların doğum hakkındaki önceden var olan inançlarını değiştirmelerine yardımcı olabileceğini, bunun sonucunda artan özgüven, daha düşük kaygı, azalmış kas gerginliği ve nihayetinde azalmış ağrı ile sonuçlanabileceğini ileri sürmektedir (Teckenberg-Jansson ve ark., 2019). Fernández-Gamero ve ark.'nın hipnoterapinin korku, acı ve doğum deneyimi üzerindeki etkisini inceledikleri sistematik derlemede, hipnoterapinin doğum sırasında korku ve ağrıyı azaltmada faydalarının yanı sıra genel doğum deneyiminde de iyileştirmeyi desteklediğini göstermiştir (Fernández-Gamero et al., 2024).
- **Müzik Terapisi:** Müzik terapisinin doğum ağrısı üzerindeki etkisine ilişkin elde edilen kanıtların aktif fazda değerlendirilen hasta alt grubu dışında genel olarak düşük kalitede olduğu belirlenmiştir. Aktif fazda uygulanan müzik terapisine ilişkin kanıtlar ise orta düzeyde olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde doğum sırasındaki anksiyete üzerine etkisini inceleyen çalışmalarda da aktif fazda müzik terapisini değerlendiren veriler orta düzeyde kanıt kalitesi sunmaktadır (Santiváñez-Acosta ve ark., 2020).
- **Masaj:** Prenatal masaj uygulamasının doğum sırasında analjezi kullanımı ile ilişkisinin incelendiği bir çalışmada prenatal masaj uygulamasının doğum sırasında farmakolojik ağrı kesici yöntemlerinin daha düşük kullanılmasını sağladığı belirlenmiştir (Lai ve ark., 2022). Winarni ve ark.'nın doğum öncesi masajın doğumun birinci evresinin aktif fazında annenin ağrısının üzerine etkisini incelediği çalışmadammasajın şiddetli ağrıyı azaltmada etkin olduğu aynı zamanda anneyi daha rahat ve sakin hale getirdiği bulunmuştur (Winarni & Sari, 2021).
- **Akupunktur:** Doğumun normalleştirilmesi için doğum hazırlığı akupunkturunun etkinliğinin incelendiği bir çalışmada akupunktur uygulanan kadınların daha fazla normal doğum yaptığı, daha az doğum sırasında analjeziye ihtiyaç duyduğu, doğumun başlatılmasında daha az bileşene ihtiyaç duyduğu ve hastanede kalış süresinin kısaldığı belirlenmiştir (Lokugamage ve ark., 2020). Liu ve arkadaşlarının akupunktur ve akupunktur ile birlikte uygulanan epidural doğum analjezisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada da benzer oranda doğum sırasında akupunktur uygulamasının hissedilen ağrıyı azalttığı bulunmuştur (Liu ve ark., 2022).

Doğumun İkinci Evresi Aktif Yönetimi-Kanıt Temelli Uygulamalar

Doğum eyleminin ikinci evresi, dilatasyonun tamamlanmasıyla başlayıp fetüsün doğumu arasındaki ekspulsiyon-itilme dönemidir. Anne ve bebek mortalitesinin yüksek olduğu bu dönemde, anne ve bebek sağlığının korunarak doğumun gerçekleştirilmesi kanıt temelli uygulamalar açısından büyük önem taşır (Başgöl & Kızılkaya Beji, 2015).

- **Ikınma:** Doğum eyleminin ikinci evresinde genellikle spontan (açık glotis-nefes vererek) ıkınma ya da valsalva tipi (kapalı glotis-nefes tutarak) ıkınma yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak kanıt temelli rehberlerde valsalva tipi ıkınmada uzun süreli nefes tutulmasının fetüs sağlığını olumsuz yönde etkileyebileceği bildirilmiştir. Doğum eyleminde kadınların valsalva tipi ıkınması ikinci evrenin süresini kısaltırken, maternal oksijenasyonun azalması sonucu fetüsün asit-baz dengesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Literatürde valsalva tipi ıkınmayı öneren kanıtlar henüz yoktur. Kadınlara kısa süreli spontan ıkınma ya da öğretilmiş ıkınma yöntemleri yerine kendi bedenlerini, içgüdülerini dinlemeleri önerilmektedir (Başgöl & Kızılkaya Beji, 2015).
- **Fundal Basınç:** Fundal basınç, spontan vajinal doğumu kolaylaştırmak ve ikinci evrenin uzamasını önlemek için fundus yüzeyinin üzerinden doğum kanalına doğru elle ya da kemerle uygulanan basınçtır. Cochrane sistematik incelemesinde fundal basınç/şişirilebilir kemer uygulanan kadınlar ile fundal basınç uygulanmayan grup karşılaştırılmıştır. Gruplar arası sezaryen oranlarında maternal ve neonatal sonuçlarda anlamlı farklılık bulunmamıştır. Kemer uygulanan grupta anal sfinkter yırtıkları bildirilirken uzun dönem sonuçlarına ilişkin veri elde edilmemiştir. Sonuç olarak, fundal basıncın yararlarına ve zararlarına ilişkin kanıtlar yetersiz olup maternal perineye olan etkilerini ve bebeğin güvenliğini kapsayan çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Başgöl & Kızılkaya Beji, 2015).
- **Perineal Yöntemler:** Perine masajı ve perineye sıcak uygulama, vajinal doğumlarda sık görülen perineal travma ile özellikle 3. ve 4. derece yırtıkların önlenmesine yönelik kullanılan yöntemlerdir. Doğum eyleminin ikinci evresinde uygulanan bu perineal yaklaşımlar, genital yırtıkların oluşum riskini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda 11651 kadını kapsayan Cochrane sistematik incelemesinde perineyi korumak için uygulanan sıcak kompresler ve perineal masajlar değerlendirilmiştir. Doğum eyleminin 2. evresinde uygulanan sıcak kompresin ve perineal masajın 3. ve 4. derece yırtıkları önlemede anlamlı derecede etkili olduğu bildirilmiştir. Perine masajı yaparken suda çözünen lubrikantların kullanılması ve her iki elin parmağı ile vajinanın dışına ve yaklaşık 4 cm vajinanın iç ve dış duvarına lateralden başlatarak (saat üç ve dokuz yönü) ritmik olarak "U" şeklinde yapılan kontrolün önerildiği perineal koruma yöntemleri arasında, perinenin elle korunması (hands-on) ve perinenin elle korunmaması (hands-off) yer almaktadır. Elle korunma yönteminde taçlanma anında yenidoğanın başına uygulanan basıncı azaltmak ve perineal yırtıkları önlemek amacıyla bir el ile perine desteklenirken diğer el ile doğum süreci kontrol edilir. Perineye dokunulmaması (hands-off) yaklaşımının ise 3. ve 4. derece yırtıklar üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı buna karşın epizyotomi oranlarını azaltabildiği bildirilmektedir.(Başgöl & Kızılkaya Beji, 2015).
- **Elektronik Fetal Monitörizasyon:** Elektronik fetal monitorizasyon (EFM), fetüsün kalp atımlarını ve doğum eylemindeki annenin kontraksiyonlarını kaydeder. Sürekli EFM yazılı bir kayıt sağlasa da kadınlar doğum eylemi boyunca özgürce hareket edemez, kolayca pozisyon değiştiremez ve doğum eyleminde konfor sağlamak amacıyla doğum havuzunu kullanamaz (Alfirevic ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada kadınların %91'i EFM'nin normal doğum eyleminde net bir endikasyon olmaksızın sıklıkla uygulandığını, kadınların %45'i ise EFM'nin temel bakımın bir parçası olarak görüldüğünü belirtmiştir (Begley ve ark., 2018). Diğer bir çalışmada ise kadınların %75'i EFM'ye bağlı iken kendilerini kötü hissettiklerini ifade etmiştir (Tan ve ark., 2022).

Sürekli EFM'nin, neonatal ve maternal mortaliteyi azaltmadan anneler için risk taşıyan artan sayıda sezaryen ve müdahaleli doğumla ilişkili olduğu saptanmıştır (WHO, 2018; Alfirevic ve ark., 2017). DSÖ, spontan doğum eylemindeki sağlıklı gebe kadınlarda fetal sağlığı değerlendirmek için sürekli kardiyotokografi önermemektedir. Bunun yerine DSÖ doğum eylemindeki sağlıklı gebe kadınlarda fetal kalp atımlarını dinlemek için doppler ultrason cihazı ya da Pinard fetal steteskop kullanarak aralıklı olarak dinlemeyi önermektedir (WHO, 2018).

- **Epizyotomi:** Doğum sırasında vajinal ve perineal dokularda bazen rektuma kadar uzanabilen yırtıklar oluşabilir ve cerrahi onarım gerektirebilir. Bu durumu önlemek amacıyla uygulanan

epizyotomi bazı ülkelerde rutin bir girişimdir. Ancak hem yırtıklar hem de epizyotomi; ağrı, kanama, enfeksiyon, disparoni ve üriner inkontinans gibi komplikasyonlara neden olabilmektedir (Serati ve ark., 2019; Jiang ve ark., 2017). Yapılan bir çalışmada, kadınların %39.3'üne (Mena-Tudela ve ark., 2020b), diğer çalışmada ise %30.5'ine epizyotomi uygulanmıştır (Baranowska ve ark., 2019). Bohren ve arkadaşlarının doğum eyleminde 2016 kadına gözlem ve 2672 kadına ise anket uyguladıkları çalışmada; gözlemlenen kadınların %75.1'ine, anket uygulanan kadınların ise %56.1'ine bilgilendirilmiş onam olmaksızın epizyotomi uygulandığı saptanmıştır (Bohren ve ark., 2019). Miller ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada epizyotomi oranlarının %17.4 ile %91.8 arasında değiştiği saptanmıştır (Miller ve ark., 2016). Rutin olarak yapılan epizyotominin hem anne hem de bebek için bir yararının olmadığı belirtilmiştir (Jiang ve ark., 2017). DSÖ, spontan vajinal doğumlarda epizyotominin rutin kullanımını önermemektedir. Eğer epizyotomi yapılırsa; etkili lokal anestezi ve kadının bilgilendirilmiş onamı şarttır (WHO, 2018).

- **Amniyotomi:** Amniyotomi, plastik bir çubukla rüptüre edilmesi, suni olarak açılması işlemidir. Sıklıkla doğum eylemini hızlandırmak amacıyla uygulanır (Kanbur & Uzun Özer, 2022). Yapılan bir çalışmada kadınların %18.6'sına (Martínez-Galiano ve ark., 2021), diğer çalışmada ise kadınların %36.3'üne amniyotomi uygulandığı saptanmıştır (Mena-Tudela ve ark., 2020b). Kanıtlar, spontan başlayan tüm doğumlarda amniyotominin doğum eyleminin ilk evresini kısaltmadığını ve sezaryen doğumlarda olası bir artış olduğunu göstermiştir (Smyth ve ark., 2013). Doğum eyleminin yönetim ve bakım standardizasyonunun bir parçası olarak rutin amniyotomi önerilmemektedir (WHO, 2018; Smyth ve ark., 2013).
- **Lavman:** Lavman invaziv bir uygulama olarak kabul edilir ve kadınlar için rahatsızlık ile ilişkilidir (WHO, 2018). Yapılan bir çalışmada kadınların %1.8'ine (Martínez-Galiano vd., 2021), diğer çalışmada ise kadınların %9.1'ine lavman uygulandığı saptanmıştır (Mena-Tudela vd., 2020b). Yapılan çalışmalar rutin lavman kullanımının ne doğum eyleminin süresini azalttığını ne de perineal yara enfeksiyonu ve diğer neonatal enfeksiyon oranları üzerinde yararlı bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Bu nedenle doğumhaneye kabulde lavman uygulanması önerilmemektedir (WHO, 2018; Reveiz ve ark., 2013).
- **Vajinal Muayene:** Bohren ve arkadaşlarının doğum eyleminde 2016 kadına gözlem ve 2672 kadına ise anket uyguladıkları çalışmada; gözlemlenen kadınların %59.0'una, anket uygulanan kadınların ise %49.7'sine bilgilendirilmiş onam olmaksızın vajinal muayene yapıldığı saptanmıştır (Bohren ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada, kadınların %31.9'u doğum eylemi boyunca sürekli vajinal muayene uygulandığını (Mena-Tudela ve ark., 2020b), diğer çalışmada ise kadınların %22.2'sine ise farklı profesyoneller tarafından tekrarlayan vajinal muayeneler uygulandığı saptanmıştır (Martínez-Galiano ve ark., 2021).

Düşük riskli kadınlarda doğum eyleminin aktif ilk evresinde rutin değerlendirme için dört saat aralıklarla dijital vajinal muayene önerilmektedir. Vajinal muayenelerinin sıklığının ve toplam sayısının sınırlandırılmasına öncelik verilmelidir. Bu amniyotik membranların uzamış rüptürü ve uzamış doğum eylemi gibi enfeksiyon için risk faktörlerinin olduğu durumlarda özellikle önemlidir (WHO, 2018).

- **İndüksiyon:** Doğum eylemi yavaşladığında veya durduğunda eylemi uyarmak ve hızlandırmak adına indüksiyon uygulanabilmektedir. Sentetik oksitosin indüksiyonu günümüzde en sık kullanılan ilaçlardan birisidir ve uterus kaslarının kontrakte olmasını sağlar (Kanbur & Uzun Özer, 2022). Bohren ve arkadaşlarının, doğum eyleminde 2016 kadına gözlem ve 2672 kadına ise anket uyguladıkları çalışmada; gözlemlenen kadınların %13.8'ine indüksiyon, %55.9'unda ise doğum eyleminin hızlandırıldığı, anket uygulanan kadınların ise %26.9'una bilgilendirilmiş onam olmaksızın indüksiyon uygulandığı saptanmıştır (Bohren ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada, kadınların %48.3'ü doğum eylemi boyunca oksitosin uygulandığını (Mena-Tudela ve ark., 2020b), diğer çalışmada ise kadınların %21.8'i doğum eyleminin hızlandırıldığını belirtmiştir (Martínez-Galiano ve ark., 2021). Miller ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada doğum eyleminde indüksiyon oranlarının %1.8 ile %71.0 arasında değiştiği saptanmıştır (Miller ve ark., 2016). Doğum eylemi, beş cm'lik servikal dilatasyon eşiğine ulaşana kadar doğal olarak hızlanmayabilir. Bu nedenle doğum eylemi ve doğumu hızlandırmak için tıbbi müdahalelerin bu eşikten önce kullanılması, maternal ve fetal durumların güven verici olması koşuluyla önerilmemektedir (WHO, 2018).

- **Sezaryen**: Sezaryen, fetüsün abdominal duvar ve uterus kesisi yolu ile doğumunun sağlandığı bir ameliyattır (Kanbur & Uzun Özer, 2022). Gereksiz sezaryen doğumla ilişkili anne ve çocuğuna yönelik riskler göz önüne alındığında, sezaryenlerin aşırı kullanımına yönelik eğilim, küresel olarak büyük bir endişe kaynağıdır. Bu riskler arasında enfeksiyonlar, kanama gibi önlenebilir maternal komplikasyonlar, anestezi kullanımı, kan transfüzyonu ile ilgili komplikasyonlar ve solunum problemleri, astım ve çocuklarda obezite gibi bebek morbiditesi sayılabilir. Sezaryen, sonraki gebeliklerde anne için uterus rüptürü, plasental implantasyon sorunları ve histerektomi ihtiyacı gibi ek komplikasyonlara da yol açabilir. Yüksek sezaryen oranları sağlık sistemleri üzerinde önemli bir yük oluşturabilen sağlık bakım maliyetleriyle de ilişkilidir (Opiyo ve ark., 2020).

Bohren ve arkadaşlarının doğum eyleminde 2016 kadına gözlem ve 2672 kadına ise anket uyguladıkları çalışmada; gözlemlenen kadınların %13.4'üne, anket uygulanan kadınların ise %10.8'ine bilgilendirilmiş onam olmaksızın sezaryen uygulandığı saptanmıştır (Bohren ve ark., 2019). Yapılan bir çalışmada kadınların %16.9'u gereksiz sezaryen uygulandığını (MenaTudela ve ark., 2020b), diğer çalışmada ise kadınların %9.6'sına bilgilendirme olmaksızın sezaryen uygulandığı saptanmıştır (Martínez-Galiano ve ark., 2021). Dünya çapında artan oranları ele almak ve sezaryenin aşırı kullanımından kaynaklanan kadınlara ve yenidoğanlara zararı önlemek için DSÖ 2018'de gereksiz sezaryenleri azaltmak amacıyla klinik olmayan müdahaleler hakkında yeni öneriler yayınlamıştır (Opiyo ve ark., 2020; WHO, 2018).

Doğumun Üçüncü Evresi Aktif Yönetimi-Kanıt Temelli Uygulamalar

Doğumun üçüncü evresi fetüsün doğumuyla başlayan ve plasentanın doğumuyla sonlanan evredir. Fetüs doğduktan sonra genellikle 30 dakika içerisinde plasenta uterus duvarından ayrılır (Ejder Apay & Akpınar, 2022).

- **Uterotonik Ajanların Kullanılması:** Postpatum hemorajinin tedavisinde uterotonik ajan kullanımı (ilk tercih olarak sadece oksitosin) önemli rol oynamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (2018) uterotonik ilaçların kullanılması aşamasında;

➢ Tüm doğumlarda IV ya da IM olarak 10 IU oksitosin kullanılmasını önerir.
➢ Karbetosin (100 µg, IM/IV)
➢ Misoprostol (ya 400 µg ya da 600 µg, PO)
➢ Hipertansif bozuklukların ekarte edildiği doğumlarda ergot preparatları (200 µg, IM/IV)
➢ Hipertansif bozuklukların ekarte edildiği doğumlarda sabit doz oksitosin ve ergot preparatları (5 IU/500 µg, IM)
➢ Enjekte edilebilen prostaglandinler (carboprost ya da sulprostone) ise tavsiye edilmeyen grupta yer alır (Kanbur & Taşkın, 2023).

Uterotonik ilaçlar ve postpartum kanama arasındaki ilişkinin incelendiği bir meta analiz çalışmasında, 500 ml ya da daha fazla kanamayı önlemek için ergotmetrin ve oksitosin, karbetosin, oksitosin ile kombine misoprostol önerilmektedir (Gallos ve ark., 2018). Profilaktik oksitosinin postpartum kanamaya etkisinin incelendiği bir çalışmada oksitosin ve ergot preparatları karşılaştırıldığında kan kaybı, ek uterotonik ihtiyacı ve kan transfüzyonu ile ilgili durumların belirsiz olduğu belirtilmiştir. Ayrıca oksitosin-ergometrin, ergot alkaloidleriyle kıyaslandığında ise kan kaybını azaltabileceği bulunmuş ancak kesinliğinin düşük olduğu ifade edilmiştir (Salati ve ark., 2019).

Yapılan bir cochrane çalışmasında profilaktik IM veya IV ergot preparatlarının kan kaybının azaltılmasında ve maternal hemoglobinin artmasında etkili olabileceği ifade edilmektedir. Ancak ergot alkaloidlerinin, terapötik uterotonik ajan kullanımını azaltabileceği ama yüksek kan basıncı ve doğumdan sonra analjezi gerektiren ağrı gibi yan etkilere neden olabileceği ortaya konmuştur (Liabsuetrakul ve ark., 2018).

DSÖ (2018)	Tüm doğumlarda(vajinal/sezaryen) uterotonik ajan kullanımı, postpartum kanamayı önlemesi açısından önerilir.(Öneri: A / Kanıt Düzeyi: Orta) • Oksitosin(10 IU- IM/IV) postpartum kanamanın önlenmesinde önerilen uterotonik ilaçtır. (Öneri: A / Kanıt Düzeyi: Orta) • Oksitosinin mevcut olmadığı durumlarda enjekte edilen uterotonikler (eğer uygunsa ergometrine/methylergometrine ya da oksitosin ve

	ergometrin ilaç kombinasyonu) veya oral misoprostol 600 mcg kullanılabilir. (Öneri: A / Kanıt Düzeyi: Orta)
Uluslararası Ebeler Konfederasyonu (ICM) ve Uluslararası Jinekoloji ve Obstetri Federasyonu (FIGO) (2004)	• Bebeğin doğumundan sonra bir dakika içinde 10 IU IM oksitosin verilmesi önerilir. Çünkü enjekte edildikten sonra 2-3 dakika içinde etkin olur ve minimal yan etkiye sahiptir. • Oksitosin olmadığı durumlarda ergometrin 0.2 mg IM, oksitosin ve ergometrin kombinasyonu IM, misoprostol 400-600 mcg kullanılması önerilir.
Ulusal Klinik Uygulamaları Geliştirme Enstitüsü (NICE) (2014)	• Doğumdan sonra 10 IU oksitosin IM olarak önermektedir.

Tablo: Çeşitli Kuruluşların Uterotonik Ajan Kullanımına Yönelik Önerileri
(Kaynak: Kanbur, A., & Taşkın, R. (2023). Doğumun 3. evresinin yönetimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12*(1), 352–360.)

- **Erken Kord Klemplenmesi:** Ulusal Klinik Uygulamaları Geliştirme Enstitüsü (NICE, 2014) ve Amerikan Kadın Hastalıkları ve Doğum Koleji (ACOG) gibi sağlık kuruluşları geç kord klembinin yenidoğana yönelik faydalarını ele alarak erken kord klempini önermemektedir (ACOG, 2017)

DSÖ	• Erken kord klempini (doğumdan sonra 1 dakikadan az) asfiksi ve resusitasyon ihtiyacı olmadıkça önermemektedir.
ICM/FIGO	• DSÖ'nün orta kalitede olan umblikal kordunun 3 dakika sonra klemplenmesi önerisine faydaları yönünden atıfta bulunmuştur.
ACOG	• Term yenidoğanlarda yaşamın ilk birkaç ayında demir seviyesini ve hemoglobini yükseltmesi, preterm bebeklerde nekrotizan enterekolit ve intraventriküler hemoraji insidansında azalma sağlaması ve kan transfüzyon ihtiyacını azaltması dolayısıyla geç kord klempini önermektedir.
NICE	• İlk 60 saniye kordun klemplenmesini önermemektedir.

(**Kaynak:** Kanbur, A., & Taşkın, R. (2023). Doğumun 3. evresinin yönetimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12*(1), 352–360.)

- **Kontrollü Kord Traksiyonu:** Kontrollü kord traksiyonu, bir el ile fundusun yukarı doğru itilmesi esnasında bir el ile de umblikal korda sürekli traksiyon uygulanması işlemidir. Bu yöntem, uterus inversiyonu gibi olumsuz sonuçlara yol açabileceği için yöntemi uygulayacak olan kişinin eğitimli ve bu konuda yeterli beceriye sahip olması gerekmektedir (Kanbur & Taşkın, 2023).
- Kontrollü kord çekiminin uterotonik ilaç kullanımını azalttığı, hem masajın hem de kontrollü kord çekme yönteminin uterotonik ilaçlar kadar etkili olduğu bulunmuştur (Kanbur & Taşkın, 2023). Kontrollü kord traksiyonu ve bekleme tedavisinin karşılaştırıldığı bir çalışmada gruplar arasında şiddetli postpartum hemoraji, kan transfüzyon ihtiyacı ve terapötik uterotonik ihtiyacında önemli bir fark bulunmamıştır. Ancak kontrollü kord traksiyonunun doğum sonu kanamayı, plasentanın elle çıkarılmasını ve üçüncü evrenin süresini azalttığı ortaya konulmuştur (Du ve ark., 2014).
- **Uterus Masajı:** Uterin masaj abdomenin alt kısmına uterusu uyarmak için yapılan tekrarlayan masaj ve sıkma hareketlerini içerir. Bu masajla uterus kontraksiyonları stimüle edilir. Bu stimülasyon sayesinde lokal prostaglandinlerin uyarıldığı ve hemorajiyi azalttığı düşünülmektedir (Kanbur & Taşkın, 2023).

DSÖ (2018) oksitosin alan kadınlarda hem anneyi rahatsız edeceği için hem de kanamayı azaltmada başarının sağlanmaması dolayısıyla tekrarlayan uterus masajı önermemektedir. Bununla birlikte, postpartum uterin atoninin erken teşhisi için tüm kadınlarda abdominal palpasyonla uterus atoninin gözetimi önerilmektedir (WHO, 2018). Yapılan bir çalışmada postpartum ilk bir saat içinde her 10 dakikada bir yapılan uterin masajın uterotonik ajan kullanımını ve kan kaybını %80 azalttığı bulunmuştur (Hofmeyr ve ark., 2013). Konu ile ilgili yapılan farklı bir çalışmada postpartum ilk 24 saatte loşia rubra miktarını azaltmak için uterin masajın yapılması gerekliliği üzerinde durulmaktadır (Çalım & Kavlak, 2014).

Sistematik bir incelemede uterin masajın, uterotonik kullanımında, plasentanın manuel çıkarılma insidansında, ≥300, ≤400, ≤1000 ml kan kaybında, bebek doğduktan sonra plasentanın ≤60 dakikada doğması yönünden istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır (Saccone ve ark., 2018).

SONUÇ

Doğumun aktif yönetimi, doğumun tüm evrelerinde uygun ve gereksiz müdahaleden kaçınmayı esas alan kanıta dayalı bir yaklaşımdır. Güncel rehberler özellikle postpartum kanama gibi ciddi komplikasyonların önlenmesinde aktif yönetim uygulamalarının önemli bir yer tuttuğunu göstermektedir. Bu kapsamda uterotonik ajan kullanımı, kontrollü kord traksiyonu ve uterus tonusunun izlenmesi temel uygulamalar arasında yer almaktadır.

Doğum sürecinde uygulanan girişimlerin önemli bir kısmı rutin kullanım yerine klinik gereksinimlere göre seçildiğinde daha güvenli sonuçlar vermektedir. Bu nedenle bakımın bireyselleştirilmesi ve kanıta dayalı rehberler doğrultusunda yürütülmesi, gereksiz müdahalelerin azaltılmasına ve doğumun fizyolojik seyrinin desteklenmesine katkı sağlar.

Sonuç olarak, doğum bakımında kanıta dayalı yaklaşımın benimsenmesi anne ve yenidoğan güvenliğini güçlendirmektedir. Bu süreçte kadın doğum hemşireleri, kanıta dayalı uygulamaların klinikte doğru şekilde uygulanması ve sürdürülmesinde kritik bir role sahiptir.

KAYNAKÇA

American College of Obstetricians and Gynecologists & American Academy of Pediatrics Committee on Obstetric Practice. (2017). *Delayed umbilical cord clamping after birth***.** Pediatrics, 139(6), e20170957.

American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG). (2017). *Practice bulletin No. 183: Postpartum hemorrhage*.

American College of Obstetricians and Gynecologists. (2024). First and second stage labor management. *Obstetrics & Gynecology, 143*(1), 144–162. Aktaş, S., Aksoy Derya, Y., & Toker, E. (2023). A'dan Z'ye Temel Ebelik (1. bs, Vols. 1-2). İstanbul Tıp Kitabevi.

Alfirevic, Z., Devane, D., Gyte, G. M., & Cuthbert, A. (2017). Continuous cardiotocography (CTG) as a form of electronic fetal monitoring (EFM) for fetal assessment during labour. The Cochrane database of systematic reviews, 2(2), CD006066.

Alhafez, L., & Berghella, V. (2020). Evidence-based labor management: First stage of labor (Part 3). *American Journal of Obstetrics & Gynecology MFM, 2*(4), 100185.

Baranowska, B., Doroszewska, A., Kubicka-Kraszyńska, U., Pietrusiewicz, J., Adamska-Sala, I., Kajdy, A., Sys, D., Tataj-Puzyna, U., Bączek, G., & Crowther, S. (2019). Is there respectful maternity care in Poland? Women's views about care during labor and birth. BMC pregnancy and childbirth, 19(1), 520.

Başgöl, Ş., & Kızılkaya Beji, N. (2015). Doğum eyleminin ikinci ve üçüncü evresinde sık yapılan uygulamalar ve kanıta dayalı yaklaşım. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5*(3), 66–71.

Başgöl, Ş., & Koç, E. (2020). Non-pharmacological techniques in labor pain management. *JSHS, 5*(1), 1–5

Begley, C. M., Gyte, G. M. L., Devane, D., McGuire, W., Weeks, A., & Biesty, L. M. (2019). Active versus expectant management for women in the third stage of labour. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (2), CD007412.

Begley, C., Sedlicka, N., & Daly, D. (2018). Respectful and disrespectful care in the Czech Republic: an online survey. Reproductive health, 15(1), 198.

Bohren, M. A., Hofmeyr, G. J., Sakala, C., Fukuzawa, R. K., & Cuthbert, A. (2017). Continuous support for women during childbirth. *Cochrane Database of Systematic Reviews, 2017*(7), CD003766. Bohren, M. A., Mehrtash, H., Fawole, B., Maung, T. M., Balde, M. D., Maya, E., Thwin, S. S., Aderoba, A. K., Vogel, J. P., Irinyenikan, T. A., Adeyanju, A. O., Mon, N. O., Adu-Bonsaffoh, K., Landoulsi, S., Guure, C., Adanu, R., Diallo, B. A., Gülmezoglu, A. M., Soumah, A. M., Sall, A. O., … Tunçalp, Ö. (2019). How women are treated during facility-based childbirth in four

countries: a cross-sectional study with labour observations and community-based surveys. Lancet (London, England), 394(10210), 1750–1763.

Bugg, G. J., Siddiqui, F., & Thornton, J. G. (2013). Oxytocin versus no treatment or delayed treatment for slow progress in the first stage of spontaneous labour. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2013(6), CD007123.

Burns, E., Feeley, C., Hall, P. J., & Vanderlaan, J. (2022). Systematic review and meta-analysis to examine intrapartum interventions, and maternal and neonatal outcomes following immersion in water during labour and waterbirth. *BMJ Open, 12*(7), e056517.

Cluett, E. R., Burns, E., & Cuthbert, A. (2018). Immersion in water during labour and birth. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(5), CD000111.

Çalım, S.İ. ve Kavlak, O. (2014). "The Effect of Uterine Massage during Early Postpartum Period on Uterus Involution and Amount of Lochia Rubra". Journal of Health Sciences, 3 (4), 1005-1018. Delgado, A., Katz, L., Melo, R. S., Amorim, M., & Lemos, A. (2022). Effectiveness of the peanut ball use for women with epidural analgesia in labour: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Obstetrics and Gynaecology, 42*(5), 726–733.

Du, Y, Ye, M. and Zheng, F. (2014). "Active Management of the Third Stage of Labor with and without Controlled Cord Traction: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials". Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinaciva, 93 (7), 626-633.

Ejder Apay, S., & Akpınar, F. Z. (2022). Doğum eylemi. E. Nazik (Ed.), *Doğum, kadın sağlığı ve hastalıkları hemşireliği* (2. baskı, ss. 311–333). Akademisyen Kitabevi.

Erbay E., (2017). Importance of research in social work practice: a pilot study from Turkey. Journal of Social Service Research, 43, 3, 395-403.

Fernández-Gamero, L., Reinoso-Cobo, A., Ruiz-González, M. D. C., Cortés-Martín, J., Muñoz Sánchez, I., Mellado-García, E., et al. (2024). Impact of hypnotherapy on fear, pain, and the birth experience: A systematic review. *Healthcare, 12*(6), 61.

Gallos, I.D, Papadopoulou, A, Man, R, Athanasopoulos, N, Tobias, A, Price, M.J, Williams, M.J, Diaz, V, Pasquale, J, Chamillard, M, Widmer, M, Tunçalp, Ö, Hofmeyr, G.J, Althabe, F, Gülmezoglu, A.M, Vogel, J.P, Oladapo, O.T. and Coomarasamy, A. (2018). "Uterotonic Agents for Preventing Postpartum Haemorrhage: a Network Meta-Analysis". Cochrane Database of Systematic Reviews, 12 (12), 1-925.

Girault, A., Goffinet, F., & Le Ray, C. (2020). Reducing neonatal morbidity by discontinuing oxytocin during the active phase of first stage of labor: A multicenter randomized controlled trial STOPOXY. *BMC Pregnancy and Childbirth, 20*(1), 640.

Grenvik, J. M., Coleman, L. A., & Berghella, V. (2023). Birthing balls to decrease labor pain and peanut balls to decrease length of labor: What is the evidence? *American Journal of Obstetrics & Gynecology, 228*(5S), S1270–S1273.

Grenvik, J. M., Rosenthal, E., Saccone, G., Della Corte, L., Quist-Nelson, J., Gerkin, R. D., et al. (2019). Peanut ball for decreasing length of labor: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology, 242*, 159–165.

Gueguen, J., Huas, C., Orri, M., & Falissard, B. (2021). Hypnosis for labour and childbirth: A meta-integration of qualitative and quantitative studies. *Complementary Therapies in Clinical Practice, 43*, 101380.

Hofmeyr, G.J, Abdel-Aleem, H. and Abdel-Aleem, M.A. (2013). "Uterine Massage for Preventing Postpartum Haemorrhage". Cochrane Database of Systematic Reviews, 1 (7), 1-27. Intan Navelia, Z., Hanifa, F. N., Rusliani, D. M., Dewi, N. P., & Heldayasari, F. (2024). The effect of using peanut ball on the duration of first stage of labour: A systematic review. *Jurnal MID-Z, 7*(1), 55–61.

Jiang, H., Qian, X., Carroli, G., & Garner, P. (2017). Selective versus routine use of episiotomy for vaginal birth. The Cochrane database of systematic reviews, 2(2), CD000081.

Kahveci Ceylan, B., & Mete, M. (2023) Kanıta Dayalı Hemşirelik Kavramı ve Kanıt Niteliği Oluşturan Durumlar, Akşehir Meslek Yüksekokulu Sosyal Bilimler Dergisi, 15, 121-132.

Kanbur, A., & Taşkın, R. (2023). Doğumun 3. evresinin yönetimi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 12*(1), 352–360.

Kanbur, A., & Uzun Özer, B. (2022). Riskli doğum eylemi ve bakım. E. Nazik (Ed.), *Doğum, kadın sağlığı ve hastalıkları hemşireliği* (2. bs., Bölüm 13). Akademisyen Kitabevi.

Lai, C. Y., Wong, M. K. W., Tong, W. H., Lau, K. Y., Chu, S. Y., Tam, A. M. L., et al. (2022). The impact of antenatal massage practice on intrapartum massage application and their associations with the use of analgesics during labour: Sub-analysis of a randomized controlled trial. *BMC Pregnancy and Childbirth, 22*(1), 420.

Liabsuetrakul, T, Choobun, T, Peeyananjarassri, K. and Islam Q.M. (2018). "Prophylactic Use of Ergot Alkaloids in the Third Stage of Labour". Cochrane Database of Systematic Reviews, 6 (6), 1-60.Liu, M., Zhang, Y., Jiang, Y., Xu, H., Lü, A., & Wang, N. (2022). Effect of the acupuncture at acupoint combined with epidural labor analgesia on postpartum depression. *Journal of Bengbu Medical College, 47*(5), 603–607.

Lokugamage, A. U., Eftime, V. A. I., Porter, D., Ahillan, T., & Ke, S. X. (2020). Birth preparation acupuncture for normalising birth: An analysis of NHS service routine data and proof of concept. *Journal of Obstetrics and Gynaecology, 40*(8), 1096–1101. Martínez-Galiano, J. M., Martinez-Vazquez, S., Rodríguez-Almagro, J., & HernándezMartinez, A. (2021). The magnitude of the problem of obstetric violence and its associated factors: A cross-sectional study. Women and birth : journal of the Australian College of Midwives, 34(5), e526–e536.Mena-Tudela, D., Iglesias-Casás, S., González-Chordá, V. M., Cervera-Gasch, Á., AndreuPejó, L., & Valero-Chilleron, M. J. (2020b). Obstetric Violence in Spain (Part II): Interventionism and Medicalization during Birth. International journal of environmental research and public health, 18(1), 199.

Melnyk, B. M., & Fineout-Overholt, E. (2023). *Evidence-based practice in nursing & healthcare: A guide to best practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.

Miller, S., Abalos, E., Chamillard, M., Ciapponi, A., Colaci, D., Comandé, D., Diaz, V., Geller, S., Hanson, C., Langer, A., Manuelli, V., Millar, K., Morhason-Bello, I., Castro, C. P., Pileggi, V. N., Robinson, N., Skaer, M., Souza, J. P., Vogel, J. P., & Althabe, F. (2016). Beyond too little, too late and too much, too soon: a pathway towards evidence-based, respectful maternity care worldwide. Lancet (London, England), 388(10056), 2176–2192.

National Collaborating Centre for Women's and Children's Health (UK). (2014). "Intrapartum Care: Care of Healthy Women and Their Babies During Childbirth". London: National Institute for Health and Care Excellence. National Institute for Health and Care Excellence. (2023). *Recommendations: First stage of labour*. https://www.nice.org.uk/guidance/ng235/chapter/recommendations-first-stage-of-labour

Opiyo, N., Kingdon, C., Oladapo, O. T., Souza, J. P., Vogel, J. P., Bonet, M., Bucagu, M., Portela, A., McConville, F., Downe, S., Gülmezoglu, A. M., & Betrán, A. P. (2020). Nonclinical interventions to reduce unnecessary caesarean sections: WHO recommendations. Bulletin of the World Health Organization, 98(1), 66–68.

Reyhan, F. A., & Sayıner, F. D. (2024). The importance of the birth environment and a review on the ideal birth unit (Doğum ortamının önemi ve ideal doğum ünitesi üzerine bir derleme çalışması). *Journal of Midwifery and Health Sciences, 7*(1), 195–207.

Reveiz, L., Gaitán, H. G., & Cuervo, L. G. (2013). Enemas during labour. The Cochrane database of systematic reviews, 2013(7), CD000330.

Saccone, G, Caissutti, C, Ciardulli, A, Abdel-Aleem, H, Hofmeyr, G.J. and Berghella, V. (2018). "Uterine Massage as Part of Active Management of the Third Stage of Labour for Preventing Postpartum Haemorrhage during Vaginal Delivery: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Trials". BJOG: an International Journal of Obstetrics& Gynaecology, 125 (7), 778-781.

Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü. (2024). *Güvenli doğum süreci uygulama rehberi*. Salati, J.A, Leathersich, S.J, Williams, M.J, Cuthbert, A. and Tolosa J.E. (2019). "Prophylactic Oxytocin for the Third Stage of Labour to Prevent Postpartum Haemorrhage". Cochrane Database of Systematic Reviews, 4 (4), 1-91. Santiváñez-Acosta, R., Tapia-López, E. del N., & Santero, M. (2020). Music therapy in pain and anxiety management during labor: A systematic review and

meta-analysis. *Medicina, 56*(10), 526. Serati, M., Salvatore, S., & Rizk, D. (2019). Episiotomy in modern clinical practice: friend or foe?. International urogynecology journal, 30(5), 669–671.

Serçekuş, P., & Gökçe İsbir, G. (2012). Aktif doğum yaklaşımının kanıta dayalı uygulamalar ile incelenmesi. *TAF Preventive Medicine Bulletin, 11*(1), 97–102.

Shaterian, N., Pakzad, R., Fekri, S. D., Abdi, F., Shaterian, N., & Shojaee, M. (2022). Labor pain in different dilatations of the cervix and Apgar scores affected by aromatherapy: A systematic review and meta-analysis. *Reproductive Sciences, 29*(9), 2488–2504.Smyth, R. M., Markham, C., & Dowswell, T. (2013).

Amniotomy for shortening spontaneous labour. The Cochrane database of systematic reviews, (6), CD006167. Tan, T., Çaltekin, S. G., Hamlacı, Başkaya, Y. (2022). Kadınların doğum sürecinde vajinal muayene ve elektronik fetal monitörizasyona yönelik deneyimleri. Sakarya Üniversitesi Holistik Sağlık Dergisi, 5(3), 289-300.

Taş Arslan, F., Akkoyun, S., & Karayağız Muslu, G. (2023). Türkiye'de hemşirelik lisans ve lisansüstü programlarında kanıta dayalı uygulama öğretimi: Tanımlayıcı ve kesitsel çalışma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *14*(3), 406–415.

Teckenberg-Jansson, P., Turunen, S., Pölkki, T., Lauri-Haikala, M. J., Lipsanen, J., Henelius, A., et al. (2019). Effects of live music therapy on heart rate variability and self-reported stress and anxiety among hospitalized pregnant women: A randomized controlled trial. *Nordic Journal of Music Therapy*, *28*, 7–26.

Türk Maternal Fetal Tıp ve Perinatoloji Derneği. (2019). *Travay ve doğum sırasında müdahalenin sınırlandırılmasına yönelik yaklaşımlar*.

Vanderlaan, J., & Hall, P. (2020). Systematic review of case reports of poor neonatal outcomes with water immersion during labor and birth. *Journal of Perinatal & Neonatal Nursing, 34*(4), 311–

323.World Health Organization. (2019). Recommendations: Intrapartum Care for a Positive Childbirth Experience, WHO:Geneva, Switzerland.World Health Organization. (2012). *WHO recommendations for the prevention and treatment of postpartum haemorrhage*. World Health Organization. (2018). *WHO recommendations: Intrapartum care for a positive childbirth experience*. World Health Organization.

World Health Organization. (2020). *Labour care guide: User's manual*. Winarni, L. M., & Sari, N. (2021). Does prenatal massage reduce severe pain of mother in active labour? *Enfermería Clínica, 31*(Suppl), S436–S438.

Yadav, K., Yadav, A., & Singh, S. (2022). Yoga and attention: A systematic review. *Yoga Mimamsa, 54*(2), 128–132.Zhang, L., & Wang, S. (2023). The efficacy of prenatal yoga on labor pain: A systematic review and meta-analysis. *Alternative Therapies in Health and Medicine, 29*(5), 121–125.

INTERSECTING DYNAMICS OF SPATIAL VIOLENCE: URBICIDE AND CULTURAL GENOCIDE IN SARAJEVO AND MOSTAR

MEKÂNSAL ŞİDDETİN KESİŞEN DİNAMİKLERİ: SARAYBOSNA VE MOSTAR'DA KENTKIRIM VE KÜLTÜREL SOYKIRIM

Doç. Dr. Pınar AKARÇAY
İstanbul Üniversitesi, Uluslararası Soykırım ve İnsanlığa Karşı İşlenen Suçlar Enstitüsü
ORCI ID: orcid.org/0000-0002-5231-0567

Dr. Öğr. Üyesi Besime YÜCEL
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi
ORCID ID: orcid.org/0000-0002-6450-8626

ABSTRACT

The concept of space is etymologically derived from the Arabic word kawn (كون), meaning “to exist” or “being.” In this respect, urban space is not merely a static physical entity composed of stone and concrete that constitutes the settlement area of the urban population; rather, it is a dynamic domain in which social relations are produced, collective identity is shaped, historical memory is constructed, and cultural continuity is transmitted. The morphological, sociological, epistemological, and ontological plurality of urban space transforms cities into strategic objects of violence during periods of armed conflict. Today, urban areas have emerged as the principal theatres of conflict where wars are increasingly concentrated and where spatial violence manifests itself most visibly. During the 1992–1995 Bosnian War, the systematic attacks directed against the cities of Bosnia and Herzegovina constituted one of the most distinctive examples of spatial destruction in modern history. Within this form of strategic violence, not only the city's tangible physical environment but also its intangible social, cultural, and historical fabric suffered severe damage. This study examines the spatial violence experienced in the cities of Sarajevo and Mostar during the Bosnian War through the intersecting dynamics of urbicide and cultural genocide. Rather than reducing urban destruction to a conventional inventory-based assessment, the study conceptualizes it as a comprehensive and systematic form of political violence that generates profound ruptures in the living conditions, spatial belonging, cultural heritage, and historical memory of a particular group. Utilizing the qualitative research method, the spatial destruction in the two cases selected via purposive sampling was examined through document analysis. In this context, reports of international organizations, academic publications, archival documents, policy analyses, and relevant visual and digital materials were rigorously analyzed; the analytical outputs obtained were correlated with the theoretical framework. Consequently, according to the findings of the study, the systematic pattern of destruction in the cities of Sarajevo and Mostar demonstrates that the practices of urbicide and cultural genocide were carried out in coordination, thereby instrumentalizing space for similar ideological purposes.

Keywords: Spatial Violence, Urbicide, Cultural Genocide, Bosnian War, Sarajevo, Mosta

ÖZET

Mekân kavramı etimolojik olarak var olmak ya da olmak anlamlarına gelen Arapça kökenli kevn (كون) kelimesinden türetilmiştir. Bu doğrultuda kentsel mekân da yalnızca şehirli nüfusun yerleşim alanını oluşturan taş ve betondan müteşekkil statik bir oluşum değil, aynı zamanda toplumsal ilişkilerin üretildiği, kolektif kimliğin şekillendiği, tarihsel hafızanın inşa edildiği ve kültürel sürekliliğin aktarıldığı dinamik bir varlık alanıdır. Kentsel mekânın morfolojik, sosyolojik, epistemolojik ve ontolojik çoklu karakteri, silahlı çatışma süreçlerinde kentleri stratejik bir şiddet nesnesine dönüştürmektedir. Günümüzde kentsel alanlar, savaşların giderek yoğunlaştığı ve mekânsal şiddetin en belirgin biçimde tezahür ettiği başlıca çatışma cepheleri olarak öne çıkmaktadır. 1992–1995 Bosna Savaşı sürecinde Bosna-Hersek kentlerine yönelik sistematik saldırılar modern tarihteki mekânsal tahribatın en spesifik örneklerinden birini teşkil etmektedir. Bu stratejik şiddet formunda, kentin somut fiziksel çevresi kadar somut olmayan sosyal, kültürel ve tarihsel dokusu da ağır hasar görmüştür.

Bu çalışma Bosna Savaşı sürecinde Saraybosna ve Mostar kentlerinde yaşanan mekânsal şiddeti kentkırımı (urbicide) ve kültürel soykırım arasındaki kesişimsel dinamikler üzerinden incelemektedir. Çalışmada kentsel yıkım, salt bir envanter çalışmasına indirgenen klasik yaklaşımların ötesinde belirli bir grubun yaşam koşullarında, mekânsal aidiyetinde, kültürel birikiminde ve tarihsel belleğinde derin kırılmalara neden olan geniş kapsamlı sistematik politik bir şiddet biçimi olarak ele alınmaktadır. Nitel araştırma yönteminin kullanıldığı çalışmada, amaçlı örnekleme üzerinden seçilen iki vakadaki mekânsal tahribat doküman analizi ile incelenmiştir. Bu kapsamda uluslararası kuruluş raporları, akademik yayınlar, arşiv belgeleri, politika analizleri, ilgili görsel ve dijital materyaller titizlikle çözümlenmiş; elde edilen analiz çıktıları kuramsal çerçeve ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak çalışmanın bulgularına göre Saraybosna ve Mostar kentlerindeki tahribatın sistematik örüntüsü, kentkırım ve kültürel soykırım pratiklerinin eş güdümlü yürütülerek mekânın benzer ideolojik amaçlarla araçsallaştırıldığını göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Mekansal Şiddet, Urbicide, Kültrel Soykırım, Bosna Savaşı, Saraybosna, Mostar

GİRİŞ

Kentler, sivil nüfusun, konut alanlarının, ekonomik faaliyetlerin, kritik altyapının, kamusal mekânların, tarihsel anıtların ve kültürel mirasın kümelendiği stratejik mekanlar olarak öne çıkmaktadır. Bu karakteristik özellikleri kenti, modern savaşların ve silahlı çatışmaların başlıca hedef unsurlarından biri durumuna getirmiştir. Toplumsal ilişkilerin kurulduğu ve gündelik yaşamın sürdürüldüğü mekânların birer şiddet nesnesi olarak araçsallaştırılması, kentkırım ve kültürel soykırım terimlerinin kesişimsel dinamiklerinin değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda kentkırım, kentin fiziksel dokusuna, gündelik yaşamın mekânsal örgütlenmesine ve kentlinin heterojenliğine yönelmiş yıkımın açıklanmasında önemli bir teorik çerçeve sunarken; kültürel soykırım, bir grubun kimliğini, tarihsel hafızasını ve kültürel birikimi hedef alan imha pratiklerine işaret etmektedir.

Bu tür mekânsal müdahalelerin çok katmanlı tahribatına en somut örnekler arasında Saraybosna ve Mostar kentleri gösterilmektedir. Bu kentlere saldırılar, Bosna-Hersek'in Yugoslavya'dan bağımsızlığını ilan etmesinin ardından Nisan 1992'de başlamıştır. Sırp Cumhuriyeti Ordusu tarafından 5 Nisan 1992'de kuşatılan Saraybosna, 29 Şubat 1996 tarihine kadar 1.425 gün abluka altında kalmıştır. Nisan-Haziran 1992'de Sırp güçlerinin kuşatması altında kalan Mostar kenti, Boşnak ve Hırvat güçlerinin ittifakı ile kurtarılmıştır. Doğu Mostar, Haziran 1993-Nisan 1994 tarihleri arasında eski müttefiki Hırvat Savunma Konseyi'nin saldırıları ile tekrardan kuşatma altına girmiştir. 14 Aralık 1995'te imzalanan Dayton Barış Anlaşması ile savaş resmen sona ermiştir. Savaşta yaklaşık 100.000 Boşnak hayatını kaybederken, 1 milyondan fazlası ülke içinde olmak üzere toplam 2,2 milyon kişi zorunlu olarak yerinden edilmiştir (European Union, 2022). Bunun yanı sıra saldırılar, kentlerin fiziksel dokusuna, kent sakinlerinin gündelik yaşamına, bir arada yaşama iradesine ve tarihsel belleğine de ağır zararlar vermiştir.

Bu çalışma Bosna Savaşı'nda yoğun bombardıman ve saldırıların hedefi olan Saraybosna ve Mostar kentlerini karşılaştırmalı bir perspektifle incelemektedir. Kentlerde meydana gelen yıkım süreci, kentkırım ve kültürel soykırım kavramlarının kesiştiği mekânsal boyutlar üzerinden ele alınmaktadır. Bulgulara göre Saraybosna ve Mostar kentlerinde yaşanan mekânsal şiddet pratikleri, Bosnalıların kentsel kimliğini, toplumsal hafızasını, tarihsel sürekliliğini ve çokkültürlü yaşama kapasitesini hedef alan sistematik bir örüntü göstermektedir.

KAVRAMSAL ÇERÇEVE: KENTKIRIM VE KÜLTÜREL SOYKIRIM

Savaş ve silahlı çatışma ortamlarında şiddet, insan bedenlerine yönelen saldırılarla sınırlı kalmamakta, toplumsal yaşamın üretildiği ve sürdürüldüğü mekânlara da yönelmektedir. Bu çerçevede mekânsal şiddet, belirli toplulukların yaşam alanlarına ve bu alanlarla kurdukları toplumsal ve kültürel bağlara yönelen şiddet biçimlerini açıklamada önemli bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Mekânsal şiddet, fiziksel çevrenin tasarımı, denetimi veya tahribatı aracılığıyla belirli toplumsal grupların mekândan dışlanmasını, yaşam alanlarının sınırlandırılmasını, toplumsal olarak değersizleştirilmesini ve üzerlerinde tahakküm kurulmasını içeren sistematik bir müdahale biçimidir.

Kentlerin sistematik biçimde yıkıma uğratılması ise mekânsal şiddetin özgül bir görünümü olarak kentkırım kavramını öne çıkarmaktadır. Kentin öldürülmesi anlamına gelen kentkırım, Latince urbs (kent/şehir) ile cide (öldürme/katletme) sözcüklerinin birleşiminden oluşmaktadır. Kavramın savaş ve siyasal şiddet bağlamında yaygınlaşmasında Bosna Savaşı önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Eski Yugoslavya'nın dağılma sürecinde Mostar, Saraybosna, Vukovar ve Dubrovnik gibi kentlerin sistematik biçimde tahrip edilmesi, kentsel yıkımın özgül bir şiddet biçimi olarak ele alınmasına zemin hazırlamıştır. Bu dönemde Bogdan Bogdanović'in 1993 tarihli Murder of the City başlıklı çalışması kavramın sistematikleştirilmesine katkı sunmuştur (Bogdanović, 1993).

Kentkırım'ın çağdaş literatürde kuramsal bir çerçeve kazanmasında Martin Coward'ın çalışmaları oldukça önemlidir. Coward, kentkırımı salt kentin yapılı çevresine zarar verilmesi olarak değil, kentsel heterojenliği, gündelik yaşamı ve insanların mekânla kurduğu ilişkileri hedef alan bir politik şiddet biçimi olarak ele almıştır (Coward, 2009: 39). Stephen Graham, kentkırımı stratejik bir tahakküm aracı olarak ele alarak kentsel mekâna yönelik saldırıların siyasal iktidar ilişkileri içindeki rolüne dikkat çekmiştir (Graham, 2003: 63–67). Martin Shaw ise kentkırımı, soykırımın bir uzantısı olarak değerlendirmiştir (Shaw, 2004).

Silahlı çatışma ortamlarında, kültürel miras alanlarının kasıtlı hedef alındığı mekânsal şiddet formlarından biri de kültürel soykırımdır. Bu kavram, bir topluluğun kolektif kimliğinin, tarihsel hafızasının ve kültürel birikiminin kurucu unsurlarından olan maddi ve manevi mirasının sistematik biçimde ortadan kaldırılmasına ilişkin bir imha pratiğidir. Kültürel soykırım kavramının kuramsal arka planı, soykırım çalışmalarının öncüsü Raphael Lemkin'in 1933 Madrid Konferansı'nda önerdiği barbarlık ve vandalizm kavramlarına kadar uzanmaktadır. Lemkin, ulusal, dinsel, ırksal veya sosyal grupların fiziksel varlığının ortadan kaldırılmasını "barbarizm", söz konusu grupların tarih, sanat ve kültür eserlerinin tahrip edilmesini ise "vandalizm" olarak tanımlamıştır. Bu düşünsel arka plan Lemkin'in 1944 yılında yayımladığı Axis Rule in Occupied Europe adlı eserinde ilk kez kullandığı soykırım teriminin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır (Moses, 2010: 30-31).

Raphael Lemkin, Soykırım Sözleşmesi'nin hazırlık görüşmelerinde kültürel boyutun da soykırımın hukuki tanımına girmesi gerektiğini belirtmiş, kültürel soykırımın da metne alınması için çaba göstermiştir. Ancak sömürgecilik geçmişine sahip güçlü devletlerin siyasi ve hukuki gerekçelerle bu yaklaşımı reddetmesi sonucunda kültürel soykırım, Sözleşme'nin nihai metninde yer almamıştır. Buna karşın günümüzde birçok alan uzmanı, kültürel soykırımı belirli bir grubun kısmen veya tamamen ortadan kaldırılmasına yönelik kasıtlı eylemler içeren Soykırım Sözleşmesi ile bağlantılı bir müdahale biçimi olarak değerlendirmektedir.

KENTKIRIM VE KÜLTÜREL SOYKIRIMIN ULUSLARARASI HUKUK BOYUTU

Kentkırım ve kültürel soykırım kavramları, günümüz silahlı çatışmalarında belirli bir gruba ait kentsel alan ile kentin sakinlerine özgü fiziksel, kültürel ve tarihsel unsurların kasıtlı bir şekilde hedef alınmasını açıklamada oldukça kullanışlı analitik bir çerçeve sunmaktadır. Bu güçlü kavramsal ve kuramsal zemine karşın, her iki mekânsal şiddet pratiğinin de uluslararası hukukta müstakil ve açıkça tanımlanmış normatif bir düzenlemesi bulunmamaktadır. Bununla beraber her iki kavrama karşılık gelen eylemler, uluslararası insancıl hukuk, uluslararası ceza hukuku ve ilgili uluslararası sözleşmeler kapsamında sağlam hukuki sorumluluk veya suç unsuru teşkil etmektedir.

Uluslararası Hukukta Kentsel Alanların Yıkımı

1899 tarihli Kara Savaşının Kanun ve Teamüllerine İlişkin II No.lu Lahey Sözleşmesi'ne Ek Yönetmelik, kentsel alanların korunmasına ilişkin erken dönem hukukî düzenlemelerin temel metinlerinden biridir. Bu düzenlemede öngörülen koruma hükümleri, 1907 tarihli IV No.lu Lahey Sözleşmesi'ne Ek Yönetmelik kapsamında revize edilmiş ve kentsel alanlar ile mülkiyetin korunmasına ilişkin hukuki çerçeve daha da güçlendirilmiştir. 1907 tarihli düzenlemesinin yürürlüğe girmesi neticesinde her iki metne taraf olan devletler bakımından sonraki düzenleme esas alınmış, önceki metin ise güncellenen sözleşmeye taraf olmayan devletler arasında uygulanmaya devam etmiştir. Bu bağlamda her iki sözleşmede de ortak olan 23. maddenin (g) bendi askerî zorunluluk olmadıkça düşman mülkünün tahrip edilmesini ve el konulmasını, 25. maddesi savunmasız yerleşimlere ve binalara saldırı düzenlenmesini menetmektedir. 27. maddede din, sanat, bilim ve hastane gibi hayır amaçlı yapıların

korunması için tüm önlemlerin alınması gerektiği belirtilmektedir. 46. madde işgal altındaki bölgelerde özel mülkiyete, 56. madde ise belediye mülklerine, tarihi anıtlara, bilimsel eserlere, dinî, hayır ve eğitim, kurumlarına el konulmasını ve kasıtlı tahribata uğratılmasını yasaklamaktadır. (ICRC, 1907).

1954 Lahey Sözleşmesi, silahlı çatışma sırasında kültürel varlıkların korunmasını düzenlemektedir. Sözleşmenin 1. maddesinin (b) bendinde tarihi anıtlar, arkeolojik alanlar, müzeler, kütüphaneler, arşivler ve kültürel varlıkların yoğunlaştığı merkezler koruma kapsamına almaktadır. 4. madde kültürel mirasa saygı duyulması ve her türlü tahribat, yağmalama ve hırsızlığın önlenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. 5. madde de işgalci güce kültürel varlıkların korunmasına ilişkin sorumluluklar yüklemektedir. (UNESCO, 1954).

1949 Dördüncü Cenevre Sözleşmesi, savaş sırasında sivillerin yaşam ve mülkiyet hakkının koruması açısından oldukça önemlidir. Sözleşmenin 33. maddesi işgalci gücün, koruma altındaki kişilerin mülklerini yağmalamasını ve tahrip etmesini yasaklayan hükümler içermektedir. 53. maddesi ise özel ya da kamu fark etmeksizin askeri zorunluluk olmadıkça gayrimenkul ya da menkul mallarına zarar verilmesini kesinlikle meneden hükümler içermektedir (ICRC, 1950).

1977 tarihli Cenevre I No.lu Ek Protokolü, silahlı çatışmalarda sivil nüfus ve sivil nesnelerin korunmasına ilişkin temel kuralları açıklamaktadır. 48. madde, sivil nüfus ve sivil nesneler ile savaşçılar ve askerî hedefler arasında ayrım yapılması gerekliliğine dikkat çekmektedir. 52. madde sivil nesnelerin korunmasını ve askerî hedeflerin belirlenmesine ilişkin ölçütleri düzenlerken, 53. madde kültürel varlıklar ve ibadet yerlerini, 54. madde ise sivil nüfusun yaşamı için vazgeçilmez nesneleri korumaktadır. 56. madde, baraj, set ve nükleer elektrik üretim tesisleri gibi tehlikeli güç içeren yapılara özel koruma getirirken, 57. madde işgalci kuvvetin saldırıları planlama ve gerçekleştirme aşamalarında sivil kayıpları ve sivil nesnelere yönelik zararı mümkün olduğunca sınırlamasını öngörmektedir.

Kentkırım, uluslararası hukukta bağımsız bir suç tipi olarak düzenlenmemekle birlikte, belirli koşullar altında Roma Statüsü'nde düzenlenen uluslararası suçların maddi unsurları ile ilişkilendirilebilmektedir. Savaş suçları bakımından Statü'nün 8/2-b-ii maddesi sivil nesnelerin hedef alınmasını, 8/2-b-iv maddesi askerî avantajla orantısız ölçüde sivil zarara yol açan saldırıları, 8/2-b-v maddesi ise savunmasız şehir ve yerleşimlerin bombardımanını savaş suçu olarak düzenlemektedir. Korunan dinî, eğitimsel, sanatsal, bilimsel ve tarihî yapıların yanı sıra hastanelere yönelik saldırılar 8/2-b-ix ve 8/2-e-iv kapsamında ele alınırken, 8/2-a-iv hükmü, askerî zorunlulukla bağdaşmayan, hukuka aykırı ve keyfi biçimde gerçekleştirilen geniş kapsamlı mülk tahribini suç saymaktadır — kentsel dokunun sistematik yıkımı bu bent bakımından özel bir önem taşımaktadır (ICC, 2024).

Yıkımın yaygın veya sistematik bir saldırının parçası olması hâlinde Roma Statüsü‘nün 7. maddesinde düzenlenen insanlığa karşı suçlar da gündeme gelebilmektedir. Bu çerçevede 7/1-d'de düzenlenen zorla yerinden etme, 7/1-h'de yer alan zulüm ve 7/1-k'de düzenlenen diğer insanlık dışı fiiller, kentkırımın sivil nüfus üzerindeki sonuçları dikkate alınarak değerlendirilmektedir (ICC, 2024).

Kentkırımın belirli bir ulusal, etnik, ırksal veya dinsel grubu tamamen ya da kısmen ortadan kaldırma kastı taşıması hâlinde ise Roma Statüsü‘nün 6. maddesinde düzenlenen soykırım suçu gündeme gelmektedir. Bu bakımdan 6/b bendinde yer alan ciddi bedensel veya zihinsel zarar verme ile 6/c bendinde düzenlenen, grubun fiziksel varlığını ortadan kaldırmaya elverişli yaşam koşullarının kasten yaratılması, kentin fiziksel dokusunun yok edilmesiyle grup varlığının hedef alınması arasındaki bağı kurmak bakımından özellikle önem taşımaktadır (ICC, 2024).

Uluslararası Hukukta Kültürel Mirasın Yıkımı

Kültürel mirasın korunmasına yönelik ilk adımlardan biri, 1863 yılında kabul edilen Lieber Kanunudur. Amerikan İç Savaşı sırasında yürürlüğe giren bu ulusal belge, askerlerin kültürel varlıklara zarar vermeme ilkesini ve özel statü tanınan yapıların korunmasını düzenlemektedir. 1874 Brüksel Deklarasyonu ve 1880 Oxford El Kitabı, savaş sırasında kültürel mirasın korunmasına ilişkin ilkelerin gelişiminde rol oynayan diğer önemli belgeler arasındadır. Bununla beraber 1899 ve 1907 tarihli Lahey Sözleşmeleri, savaş hukukunun sistematik biçimde gelişmesinde ve kültürel varlıkların çatışma dönemlerinde korunmasına ilişkin hükümlerin şekillenmesinde özel bir önem taşımaktadır (Wolfrum, 2010). 1907 tarihli IV No.lu Lahey Sözleşmesi’ne Ek Yönetmelik 27. maddesi, kuşatma ve bombardıman sırasında dini, sanatsal, bilimsel veya sağlık amaçlı yapıların korunması için tüm

önlemlerin alınması gerektiği belirtilmektedir. Bununla birlikte söz konusu yapıların askerî amaçlarla kullanılmamasını şart koşmaktadır (Vrdoljak, 2016:3)

İkinci Dünya Savaşı sırasında Avrupa'daki tarihi alanların ve kültürel merkezlerin geniş ölçekli tahribatı, kültürel mirasın korunmasına ilişkin daha kapsamlı düzenlemeler içeren 1954 Lahey Sözleşmesi'ne zemin hazırlamıştır. Sözleşme, tarihî anıtlar, mimari yapılar, sanat eserleri, arkeolojik alanlar, kütüphaneler ve arşivler gibi kültürel varlıkların korumasına ilişkin hükümler içermektedir. Ayrıca devletlere barış döneminde koruma tedbirleri alma ve silahlı çatışma sırasında kültürel eserlere zarar vermeme sorumluluğu yüklemektedir (UNESCO, 1954).

1990'larda Eski Yugoslavya'da yaşanan çatışmalar, kültürel mirasın ve kentsel mekânların korunmasına ilişkin kuralların cezai yaptırımlarla desteklenmesi gerekliliğini gündeme taşımıştır. 1993'te kurulan Eski Yugoslavya Uluslararası Ceza Mahkemesi (ICTY), tarihi, dini ve kültürel nitelik taşıyan yapıların tahribine ilişkin fiilleri savaş suçları kapsamında değerlendirmiştir. Dubrovnik Eski Kenti'ne yönelik saldırılar bu yaklaşımın en dikkat çekici örneklerinden birini oluşturmuştur. Strugar ve Jokić davalarında, 6 Aralık 1991 tarihli bombardıman sırasında tarihi anıtlar, dini yapılar ve diğer kültürel unsurlara verilen zararlar savaş hukuku ihlali olarak değerlendirilmiş ve saldırının askerî zorunluluk ileri sürülerek meşru gösterilemeyeceği açıklanmıştır (Vrdoljak, 2016:8-9).

Savaşlarda kültürel eserlerin korunmasına ilişkin sorumluluk, 1998 Roma Statüsü ile uluslararası ceza hukukunda somut bir nitelik kazanmıştır. Statü, silahlı çatışmalar sırasında kültürel ve dini varlıklara yönelik kasıtlı saldırıları savaş suçu olarak düzenlemektedir. Bu sorumluluğun uygulamadaki en önemli örneklerinden biri, 2016 tarihli Al Mahdi davasıdır. Timbuktu'daki tarihi türbeler ile bir caminin tahribi nedeniyle verilen mahkûmiyet kararı, kültürel mirasa yönelik saldırıların uluslararası ceza hukuku bakımından savaş suçu oluşturmasına ilişkin verilen ilk emsal karardır. Karar, kültürel varlıkları salt maddi unsurlar olarak değil, toplumsal ve dini kimliğin taşıyıcıları olarak da korunması gerektiğine işaret etmesi bakımından önem taşımaktadır (UNESCO, 2016).

SARAYBOSNA VE MOSTAR'DA KENTKIRIM VE KÜLTÜREL SOYKIRIM ANALİZİ

Vaka Analizi: Saraybosna

Bosna-Hersek Savaşı sırasında Saraybosna, uzun süreli kuşatma ve yoğun topçu saldırıları sonucunda kentsel mekânın sistematik biçimde tahrip edildiği başlıca kentlerden biri olmuştur. Bu süreçte konut alanları da ağır kayıplara uğramıştır. Bosna-Hersek hükümetinin verilerine göre, 10 binden fazla apartman tamamen yıkılmış, 100 binden fazla apartman ise hasar görmüştür. Kentteki diğer yapıların yaklaşık %23'ü ağır, %64'ü kısmi ve %10'u hafif hasarlı olarak kaydedilmiştir. Raporda ayrıca, Eylül 1993'e kadar yaklaşık 35 bin konutun yok edildiği belirtilmiştir (UN, 1994: 8).

Fiziksel tahribat konutlarla sınırlı kalmamış, eğitim ve sağlık hizmetlerinin yürütüldüğü yapılar da saldırılardan etkilenmiştir. Saraybosna'da yaklaşık 90 okul binası hasar görürken, 17 okul bombardıman nedeniyle tamamen işlevsiz hâle gelmiştir (Lucić, 2016: 93). Hastaneler de doğrudan bombardıman ve ağır mühimmat saldırılarının hedefi olmuş, bu durum sağlık hizmetlerinin savaş koşullarında sürdürülmesini güçleştirmiştir.

Kentsel işleyişin sürdürülebilmesi açısından kritik önem taşıyan enerji altyapısı da ağır biçimde zarar görmüştür. Birleşmiş Milletler raporuna göre Saraybosna'ya sağlanan elektrik miktarı 90 MW'tan 5 MW'a kadar gerilemiş, bu da elektrik arzında yaklaşık %94,4 oranında bir düşüş anlamına gelmiştir (Mastalić, 2008: 196). Elektrik arzındaki bu kesinti, yalnızca günlük yaşamı değil, elektriğe bağlı diğer kentsel hizmetlerin işleyişini de doğrudan etkilemiştir.

Kentsel altyapının bombalanması su temininde de sorunlar yaşanmasına yol açmıştır. Savaş öncesinde yaklaşık 1.500 km uzunluğunda boru hattı ve 37 pompa istasyonundan oluşan Saraybosna'nın su sisteminde, kentin su ihtiyacının yaklaşık %70'i Bačevo kuyu alanından karşılanıyordu. Ancak kuşatma sırasında yaşanan elektrik kesintileri, pompa sistemlerindeki arızalar ve altyapıya yönelik saldırılar su temininin büyük ölçüde aksamasına yol açmıştır. Kuşatma öncesinde saniyede 2.500 litreye ulaşan su arzı, kuşatmanın başlamasıyla birlikte kent içindeki küçük bir kaynağın sağladığı yalnızca 5 litre/saniyelik debiye kadar gerilemiştir (FAMA, 1996). Bu tablo, suya erişimin kuşatma altındaki kent nüfusunun gündelik yaşamını doğrudan tehdit eden en temel krizlerden birine dönüştüğünü göstermektedir.

Kanalizasyon sistemi de savaş koşullarından benzer şekilde payını almıştır. Savaş öncesinde yaklaşık 750 km uzunluğundaki bir şebekeyle hizmet veren Saraybosna'da, çatışmalar sistemin düzenli işleyişini kesintiye uğratmış; Rajlovac'taki atık su arıtma tesisi ise iki yılı aşkın bir süre boyunca faaliyet dışı kalmıştır (ICRC, 1994). Böylece su ve kanalizasyon altyapısındaki tahribat, savaşın kentsel yaşam üzerindeki etkisini yalnızca fiziksel yıkımla sınırlı bırakmamış, temel hizmetlerin sürekliliğini de ciddi biçimde aksatmıştır.

Kuşatma sırasında iletişim altyapısı da önemli ölçüde zarar görmüştür. Bosna-Hersek genelinde telefon bağlantılarının yaklaşık %30'u hasar görmüş veya tamamen yok edilmiş, uluslararası telefon hatlarının ise yaklaşık %90'ı tahrip edilmiştir (World Bank, 1996). Haberleşme sistemindeki bu kayıplar, kuşatma koşullarında kentlerin dış dünyayla bağlantısını ve iletişim olanaklarını önemli ölçüde sınırlandırmıştır. Saldırılar kentin fiziksel dokusunun yanı sıra kültürel mirasın somut olmayan unsurlarını da hedef almıştır. Saraybosna'daki 80 İslami kültürel yapıdan neredeyse tamamı hasar görmüş, 8'i tamamen yok edilmiştir. Ortodoks, Katolik ve Yahudi kültürlerine ait 26 anıttan ise yalnızca 3'ü hasarsız kalmıştır (Sarajevo 1425, 2025). Kültürel eserlere yönelik tahribatın en çarpıcı örneklerinden biri, Saraybosna Ulusal ve Üniversite Kütüphanesi'nin (Vijećnica) yıkımıdır. 25 Ağustos 1992'de gerçekleştirilen bombardıman sonucunda, kütüphanenin 1,5 milyon ciltlik koleksiyonunun büyük bölümü, aralarında 155.000'den fazla nadir kitap ve el yazmasının da bulunduğu eserlerle birlikte yok olmuştur (Riedlmayer, 1995; Odobasic, 2024). Gazi Hüsrev-bey Kütüphanesi ve Camii gibi tarihî yapılar da savaş sırasında saldırılara maruz kalırken, Saraybosna Üniversitesi bünyesindeki Oriental Institute 17 Mayıs 1992'de yakılmıştır. Saldırı sonucunda kurumun koleksiyonunda bulunan 5.263 el yazması eser ile 300 binden fazla arşiv belgesinin imha edildiği tespit edilmiştir (Gazić & Smajić, 2002: 33).

Vaka Analizi: Mostar

Bosna-Hersek Savaşı sırasında Mostar, kentsel mekânın maddi unsurlarının ve yaşamın temel dayanaklarının ağır biçimde tahrip edildiği kentlerden biri olmuştur. Kent, savaşın farklı aşamalarında kuşatma, topçu ateşi ve yoğun bombardımanlara maruz kalmıştır. Bu saldırılar; barınma alanlarını, kamusal binaları, sağlık tesislerini, eğitim kurumlarını, ulaşım ağlarını, enerji sistemlerini, su şebekelerini, telekomünikasyon hatlarını, tarihî anıtları ve kültür varlıklarını hedef alarak kentsel yaşamın tüm bileşenlerini içeren çok katmanlı bir meydana getirmiştir.

1991 yılı öncesinde Mostar'da yaklaşık 17.500 konut birimi bulunurken, savaş sırasında yaklaşık 6.500 konut hasar görmüş veya tamamen yıkılmıştır. Bu sayı savaş öncesindeki konut stokunun yaklaşık %37,1'ine karşılık gelmektedir (Yarwood, 1996). Konut alanlarındaki yıkıma, eğitim ve sağlık yapılarında görülen ağır hasar da eşlik etmiştir. Mostar'daki eğitim tesislerinin yaklaşık %70'i savaş sırasında zarar görmüş; sağlık altyapısında ise üç hastane, yedi yerel sağlık kliniği, iki yaşlı bakım merkezi ve üç diğer sağlık kuruluşu olmak üzere toplam 15 yapı ağır hasar almıştır (World Bank, 1997). Konut, eğitim ve sağlık yapılarındaki tahribatın ardından kentin temel hizmetlerinin sürdürülmesini sağlayan altyapı sistemleri de ağır biçimde zarar görmüştür. 1992 yılında Mostar'ın 400/110 kV ana trafo merkezi ve bağlantı hatları tahrip edilmiş, çok sayıda yerel dağıtım trafosu tamamen veya kısmen hasar görmüş, Mostar Hidroelektrik Santrali de ciddi biçimde zarar görmüştür (World Bank, 2000). Elektrik altyapısındaki bu tahribatla birlikte su ve kanalizasyon sistemleri de savaşın doğrudan etkilediği altyapılar arasında yer almıştır: yaklaşık 60 km uzunluğundaki kanalizasyon şebekesi ile atık su ve yağmur suyu kolektörleri patlamalar sonucunda zarar görmüş, savaş sonrasında Mostar'ın su şebekesindeki fiziksel kayıpların %60–80 düzeyine ulaştığı belirlenmiştir (World Bank, 2000). Altyapıya yönelik tahribat telekomünikasyon sistemlerinde de yaşanmıştır. Kuşatma sırasında yaklaşık 8.500 yerel telefon bağlantısı kullanılamaz hâle gelmiştir (BH Telecom, 2011).

Mostar'daki yıkım, kentin tarihî ve kültürel dokusuna yönelen saldırılarla birlikte çok daha geniş bir boyuta ulaşmıştır. Kentteki 14 tarihî camiden 12'si hasar görmüş ya da tamamen yıkılmış, üç Roma Katolik kilisesinin tümü de zarar görmüştür (ICJ, 2006). Tarihî kent merkezindeki pek çok yapı ağır hasara uğrarken, bu yıkımın en sembolik örneği hiç kuşkusuz Mostar'ın simgesi hâline gelmiş olan Stari Most'un 9 Kasım 1993'te topçu ateşiyle yıkılmasıdır. Köprünün yıkılışı, kentin simgesel ve mekânsal dokusuna yönelen saldırının en çarpıcı yansımalarından biri olarak kentkırım literatüründe sembolik bir yer edinmiştir.

Mostar'daki Roma Katolik Başpiskoposluğu kütüphanesinin bombardıman sırasında vurulması sonucunda 50.000'den fazla kitap imha olmuştur (Riedbnayer, 1994:2). Bunun yanında Fransiskan

Manastırı ve Hercegovina Arşivi de savaş sırasında zarar gören tarihî ve kültürel yapılar arasında yer almıştır.

SONUÇ

Bosna Savaşı, binlerce sivil ölüm ve zorunlu yerinden edilmelerle ağır bir insani kriz panoraması sunmaktadır. Sahada yürütülmüş olan saldırıların niteliği, kapsamı ve sürekliliği incelendiğinde uluslararası insancıl hukukun temelini oluşturan ayrım gözetme, orantılılık ve askerî zorunluluk ilkelerinin sistemli biçimde ihlal edildiği görülmektedir. Bununla birlikte saldırılarda salt insan yaşamının değil, gündelik hayatın sürdürüldüğü, toplumsal ilişkilerin kurulduğu ve anlamların üretildiği mekân da hedef alınmıştır. Bu çerçevede Saraybosna ve Mostar kentlerinde, urbicide ile kültürel soykırımın kesişiminde koordineli bir mekânsal şiddet mekanizmasının yürütüldüğü aşikardır. Bu iki vakada da; kentin maddi unsurları, heterojen toplumsal dokusu, ontolojik sürekliliği ve sakinlerinin birlikte yaşama iradesi hedef alınmıştır.

Bu tür mekânsal şiddet temelli saldırıların bir grubun tamamını veya bir kısmını fiziksel olarak ortadan kaldırma özel kastı taşıması hâlinde soykırım suçunun bir bileşenine dönüşme ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle kentsel alanları ve kültürel öğeleri doğrudan hedef alan saldırılara zamanında müdahale etmek oldukça önemlidir. Faillerin hesap verebilirliğinin sağlanması, mağdurların haklarının tanınması ve uygun tazmin mekanizmalarının oluşturulması, savaşın mekânsal ve toplumsal sonuçlarının telafi edilmesi açısından önem taşımaktadır. Yıkıma maruz kalan kentsel yapıların ve kültürel miras eserlerinin yeniden inşa ve restorasyon süreçlerine gereken uluslararası fonların sağlanması ve mekânsal adaletin tesis edilmesi gerekmektedir. Çoğulcu ve birlikte yaşamı güvence altına alan hukuki mekanizmaların güçlendirilmesi ise benzer mekânsal şiddetlerin tekrarlanmasını önlemek açısından temel bir zorunluluktur.

KAYNAKÇA

Europen Union, Annex Vıı, Refugees, And Internally Displaced Persons, 27.06.2022, https://www.eeas.europa.eu/delegations/bosnia-and-herzegovina/annex-vii-refugees-and-internally-displaced-persons_en, (Erişim 31.08.2026).

BH Telecom. (2011). Investicije u funkciji razvoja BH Telecoma 1995.–2010. Godina, Bosnia and Herzegovina.

BogdanoviC, b. Murder of the City, 27 Mayıs 1993, https://www.nybooks.com/articles/1993/05/27/murder-of-the-city, (Erişim 31.08.2026).

Coward, M. (2009). Urbicide: The politics of urban destruction. Routledge.

Graham, S. (2003). Lessons In Urbicide. New Left Review, (19), 63-77.

Gazić, L., & Smajić, R. (2002). Manuscrits orientaux à Sarajevo. Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée, 99–100, 33–43. https://doi.org/10.4000/remmm.1172

FAMA, The Siege of Sarajevo 1992-1996 “Half of the water for the flowers and half of it for myself”, https://famacollection.org/eng/macro-story/ms-02, (Erişim 31.08.2026).

Lucić, L. (2016). Developmental affordances of war-torn landscapes: Growing up in Sarajevo under siege. Human Development, 59(2–3), 81–106. https://doi.org/10.1159/000448228

ICRC, Convention (IV) relative to the Protection of Civilian Persons in Time of War. Geneva, 12 August 1949, https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/geneva-convention-relative-protection-civilian-persons-time-war, (Erişim 01.09.2026).

ICC (International Criminal Court). (1998). Rome Statute of the International Criminal Court (2024 rev.). https://www.icc-cpi.int/sites/default/files/2024-05/Rome-Statute-eng.pdf, (Erişim 01.09.2026).

ICJ (International Criminal Justice) (2006). Public sitting held on Friday 17 March 2006, at 10 a.m., at the Peace Palace, President Higgins presiding, https://www.icj-cij.org/node/102776, (Erişim 01.09.2026).

ICRC, Convention (IV) respecting the Laws and Customs of War on Land and its annex: Regulations concerning the Laws and Customs of War on Land. The Hague, 18 October 1907, https://ihl-databases.icrc.org/en/ihl-treaties/hague-conv-iv-1907, (Erişim 01.09.2026).

Mastalić, Z. (2008). Opsada Sarajeva 1992–1995. Znakovi vremena, 11(39/40), 129–147.

Moses, A. D. (2010). Raphael Lemkin, culture, and the concept of genocide. D. Bloxham & A. D. Moses (Eds.), The Oxford Handbook of Genocide Studies (pp. 19–41). Oxford University Press.

Odobašić, L (2014). Architectural Irony and the Sarajevo City Hall A Symbol of Cultural Paradox, https://ar.fa.uni-lj.si/2024/lejla-odobasic-novo-architectural-irony-and-the-sarajevo-city-hall, (Erişim 01.09.2026).

Sarajevo 1425. (n.d.). The siege and the numbers, https://sarajevo1425.ba/en/the-siege-and-the-numbers/, (Erişim 01.09.2026).

Shaw, M. (2004). New wars of the city: Relationships of "urbicide" and "genocide." In S. Graham (Ed.), Cities, war, and terrorism: Towards an urban geopolitics, pp. 141–153, Blackwell.

UN, Fınal Report Of The Unıted Natıons Commıssıon Of Experts Establıshed Pursuant To Securıty Councıl Resolutıon 780, 27 May 1994.

UNESCO, Convention for the Protection of Cultural Property in the Event of Armed Conflict with Regulations for the Execution of the Convention, 7 August 1956, https://www.unesco.org/en/legal-affairs/convention-protection-cultural-property-event-armed-conflict-regulations-execution-convention, (Erişim 01.09.2026).

UNESCO, Timbuktu Trial: "A major step towards peace and reconciliation in Mali", 19 September 2016, https://whc.unesco.org/en/news/1559, (Erişim 01.09.2026).

Riedlmayer, A. (1994). Killing memory: The targeting of libraries and archives in Bosnia-Herzegovina. MELA Notes: Newsletter of the Middle East Librarians Association, (61), 1–6.

Vrdoljak, A. F. (2016). The criminalisation of the intentional destruction of cultural heritage, https://www.ohchr.org/sites/default/files/Documents/Issues/CulturalRights/DestructionHeritage/NGOS/A.P.Vrdoljak_text1.pdf, (Erişim 01.09.2026).

Wolfum, Rüdiger. (2010), Cultural Property, Protection in Armed Conflict, July 2010, https://opil.ouplaw.com/display/10.1093/law:epil/9780199231690/law-9780199231690-e278, (Erişim 01.09.2026).

World Bank. (1997). Bosnia and Herzegovina: From recovery to sustainable growth. Washington DC.

World Bank. (1996, July 17). Briefing book for President's meetings and events: Prime Minister Hasan Muratovic – Bosnia. World Bank Group Archives.

World Bank. (2000). Environmental management plans: Proposed Third Electric Power Reconstruction Project, Bosnia and Herzegovina.

World Bank. (1999). Mostar Bosnia and Herzegovia Water Supply and Sanitation Project, https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/259771468768012722, (Erişim 30.08.2026).

Yarwood, J. (1999). Rebuilding Mostar: Urban reconstruction in a war zone. Liverpool University Press

URBICIDE IN UKRAINE: SYSTEMATIC URBAN DESTRUCTION AS A WAR STRATEGY

UKRAYNA'DA KENTKIRIM: BİR SAVAŞ STRATEJİSİ OLARAK SİSTEMATİK KENTSEL YIKIM

Prof. Dr. Pınar Akarçay
İstanbul Üniversitesi, Uluslararası Soykırım ve İnsanlığa Karşı İşlenen Suçlar Enstitüsü
ORCI ID: orcid.org/0000-0002-5231-0567

Dr. Öğr. Üyesi Besime YÜCEL
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi
ORCID ID: orcid.org/0000-0002-6450-8626

ABSTRACT

In conventional warfare, urban destruction, which was regarded as collateral damage, has evolved into an intentional strategy of attack in contemporary armed conflicts. The concept of urbicide, meaning the killing of a city, describes the systematic targeting, in wartime, of the urban space, urban life, and urban identity associated with a particular group. Attacks on residential areas, public spaces, industrial facilities, infrastructure systems, historical buildings, and cultural heritage sites inflict lasting damage not only on the physical environment of a city but also on its multicultural character, identity, collective memory, and continuity. This study examines the urban destruction that occurred following Russia's full-scale invasion of Ukraine in February 2022 through the framework of urbicide. The central research question focuses on whether the destruction of Ukrainian cities was an inevitable consequence of war or part of a systematic strategy of annihilation. Adopting a qualitative research approach, the study employs a multiple-case study design, with Mariupol, Kharkiv, and Chernihiv selected as case units. Data obtained from reports by international organizations, human rights documents, academic studies, and reliable open sources were comparatively analyzed within the scope of document analysis and synthesized in accordance with the theoretical framework. The findings indicate that the scale and spatial patterns of destruction in the three cities extend beyond random devastation. Accordingly, these interventions should not be explained solely in terms of damage to the physical structures of cities. Rather, the attacks should be assessed as a systematic process of urbicide targeting Ukrainians' collective memory, will to coexist, capacity for resistance, and urban identity.

Keywords: Urbicide, Russia–Ukraine War, Spatial Violence, Systematic Destruction, War Strategy

ÖZET

Geleneksel savaşlarda ikincil hasar olarak görülen kentsel tahribat, günümüz silahlı çatışmalarında kasıtlı bir saldırı stratejisine dönüşmüştür. Şehrin öldürülmesi anlamına gelen kentkırım kavramı, savaş ortamında belirli bir gruba ait kentsel mekânın, kent yaşamının ve kentsel kimliğin sistematik bir şekilde hedef alınmasını açıklamaktadır. Konut alanlarına, kamusal mekânlara, sanayi tesislerine, altyapı sistemlerine, tarihi yapılara ve kültürel eserlere saldırı düzenlenmesi salt kentin fiziksel çevresini değil, çok kültürlülüğünü, kimliğini, hafızasını ve sürekliliğini de kalıcı hasara uğratmaktadır. Bu çalışma Rusya'nın Şubat 2022 tarihinde Ukrayna'yı geniş çaplı işgali sonrasında meydana gelen kentsel yıkımı kentkırım çerçevesinde incelemektedir. Temel araştırma sorusu, Ukrayna kentlerindeki yıkımın savaşın kaçınılmaz bir sonucu mu yoksa sistematik bir imha stratejisinin parçası mı olduğuna odaklanmaktadır. Nitel araştırma yaklaşımına dayanan çalışmada çoklu durum deseni kullanılmış; Mariupol, Harkiv ve Çernihiv vaka birimleri olarak seçilmiştir. Çalışmada uluslararası kuruluş raporları, insan hakları belgeleri, akademik çalışmalar ve güvenilir açık kaynaklardan elde edilen veriler doküman analizi kapsamında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş ve kuramsal çerçeve doğrultusunda sentezlenmiştir. Bulgular üç kentteki yıkımın ölçeği ve mekânsal örüntüsünün rastlantısal tahribatın ötesine geçtiğini göstermektedir. Bu doğrultuda söz konusu müdahaleler, sadece kentin fiziksel yapılarının hasarı üzerinden açıklanmamalıdır. Saldırılar Ukraynalıların kolektif hafızasını, bir arada yaşama iradesini, direnme kapasitesini ve kentsel kimliğini de hedef alan sistematik bir kentkırım süreci olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Kentkırım, Rusya-Ukrayna Savaşı, Mekânsal Şiddet, Sistematik Yıkım, Savaş Stratejisi

GİRİŞ

Günümüz savaşlarında çatışmaların kentsel alanlara taşınması, sivillerin yaşamını ve zorunlu göç hareketlerini doğrudan etkilemektedir. Kentlerin yerleşim alanlarının, kamusal binalarının, sanayi birimlerinin, altyapı tesislerinin ve kültürel miras eserlerinin hedef alınması, barınma, gıda, su, enerji, sağlık ve eğitim gibi temel hizmetlere erişimi sınırlandırarak kentli nüfusun yaşam koşullarını ağırlaştırmaktadır (UNESCO, 2021). Bu tür saldırılar, kentin yalnızca fiziksel dokusuna değil, aynı zamanda toplumsal ve kültürel sürekliliğine de zarar vermektedir. Bu durum literatürde kentkırım kavramı ile açıklanmaktadır. Kentkırım, silahlı çatışmalar sırasında bir gruba ait kentsel dokunun, kent hafızasının ve kentli kimliğinin sistematik olarak hedef alınmasını ifade etmektedir. Bazı araştırmacılar, kavramı soykırımsal şiddetin mekânsal bir uzantısı olarak değerlendirmektedir.

Rusya'nın 24 Şubat 2022'de başlattığı kapsamlı Ukrayna işgali, kentkırımın güncel örneklerinden biridir. Özellikle Mariupol, Harkiv ve Çernihiv'de konutlar, kamu yapıları, kritik altyapı ve kültürel miras unsurları yoğun saldırılar sonucunda önemli ölçüde zarar görmüştür. Bu vakalar kentlere yönelik saldırıların fiziksel tahribatla sınırlı kalmadığını, kentin mekânsal hafızasını, toplumsal dayanışmasını ve direnme kapasitesini de hedef alan sistematik bir kentkırım pratiğine dönüştüğünü göstermektedir.

KENTKIRIMIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

Kentkırım, Latince urbs (kent) ve cide (öldürme) sözcüklerinin birleşiminden oluşmaktadır. Kavram ilk kez Michael Moorcock'un 1963 tarihli öyküsünde kullanılmıştır. Kavramın kentsel alanların kasıtlı tahribatı bağlamında ele alınması; Wolf von Eckardt (1966), Ada Louise Huxtable (1968) ve Marshall Berman'ın (1987) kentsel dönüşüm politikalarına ilişkin eleştirel yazıları neticesinde gerçekleşmiştir.

Eski Yugoslavya'nın dağılma sürecinde Mostar, Saraybosna, Vukovar, Dubrovnik ve Osijek kentlerinde yaşanan sistematik tahribat, kentkırımın savaş ve siyasi şiddet bağlamında gelişiminde önemli bir dönüm noktası oluşturmuştur. Mostar'92-Urbicid adlı çalışmada, kentsel yapıların tahribi savaşın tali sonucu olarak değil, kente özgü bir şiddet biçimi olarak değerlendirilmiştir. Bogdan Bogdanović, Yugoslavya kentlerindeki yıkımı, kentin kültürel belleğine, simgesel değerlerine ve kozmopolit karakterine yönelik ideolojik bir şiddet türü olarak değerlendirmiştir (Bogdanović: 1993).

Kentkırımın kuramsal çerçevesinin oluşmasında Martin Coward önemli bir yere sahiptir. Coward, kentkırımı kentsel heterojenliği, gündelik yaşamı ve kentlilerin mekânla ilişkilerini hedef alan politik bir şiddet formu olarak kavramsallaştırmıştır (Coward, 2009: 39). Stephen Graham, kentkırımın siyasal iktidar ilişkileri içinde stratejik bir tahakküm aracı olduğunu vurgulamıştır (Graham, 2003: 63–67). Martin Shaw ise kentkırımı, soykırımın bir uzantısı olarak değerlendirmiştir (Shaw, 2004).

VAKA ANALİZİ: MARİUPOL

Savaş öncesinde önemli bir liman ve sanayi kenti olan Mariupol, 24 Şubat 2022'de Rusya'nın geniş çaplı işgali sonrasında kuşatma altına alınmış ve 20 Mayıs 2022'de Rus güçlerinin kontrolüne geçmiştir. Kuşatma sürecinde konut alanları, sağlık kurumları, eğitim birimleri, sanayi tesisleri, altyapı sistemleri ve kültürel miras alanlarında geniş çaplı tahribat meydana gelmiştir.

UNOSAT verilerine göre, Haziran 2022 itibarıyla kentin merkezi yerleşim alanındaki 5.647 yapının %32'si zarar görmüş, 315 yapı tamamen yıkılmıştır (UNOSAT, 2022). HRW, SITU Research ve Truth Hounds tarafından hazırlanan değerlendirmede ise 14 km²'lik merkezi alandaki 9.043 binanın %54'ünün, yüksek katlı binaların ise %93'ünün zarar gördüğü belirtilmiştir (HRW, 2024). Eğitim kurumlarının %97'si ağır hasar alırken 19 hastane yerleşkesinin tamamı zarar görmüştür (HRW, 2023). Sanayi tesislerinden Azovstal ve İlyiç fabrikalarında da ağır tahribat meydana gelmiştir. Azovstal'daki yapıların %57'si, İlyiç tesisindeki yapıların %46'sı zarar görmüştür (Ceobs, 2024; Ceob, 2024). Elektrik, su ve doğalgaz altyapısındaki hasar ise kentin temel hizmetlerinde ciddi kesintilere neden olmuştur (HRW, 2022).

Kültürel miras alanları da saldırılardan etkilenmiş, UNESCO'nun Temmuz 2026 tarihli verilerine göre Mariupol'da 38 kültürel miras alanı zarar görmüştür (UNESCO, 2026). Bunun yanında savaş ve zorunlu yerinden edilmeler kentin nüfus yapısını önemli ölçüde değiştirmiştir. Yaklaşık 540.000 olan Ukraynalı nüfus Mayıs 2022'de 150.000'e gerilemiştir (HRW, 2022).

VAKA ANALİZİ: HARKİV

Ukrayna'nın ikinci büyük kenti olan Harkiv, Rusya sınırına yaklaşık 30 km mesafede yer almaktadır. 24 Şubat 2022'de başlayan işgalin ilk günlerinden itibaren yoğun Rus saldırılarına maruz kalan Çernihiv, Nisan 2022'de tekrardan Ukrayna kontrolüne geçmiştir. Uluslararası Af Örgütü, Harkiv'de yoğun nüfuslu sivil alanlara yönelik saldırılarda misket mühimmatı ve güdümsüz roket kullanıldığını belirtmiştir. Saldırılar sonucunda sivillerin yaşam alanları, sokaklar, pazarlar ve diğer kamusal alanlar zarar görmüştür (Amnesty, 2022). UNOSAT verilerine göre Haziran 2022'de kent merkezindeki 87.884 yapının 748'i hasar görmüş, 75 yapı tamamen yıkılmıştır (UNOSAT, 2022). Mayıs 2026 itibarıyla yaklaşık 13.000 binanın zarar gördüğü bildirilmiştir (UN, 2026).

Sağlık ve eğitim altyapısında da ciddi kayıplar yaşanmıştır. Savaşın ilk günlerinde 14 sağlık kuruluşu zarar görmüş (HRW, 2022), Temmuz 2025'e kadar 58 sağlık tesisinden 44'ü hasar almıştır (Gwara Media, 2025). Mayıs 2026'da yaklaşık 270 eğitim kurumunun zarar gördüğü bildirilmiştir (Kharkiv Today, 2026). Sanayi tesisleri, enerji altyapısı ve ulaşım sistemleri de saldırılardan etkilenmiştir. Haziran 2025 itibarıyla ulaşım altyapısının yaklaşık %65'i zarar görmüştür (Kharkiv City Council, 2025).

Kentin kültürel mirası da saldırıların hedefi olmuştur. UNESCO, Temmuz 2026 itibarıyla 28 kültürel miras alanının zarar gördüğünü bildirmiştir (UNESCO, 2026). Ağustos 2026'daki saldırılarda ise yaklaşık 8 milyon kitabın yandığı aktarılmıştır (The Guardian, 2026).

Saldırılar kentin gündelik yaşamını ve nüfus dinamiklerini de etkilemiştir. Güvenlik koşullarından ötürü eğitim ve kamusal yaşamın bir bölümü yeraltına taşınmıştır. İşgalin ilk döneminde Harkiv'in nüfusu yaklaşık 2 milyondan 300 bine gerilemiştir. Kentin geri alınması neticesinde nüfus tekrardan artma eğilimi gösterse de savaş öncesi dönemin altında kalmaktadır (Reuters, 2024).

VAKA ANALİZİ: ÇERNİHİV

Ukrayna'nın kuzeyinde yer alan Çernihiv, 24 Şubat 2022'de Rus saldırılarının başlamasının ardından yaklaşık beş hafta kuşatma altında kalmış ve Nisan 2022'nin ilk günlerinde yeniden Ukrayna kontrolüne geçmiştir. Çatışmalar sırasında konutlar, kamu binaları, sağlık kurumları, eğitim tesisleri, altyapı sistemleri ve kültürel miras alanları zarar görmüştür. Kentteki toplam maddi zararın yaklaşık 4,2 milyar ABD doları olduğu tahmin edilmiştir (Cities4Cities, 2026).

UNOSAT verilerine göre kentte 974 yapı hasar görmüş, 258 yapı tamamen yıkılmıştır (UNOSAT, 2022). Ayrıca 800'den fazla yüksek katlı bina ve 2.000'den fazla özel konutun zarar gördüğü bildirilmiştir (The New Voice of Ukraine, 2022). Sağlık ve eğitim altyapısında da ciddi tahribat yaşanmış; 5 sağlık tesisi zarar görmüş, 1 tesis tamamen yıkılmış, 25 okul, 37 anaokulu ve 5 mesleki eğitim kurumu hasar almıştır (Chernihiv City Council, 2004). Başka bir değerlendirmeye göre kentteki 34 okulun %80'i zarar görmüştür. 27 okul kullanılamaz duruma gelirken, 2 okul tamamen yıkılmıştır (Cedos, 2023). Çernihiv Politeknik Ulusal Üniversitesi kampüsündeki 10 yapı da hasar görmüş, eğitim binalarında %25, öğrenci yurtlarında %15 oranında tahribat meydana gelmiştir (Novomlynets, 2023). Temmuz 2026'da T. H. Şevçenko Ulusal Üniversitesi Çernihiv Kolejiumu da Rus İHA saldırısından zarar görmüştür.

Sanayi tesisleri ve üretim alanları da saldırılardan etkilenmiş, Çernihiv Otomobil Fabrikası, Ukrayna Kardan ve Çernihiv Dövme Fabrikası'nın bulunduğu üretim alanındaki yapıların %50–70'i tahrip olmuştur. Üç tesisteki savaş kaynaklı hasarın yaklaşık 30 milyon avro olduğu belirtilmiştir (Interfx, 2022).

Elektrik, ısıtma, su, kanalizasyon ve ulaşım altyapısındaki hasarlar kent yaşamında ciddi kesintilere yol açmıştır. Çernihiv Termik Santrali'ne bağlı 22 termal merkez, 9 ısıtma haznesi ve 1,7 kilometrelik merkezi ısıtma şebekesi zarar görmüştür (Chernihiv City, 2022). Üç su pompa istasyonu ve iki kanalizasyon pompa istasyonu tahrip edilmiştir (Deloitte, 2022). Desna Nehri üzerindeki stratejik köprünün yıkılması ise kentin ulaşım ve insani yardım bağlantılarını etkilemiştir (HRW, 2022). 2025 ve 2026 yıllarında kritik enerji altyapısına yönelik saldırılar sonucunda yeniden geniş çaplı elektrik kesintileri yaşanmıştır (Ruters, 2026).

Kentin tarihsel ve kültürel dokusu da saldırılardan etkilenmiş; 5 kilise, 2 tarihî bina, 1 müze, 1 kütüphane ve 1 anıt mezarlık olmak üzere toplam 10 kültürel miras varlığı zarar görmüştür (UNESCO, 2026).

Savaşın toplumsal etkisi nüfus hareketlerinde de görülmüştür. Saldırıların ardından yaklaşık 150.000–155.000 kişi kenti terk etmiş ve nüfus Mart 2022'de yaklaşık 130.000'e gerilemiştir (Kyiv Independent,2022). Haziran 2026 itibarıyla kentte 13.000'i ülke içi yerinden edilmiş kişi olmak üzere toplam 262.000 kişinin yaşadığı belirtilmektedir (Association of Ukrainian Cities, 2026).

SONUÇ

Rusya'nın Mariupol, Harkiv ve Çernihiv kentlerine yönelik saldırılarının mekânsal örüntüsü, söz konusu yıkımın yalnızca savaşın tali hasarı olarak açıklanmasını güçleştirmektedir. Üç kentteki saldırılar da fiziksel çevrenin yanı sıra gündelik yaşam, toplumsal örgütlenme, mekânsal aidiyet ve temel ihtiyaçlara erişim üzerinde ağır sonuçlar doğurmuştur. Bu durum, Ukrayna kentlerinde gerçekleştirilen saldırıların yol açtığı kentsel yıkımı, mekânın bir tahakküm aracı olarak hedef alındığı kentkırım çerçevesinde değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Sonuç olarak, kentlere ve kent yaşamına yönelik saldırıların sona ermesi, mağdurların korunması ve sorumluların hesap vermesi gerekmektedir. Kentlerin yeniden yaşanabilir hâle gelmesi için mekânsal adaletin sağlanması, kent hakkını ve farklı toplulukların birlikte yaşamını güvence altına alan hukuki mekanizmaların güçlendirilmesi önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

AMNESTY (Amnesty International), ""Anyone can die at any time": Indiscriminate attacks by Russian forces in Kharkiv, Ukraine, 13 June 2022, https://www.amnesty.org/en/documents/eur50/5682/2022/en/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

ASSOCİATİON OF UKRAİNİAN CİTİES, Cherniv city, Chernihiv region, https://www.auc.org.ua/novyna/chernihiv-city-chernihiv-region-0, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

Bogdanovic, B., Murder of The City, 27 May 1993, The New York Review, https://www.nybooks.com/articles/1993/05/27/murder-of-the-city/, (Erişim, 31.09.2026).

CEDOS (Centre for Society Research), War & Education. How a year of the full-scale invasion affected Ukrainian schools, February 24, 2023, s. 20.

CEOBS (Conflict and Environment Observatory), Azovstal Iron and Steel Works Location: Mariupol, Donetsk Oblast, January 1, 2024, https://ceobs.org/ukraine-damage-map-azovstal-iron-and-steel-works/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

CEOBS (Conflict and Environment Observatory), Ilyich Iron and Steel Works Location: Mariupol, Donetsk Oblast, January 1, 2024, https://ceobs.org/ukraine-damage-map-ilyich-iron-and-steel-works/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

CHERNİHİV CİTY COUNCİL, The Restoration and Development Plan of the Chernihiv City Territorial Community, 2024.

CHERNİHİV CİTY, 100 млн грн. виділяється урядом на відновлення Чернігівської ТЕЦ, https://chernihivnews.city/articles/224630/100-mln-grn-vidilyayetsya-uryadom-na-vidnovlennya-chernigivskoi-tec, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

CITIES4CITIES, Chernihiv Territorial Community, https://cities4cities.eu/community/chernihiv-territorial-community/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

Coward, M. (2009). Urbicide: The politics of urban destruction. Routledge.

DEFENSE EXPRESS, Kharkiv "MashHidroPryvid" Plant Destroyed By Iskander Strike, 30 June 2022https://en.defence-ua.com/industries/kharkiv_mashhidropryvid_plant_destroyed_by_iskander_strike-3426.html, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

DELOİTTE, Stand with Ukrainian cities, 27 May 2022, https://www.deloitte.com/ua/en/Industries/government-public/perspectives/help-cities.html,(Erişim Tarihi: 27.08.2026).

EUROPEN COMMİSİON, Urban mobility in Kharkiv during the war, https://urban-mobility-observatory.transport.ec.europa.eu/news-events/news/urban-mobility-kharkiv-during-war-2023-09-22_en, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

Graham, S. (2003). Lessons In Urbicide. New Left Review, (19), 63-77.

Gwara Media, Russian attacks destroy or damage 65% of educational institutions in Kharkiv, 27 May 2026, https://gwaramedia.com/en/russian-attacks-destroy-or-damage-65-of-educational-institutions-in-kharkiv/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

GWARA MEDIA, Russians damaged 44 medical facilities in Kharkiv since start of full-scale invasion, 28 July 2025, https://gwaramedia.com/en/russians-damaged-44-medical-facilities-in-kharkiv-since-start-of-full-scale-invasion/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), A City Devastated, https://www.hrw.org/feature/russia-ukraine-war-mariupol/damage-assessment, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), SITU Research and Truth Hounds "Our City Was Gone" Russia's Devastation of Mariupol, Ukraine, Şubat 2024.

HRW (Human Right Watch), Ukraine: Deadly Attacks Kill, Injure Civilians, Destroy Homes, Explosive Weapons Leave People Dead, Wounded, Homeless; Damage Vital Infrastructure, March 18, 2022, https://www.hrw.org/news/2022/03/18/ukraine-deadly-attacks-kill-injure-civilians-destroy-homes,(Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), Ukraine: Mariupol Residents Trapped by Russian Assault, March 7, 2022, https://www.hrw.org/news/2022/03/07/ukraine-mariupol-residents-trapped-russian-assault, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), Ukraine: Russia Illegally Seizing Property in Occupied Areas, 26 May 2026, https://www.hrw.org/news/2026/05/26/ukraine-russia-illegally-seizing-property-in-occupied-areas, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), Ukraine: Civilians in Besieged Chernihiv Need Access to Essentials Facilitate Humanitarian Aid, Safe Evacuations, and Access to Water, Electricity, March 31, 2022, https://www.hrw.org/news/2022/03/31/ukraine-civilians-besieged-chernihiv-need-access-essentials, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

HRW (Human Right Watch), "We Had No Choice""Filtration" and the Crime of Forcibly Transferring Ukrainian Civilians to Russia, September 1, 2022, https://www.hrw.org/report/2022/09/01/we-had-no-choice/filtration-and-crime-forcibly-transferring-ukrainian-civilians, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

ICRC, Convention (IV) relative to the Protection of Civilian Persons in Time of War. Geneva, 12 August 1949, https://www.ohchr.org/en/instruments-mechanisms/instruments/geneva-convention-relative-protection-civilian-persons-time-war, (Erişim 01.09.2026).

INTERFAX, Etalon Corporation estimates damage caused by destruction of three plants in Chernihiv at EUR 30 mln, 22.12.2022, https://en.interfax.com.ua/news/press-conference/880030.html, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

KHARKİV TODAY, Скільки шкіл і дитсадочків пошкоджено і зруйновано у Харкові, https://2day.kh.ua/ua/kharkow/skilky-shkil-i-dytsadochkiv-poshkodzheno-i-zruynovano-u-kharkovi, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

KHARKİV CİTY COUNCİL, Igor Terekhov met with the director of the Santa Clara Foundation, 15.06.2025, https://city.kharkiv.ua/en/news/miznarodne-spivrobitnictvo/igor-terekhov-met-with-the-director-of-the-santa-clara-foundation, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

KYİV INDEPENDENT, Mayor of Chernihiv estimates over half of the population has left since start of the war, March 22, 2022, https://kyivindependent.com/mayor-of-chernihiv-estimates-over-half-of-the-population-has-left-since-start-of-the-war/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

Oleh Novomlynets ve diğerleri, Northern outpost: Chernihiv Polytechnic National University in the conditions of the russia-Ukrainian war, Problems and Perspectives in Management, 2023, 21(2), 31-39.

Shaw, M. (2004). New wars of the city: Relationships of "urbicide" and "genocide." In S. Graham (Ed.), Cities, war, and terrorism: Towards an urban geopolitics, pp. 141–153, Blackwell.

THE GUARDİAN, Ukrainian publishers call for support after Russian attacks destroy 10m books, 20 Aug 2026, https://www.theguardian.com/books/2026/aug/20/help-ukrainian-publishers-russia-attacks-books, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

THE NEW VOİCE OF UKRAİNE, Over 2,000 private, 800 high-rise buildings damaged by Russian attacks on Chernihiv, July 7, 2022, https://english.nv.ua/nation/over-2-000-private-800-high-rise-

buildings-damaged-by-russian-attacks-on-chernihiv-russia-war-50254914.html, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

REUTERS, Ukraine says Russian attacks kill four people, leave thousands without power, March 21, 2026, https://www.reuters.com/business/aerospace-defense/most-ukraines-chernihiv-region-without-power-after-russian-attack-2026-03-21/, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UKRINFROM, Kharkiv Armored Plant comes under Russian MLRS fire, 07.03.2022, https://www.ukrinform.net/rubric-ato/3423049-kharkiv-armored-plant-comes-under-russian-mlrs-fire.html, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UKRINFROM, Russian strike destroys meat processing plant in Kharkiv, 05.05.2024, https://www.ukrinform.net/rubric-economy/3860397-russian-strike-destroys-meat-processing-plant-in-kharkiv.html, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UN (United Nations), Under fire, Kharkiv is already building for a peaceful tomorrow, 31 May 2026, https://news.un.org/en/story/2026/05/1167611, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UNESCO, Damaged cultural sites in Ukraine verified by UNESCO, 0 July 2026, https://www.unesco.org/en/ukraine-war/damaged-cultural-sites, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UNESCO, Overcoming barriers to peace through culture, 31 March 2021, https://www.unesco.org/en/articles/cutting-edge-overcoming-barriers-peace-through-culture, (Erişim Tarihi: 30.08.2026).

UNOSAT (United Nations Satellite Centre), Chernihiv Building Damage Assessment Overview Map, 15 September 2022, https://unosat.org/products/3370, (Erişim Tarihi: 27.08.2026).

UNOSAT (United Nations Satellite Centre), Kharkiv Damage Assessment Overview, 25 November 2022.

UNOSAT (United Nations Satellite Centre), Mariupol Updated Building Damage Assessment Overview Map, 15 Jun 2022.

AHISKA TÜRKLERİ: SÜRGÜNDEN FERGANA'YA

AHISKA TURKS: FROM EXILE TO FERGANA

Sosyolog Zeynep DURSUN
Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi
ORCID: 0000-0003-2767-9423

ÖZET

Güney Kafkasya'da, Gürcistan'ın Samtshe-Cavaheti bölgesinde yer alan, Türkiye sınırına yakın Ahıska olarak isimlendirilen bölgede yaşayan Türkler tarih boyunca "Ahıska Türkleri" olarak isimlendirilmiştir. Orta çağda Gürcü Krallıkları ve Bizans etkisi altında olan bölge, çoğunlukla Gürcülerden oluşmaktaydı. Gürcü Kralı II. David'in 12. yüzyılda davet ettiği Kıpçak Türkleri ve onların kurduğu Atabek beyliği ile yerleşik nüfusun bir kısmı bu Türk unsurlardan oluşmuştur. 1578 Çıldır seferiyle Osmanlı hâkimiyetine giren bölgedeki Kıpçak kökenli Atabek beyleri Osmanlı'yı desteklemiştir. Aynı zamanda Ahıska'ya Anadolu'dan Türk/Müslüman nüfus da yerleştirilmiştir. Sovyetler bu bölgedeki Türkleri hiçbir zaman Ahıska Türkü olarak isimlendirmemiştir; Meskheti Türkleri olarak isimlendirmiştir. Bu isimlendirme Sovyetler Birliği'nin etnik kimlikleri tanımlama politikalarının siyasi bağlamıyla ilişkilidir; zira Moskova yönetimi, bu topluluğu doğrudan "Ahıska Türkleri" olarak adlandırmanın Türkiye ile tarihsel ve kültürel bağlarını güçlendireceğini düşündüğünden, Gürcistan'ın tarihsel coğrafi adı olan "Meskheti"ye referans vererek etnik kimliği yeniden tanımlamayı tercih etmiştir. Etnik kimliği Gürcistan'ın tarihsel coğrafi adı üzerinden yeniden adlandırarak ileride uygulanacak zorunlu iskân ve sürgün politikalarının meşruiyet zeminini oluşturmuştur. 14 Kasım 1944 yılında Stalin'in emriyle anavatanları Ahıska'dan yük ve hayvan taşıma amacıyla yapılan vagonlara bindirilerek -ki bu tren raylarının yapımında bizzat Ahıska Türkleri çalıştırılmıştır- Orta Asya'nın farklı bölgelerine sürgün edilmiş ve bu zorlu yolculuk Orta Asya'nın bozkırlarına varana kadar binlerce Ahıska Türküne mezar olmuştur. Bu sürgün, Ahıska Türklerinin sadece fiziki olarak yer değiştirdiği bir göç değildir; aynı zamanda onların kimlik,dil,gelenek ve kültürlerinin de sınandığı bir sürgün olmuştur.Fakat Ahıska Türkleri,tüm bu yaşadıkları sıkıntılara rağmen kimliklerini muhafaza etmiş ve kültürlerini gelecek nesillere aktarabilmişlerdir.Ahıska Türklerinin yaşadığı sürgün bununla sınırlı kalmamış; onlar için ikinci büyük kırılma olan Fergana olayları nedeniyle yeniden göç etmek durumunda kalmıştırlar.Ahıska Türkleri, Özbekistan'ın Fergana bölgesinde çıkan çatışma ve gerilim sonucunda Kazakistan, Rusya ve Türkiye gibi farklı coğrafyalara göç etmek zorunda kalmışlardır.Bu göç ile birlikte Ahıska Türkleri vatandaşlıktan ekonomik sıkıntılara kadar bir çok zorlukla mücadele etmektedir. Bu çalışma Ahıska Türklerinin 1944 sürgününden Özbekistan'ın Fergana bölgesindeki olaylara uzanan tarihi yolculuğunu; dilin, geleneğin, kimliğin, kültürün korunması ile sürgünler esnasında yaşamış oldukları sıkıntılar bağlamında ele almaktadır. Bu çalışma yalnızca Ahıska Türklerinin yaşamış oldukları toplumsal dramı değil, aynı zamanda onların kimliğini koruma mücadelesini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ahıska Türkleri, Sürgün, Fergana Olayları, Diaspora, Kimlik

ABSTRACT

Located in the South Caucasus, within Georgia's Samtshe-Javakheti region near the Turkish border, the area known as Ahıska has historically been inhabited by the community referred to as the "Ahıska Turks." While the region was under the influence of Georgian Kingdoms and Byzantium during the Middle Ages, its demographic composition shifted with the settlement of Kipchak Turks invited by King David IV in the 12th century and the establishment of the Atabek principality. Following the Ottoman conquest in 1578, the Kipchak-origin Atabek beys supported the empire, and additional Muslim/Turkish populations from Anatolia were settled in Ahıska. The Soviet Union, however, never officially recognized this community as "Ahıska Turks," instead labeling them "Meskheti Turks" in line with its ethnic classification policies. This terminology reflected a political strategy to weaken historical and cultural ties with Turkey and laid the groundwork for subsequent forced resettlement policies. On 14 November 1944, under Stalin's orders, the Ahıska Turks were deported from their homeland in cattle wagons—ironically built with their own labor on railway construction projects—and sent to various regions of Central Asia.

Thousands perished during this arduous journey. The deportation was not merely a physical displacement but also a profound test of identity, language, tradition, and culture. Despite these hardships, the Ahıska Turks preserved their cultural heritage and transmitted it to future generations. Their ordeal did not end in 1944; the Ferghana events of 1989 forced them into another wave of migration, dispersing communities to Kazakhstan, Russia, Turkey, and beyond. This study examines the historical trajectory of the Ahıska Turks from the 1944 deportation to the Ferghana crisis, focusing on the preservation of identity, language, and tradition, while highlighting the social and economic challenges they endured. It aims not only to document the collective trauma of the Ahıska Turks but also to underscore their resilience in safeguarding their cultural identity.
Keywords: Ahiska Turks, Exile, Fergana riots, Diaspora, Identity

GİRİŞ

Güney Kafkasya'nın tarihsel ve jeopolitik açıdan kritik bir noktada yer alan Ahıska, Gürcistan'ın Samtshe-Cavaheti idari sınırları içerisinde ve Türkiye sınırına komşu olan coğrafi bir alandır. Burada yaşayan halk ise Ahıska Türkleri olarak adlandırılmıştır. Bu bölge Orta Çağ döneminde Bizans ve Gürcü krallıklarının etkisinde olması nedeniyle genellikle Gürcülerden oluşmaktaydı. Ancak Gürcü Kralı II. David'in 12.yüzyılda Kıpçak Türklerini bölgeye daveti ve onların kurmuş olduğu Atabek Beyliği ile birlikte Ahıska bölgesinin yerleşik nüfus yapısına bariz bir Türk unsuru dâhil olmuştur. 1578 yılında olan Çıldır seferi ile birlikte Ahıska bölgesi Osmanlı hâkimiyetine girmiş ve bölge, demografik ve kültürel anlamda köklü bir şekilde dönüşüm geçirmiştir. Bu süreçte Atabek beyliğinin Osmanlıyı desteklemiş olması ve Anadolu'dan Ahıska'ya gerçekleşen Türk ve Müslüman nüfusun yerleştirilmesi, Ahıska bölgesinin etno-dini kimliğini perçinlemiştir. Ancak 20. yüzyılda Ahıska'ya hâkim olan Sovyet Yönetimi, burada yaşayan topluluğu, hiçbir zaman resmi kayıtlarında ve siyasal söyleminde "Ahıska Türkü" olarak isimlendirmemiştir. Bunun yerine Sovyet yönetimi, Ahıska Türklerini "Meskheti Türkleri" olarak adlandırmıştır. Söz konusu bu adlandırma tam anlamıyla Sovyet Yönetiminin, etnik kimlikleri tanımlama politikaların siyasi bağlamıyla ilişkilidir. Ahıska Türklerinin doğrudan doğruya "Ahıska Türkü" olarak isimlendirilmesinin Türkiye ile olan mevcut tarihsel, etnik ve kültürel bağları güçlendireceği ve pekiştireceği endişesini taşıyan Sovyet Yönetimi, Ahıska bölgesinin Gürcüce coğrafi adı olan "Meskheti" kavramına referans vererek etnik kimliği coğrafi bir kimlik üzerinden yeniden yapılandırmıştır. Bu isimlendirme stratejisi, ilerleyen süreçte yürürlüğe girecek olan topyekûn sürgün ve zorunlu iskân politikalarına zemin hazırlamıştır. Bu politikaların bir sonucu olarak Joseph Stalin'in emriyle Ahıska Türkleri,14 Kasım 1944 tarihinde anavatanlarından koparılarak sürgün edilmiştirler. Bu sürgünün trajik boyutlarından biri de Ahıska Türklerinin bizatihi yapımında çalıştıkları tren rayları üzerinden yük ve hayvan vagonları ile Orta Asya'ya sürgün edilmiş olmasıdır. Yol boyunca yaşanan insani trajedi, Orta Asya'nın bozkırlarına ulaşana kadar binlerce Ahıska Türkünün hayatlarını kaybetmelerine sebep olmuştur. 1944 Ahıska Sürgünü, sadece fiziksel olarak bir yerden bir yere gitmek değil; aynı zamanda Ahıska Türklerinin dilinin, geleneklerinin, kolektif hafızasının ve etnik kimliğinin mukavemet gösterdiği varoluşsal bir kırılmadır. Ahıska Türkleri karşılaşmış oldukları ağır ve ciddi sosyo-politik ve fiziki koşullara rağmen kültürlerini ve kimliklerini gelecek kuşaklara aktarmayı sürdürmeyi başarmıştırlar. Ahıska Türklerinin yaşamış oldukları trajedi, 1944 Ahıska sürgünü ile sınırlı kalmamış; Özbekistan'ın Fergana bölgesinde 1989 yılında yaşanan etnik gerilim ve çatışmalar Ahıska Türklerinin tarihindeki ikinci büyük kırılmadır. Ahıska Türkleri, Fergana Olayları ile yeniden kitlesel göçe mecbur bırakılmış; Kazakistan, Rusya, Azerbaycan ve Türkiye gibi çeşitli ve farklı coğrafyalara dağılmıştırlar. Dağınık bir diaspora da yaşamak zorunda kalan Ahıska Türkleri, günümüzde vatandaşlık sorunlarından sosyo-ekonomik uyum sorunlarına kadar birçok zorlukla baş etmektedir. Bu çalışma, Ahıska Türklerinin 1944 sürgününden 1989 Fergana olayları ve sonrasında yaşanan diasporik süreçlerin uzanan tarihi yolculuğunu inceler. Çalışmanın odaklandığı esas mesele; sürgün zamanlarında yaşanmış olan insani trajedinin yanı sıra, topluluğun etnik kimlik, dil, gelenek ve özne olma durumunu çetin ve ağır koşullar altında nasıl korudukları hususu oluşturmaktadır. Bu bağlamda çalışma, sadece yaşanan toplumsal bir trajediyi ortaya koymayı değil, aynı zamanda Ahıska Türklerinin tarihe direnen kimlik mukavemeti ve kimlik koruma mücadelesini akademik bir perspektifle ortaya koymayı hedeflemektedir.

Ahıska'dan Orta Asya'ya:1944 Sürgünü

Ahıska bir gül idi gitti

Bir ehl-i dil idi gitti

Söyleyin Sultan Mahmud'a

İstanbul'un kilidi gitti[1]

14 Kasım 1944 Ahıska sürgünü, Ahıska Türklerinin en acı tarihsel kırılma noktasıdır. II. Dünya Savaşı'nın sona geldiği, Sovyet Rusya'nın savaşta zafer ihtimalinin yüksek olduğu 1944 senesinin sürgün gecesinde az miktarda yiyecek ve eşya almalarına izin verilen Ahıska Türkleri, penceresi olmayan yük ve hayvan vagonlarına bindirilerek sürgün edilmiştir (YTB,2019). Tahminlere göre Ahıska bölgesinde 137.921 Ahıska Türkü yaşamıştır (Topal, 2008: 624). Bazı kaynaklara göre iki aydan fazla süren Ahıska sürgününde, 100.000-115.000 arasında Ahıska Türkü, bölgeden zorla sürgün edilmiştir. (Human Rights Watch, 1991: 51). Bazı çalışmalar, sürgün esnasında yaklaşık olarak 15.000 Ahıska Türkünün hayatını kaybettiğini göstermektedir (Human Rights Watch, 1991: 53). 1944 sürgününde yalnızca kadınlar, çocuklar ve yaşlılar sürgün edilmiş; bir tane bile yetişkin erkek yoktur. Bunun sebebi II. Dünya Savaşı sırasında 15-55 yaş aralığındaki Ahıska Türkü erkeklerin askere alınmış olması; geriye kalanların ise sürgünde kullanılacak olan tren yolunun inşasında çalıştırılmış olmalarıdır (YTB,2019). Ahıska Sürgünü, yalnızca mekânsal olarak bir yer değiştirme değildir; bir topluluğun kimliğinden, hafızasından ve vatanından zorla koparılması demektir. Fakat bu trajediyi anlamak Ahıska bölgesinin tarihsel ve coğrafi konumuna bakmakla mümkün olacaktır. Çünkü Ahıska bölgesinin kimlerin hâkimiyetine geçtiği ve hangi devletler arasında el değiştirdiği, sürgünün sebeplerini açıklayan en önemli arka plandır.

Adigön, Aspinza, Ahılkelek, Ninotsiminda ve Borcom gibi yerleşim birimlerinden oluşan Ahıska bölgesi, Gürcistan toprakları içerisinde Kafkasya bölgesinin güneybatısında yer alır (Zeyrek,2001). Toprakları tarıma ve hayvancılığa elverişli olan bu bölge meskhet diye adlandırılır. Bu bölge de yaşayanlara ise Meskhet Türkleri denilir. Fakat bu yanlış bir tanımlamadır; doğrusu Ahıska Türkleridir (Agara,2004). Ahıska kelimesinin anlamına baktığımızda gürcüce "AkhalTsikhe" anlamına karşılık geldiğini görürüz. "Akhali" gürcü dilinde yeni anlamına gelmektedir. "Tsikhe" ise kale anlamını vermektedir (Faigov,2015).Bununla birlikte Ahıska kavramı gürcü dilinde "yeni kale" anlamına gelen "Ahal tsihe"nin farsça ve Türkçe formudur. Ahıska bölgesinin etrafında bulunan kavimler Ahıska kavramı için kendi dillerinde Ahıska, AkhırKıska, Akhal-Kelek gibi kelimeler kullanmaktadır(Ababay,1987). Fakat çoğu kaynak Ahıska kelimesinin anlamının Ak-şehir anlamına geldiğini söylemektedir(Devrısheva,2019). Yüz ölçümü 6.260 km2 olan Ahıska, Ardahan ilinin devamı sayılmaktadır(Kurt&Açıkgöz,2017). Ahıska bölgesinin coğrafi konumunun yanı sıra tarihte yaşadığı siyasi değişimler, bu bölgenin kaderini derinden etkilemiştir.

Ahıska bölgesi 1828-1829 Osmanlı-Rus Savaşı sonucunda Osmanlı hâkimiyetinden çıkarak Çarlık Rusya'sının kontrolüne geçmiştir. Savaş sonrası 14 Eylül 1829 tarihinde Edirne antlaşmasının imzalanmasıyla Ahıska ve çevresi resmen Çarlık Rusya'sına bırakılmış ve Ahıska bölgesinin Osmanlı devleti ile bağı koparılmıştır (Baddeley, 1908; Zeyrek, 2001). 1829 Edirne Antlaşması, Ahıska Türklerinin Osmanlı hâkimiyetinde yaşarken Rus hâkimiyeti altında yaşamalarına yol açan ve ileride Sovyet yönetimi bakımından Türkiye ile yakın olma ve güvenilirliği şüpheli bulunan nüfus olarak algılanmalarına yol açan önemli bir antlaşmadır (Swietochowski, 1995). Ardından 16 Mart 1921'de imzalanan Moskova Antlaşması ile Ahıska bölgesi hukuken Sovyet Gürcistan'a bırakılmıştır. Böylece Ahıska Türklerinin Türkiye'den tamamen koparılması resmileşir, Sovyet yönetimi açısından sınırda yaşayan bu topluluk potansiyel bir güvenlik tehdidi olarak görülmeye başlanır. Bu iki tarihi dönüm noktası, Ahıska Türklerinin 14 Kasım 1944 sürgününe giden sürecin fitilini ateşleyen gelişmeler olarak değerlendirilebilir.

[1] Bu dörtlüğün daha ayrıntılı hikâyesi için bkz. 1944 Ahıska Sürgünü: Son Tanıklar, Üsküdar: YTB Yayınları, 2019, s.408

Bu tarihi arka plan, Sovyet yönetiminin Ahıska Türklerini bir güvenlik tehdidi olarak görmesine zemin hazırlar ve bölgedeki nüfusu tamamen ortadan kaldırmaya yönelik planların gündeme gelmesine sebep olur. Lavrentiy Beriya'nın teşebbüsleri ile tüm bu güvenlik endişeleri somut bir plana dönüşmüştür.
Ahıska bölgesinde Ahıska Türklerini bölgeden temizlemek adına plan yapan dönemin Sovyetler birliği İçişleri bakanı Lavrentiy Beriya'nın planını Sovyetler birliği lideri Joseph Stalin onaylamıştır. Bu karara imzasını atan Stalin, Ahıska bölgesinde yaşayan Ahıska Türklerinin sürülmesine sebep olmuştur(Akkiyeva,2016). Ahıska Türkleri, II. Dünya Savaşının sonlarında Joseph Stalin tarafından türlü bahanelerle 14 Kasım 1944 yılında Orta Asya bölgelerine sürgün edilmiştir(Kurt&Açıkgöz,2017). Bazı kaynaklara göre, hayvan vagonlarında sürgün edilen 80 bin Ahıska Türkünden 20 bini bu yolculukta yaşamını yitirmiştir. Bu yolculuk esnasında Rus askerleri vagonları dolaşmış ve hayatını kaybedenleri acımasız bir şekilde vagondan dışarı atmıştır. Bu sebeple vagonda hayatını kaybedenlerin yakınları cenazelerini gizlemiş ve tren durduğunda kendi inançlarına göre yakınlarını defnetmiştir. Bazı kaynaklara göre bir ay süren bu çetin yolculuk sonunda Ahıska Türkleri, Orta Asya'ya; Kazakistan, Kırgızistan ve Özbekistan'ın köylerine dağınık hâlde yerleşmiştir(Hacılı&Polatoğlu,2001).
Kazakistan, Kırgızistan, Özbekistan ve diğer coğrafyalara sürgün edilen Ahıska Türklerinin bu coğrafyalarda geliştirdikleri sosyo-kültürel pratikler, onların kimliklerini koruma kararlılığı ve toplumsal dayanışma formlarını ortaya koymaktadır. Ahıska Türkleri, farklı coğrafyalarda karşılaştıkları sosyo-politik şartlara rağmen geleneklerini sürdürür, kültürel kimliklerini yeni yerleşim bölgelerinde yeniden üretirler. Bu nedenle Ahıska Türklerinin Fergana olaylarına kadar geçen sürede hangi coğrafyalarda nasıl bir sosyo-kültürel yapı oluşturduklarını incelemek, 1989 yılının Haziran ayında yaşanan ve ikinci zorunlu büyük göç hareketini başlatan Fergana olaylarını tarihsel bağlamı içinde derinlemesine anlamamıza imkân tanıyacaktır.
1944 sürgününde Orta Asya bölgelerinden biri olan Kırgızistan'a 15 bin Ahıska Türkü göç etmek durumunda kalır. Nüfusun dörtte üçü başkent Bişkek'e, dörtte biri ise Oş ve çevresine yerleşir(Köylü,2014).1989 Fergana olaylarından sonrada göç olan Kırgızistan'da bugün yaşayan Ahıska türkünün sayısı 45 bine ulaşmaktadır (Agara,2004; Badalov,2004).
Ahıska Türklerinin 1944 sürgünü sonrasında en yoğun olarak gönderildikleri ülkelerden biri olan Kazakistan, 130 farklı etnik grubu içerisinde barındırdığı için ülkelerine Ahıska Türklerini kabul etmeleri zor olmamıştır. Kazakistan'da eğitim dili Rusça olması sebebiyle toplumda kullanılan en yaygın dil Rusça olur(Devrisheva,2010). Ahıska Türklerinin Kazakistan'a yerleştirilme hususunda yönetim tarafından bazı önemli kararlar alınır. Bunlardan bir tanesi Kazakistan'da 2 odalı bir evi olan ailenin bir odasını Ahıska Türkleri ile paylaşma zorunluluğu örnek verilebilir (Kariptaş,2021). Bugün Kazakistan'ın Çimkent, Taraz ve Almatı şehirlerinde yaşayan ve çalışkan olmalarıyla tanınan Ahıska Türkleri, Kazakistan'a geldiklerinde Ahıska bölgesindeyken yaptıkları hayvancılık ve tarım ile uğraşmaya devam etmektedir (Kalkan,1998). 1944 sürgünüyle Orta Asya bölgelerinden biri olan Kazakistan'a sürülen Ahıska Türklerinin göçü bu sürgünle sınırlı kalmayıp 1989 Fergana olaylarında da devam etmiştir (Köylü,2014).
1944 yılında sürgün edilen Ahıska Türklerinin çoğu Özbekistan'a göç eder. Ahıska Türkleri, Özbekistan'ın Taşkent, Fergana, Buhara, Semerkant, Andican, Namangan ve Sırderya gibi vilayetlerine yerleşir (Hasanoğlu, 2016). Ahıska Türkleri, sürgünden sonra, nüfuslarının önemli bir kısmını kaybeder ve Sovyet rejimin uygulamaları sebebiyle kimlikleri ve kültürleri asimilasyon tehdidiyle karşı karşıya kalır(Kıprızlı,2019). 1956 yılında Stalin'inin ölümüyle Ahıska Türkleri üzerindeki sıkıyönetim kaldırılır. Ahıska Türklerinin büyük bir bölümü, Özbekistan'dan Azerbaycan'a ve Rusya'nın Kafkasya Bölgesi'nden, Ahıska bölgesine ulaşmak için göç ederler. 1989 Fergana olaylarına kadar en çok Ahıska Türkünün yaşadığı yer Özbekistandır.1989 Fergana olaylarına kadar Özbekistan'da yaşayan Ahıska Türklerinin sayısı yaklaşık 106.000 civarındadır (Hasanaoğlu,2016). Bu nüfusun büyük bir bölümü Özbekistan'ın çeşitli vilayetlerine yerleşir ve burada sosyal, kültürel ve ekonomik hayatın içinde önemli roller üstlenir. Bu vilayetlerden en dikkat çekici bölge ise Fergana'dır.

Ahıska Türkleri'nin İkinci Büyük Kırılma Noktası:1989 Fergana Olayları

Ahıska Türklerinin tarihte yaşadıkları sürgün 1944 sürgünü ile sınırlı kalmamış; ilerleyen yıllarda da farklı coğrafyalarda yeni zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Ahıska'dan Özbekistan'a göç eden Ahıska Türkleri 1989 yılında ikinci bir göç dalgası yaşamıştır. Tarihe 1989 Fergana olayları olarak geçen

olaylarda Ahıska Türkleri, Rusya, Azerbaycan ve Ukrayna'ya göç etmek zorunda kalmıştır. Daha sonrasında göç olgusu, kendi içinde yeni göç dinamiklerini üretmiş ve Rusya'nın Krasnador bölgesinde yaşayan Ahıska Türkleri, karşılaştıkları sosyo-politik sorunlar nedeniyle ABD'ye göç etmek durumunda kalmıştır. Peki Ahıska Türkleri neden Fergan'a bölgesine yerleştirilmiştir? Fergana bölgesinin önemi nedir?

Sovyet yönetimi, Ahıska Türklerini Özbekistan'ın en verimli toprak arazilerine sahip olan Fergana bölgesine pamuk, sebze-meyve üretiminde işgücüne ihtiyaç olması sebebiyle yerleştirmiştir. Ayrıca Fergan'a bölgesinde fabrikalarda ve inşaat sektöründe işçi ihtiyacı olması sebebiyle Ahıska Türkleri bu sektörde de çalışarak bölgedeki büyük boşluğu doldurmayı başarmıştır. Fergana'da yaşayan Ahıska Türkleri, hem çalışkanlıklarıyla bölgeyi ekonomik olarak kalkındırmayı başarmış, hem de kendi kimliklerini koruyarak toplumsal uyumun örneğini sergilemiştir. Bu nedenle Ahıska Türklerinin en dramatik kırılmalarından biri olan 1989 Fergana olaylarını onların kimliklerini koruma ve göç ettikleri yeni coğrafyalara uyum sağlama sürecini görünür kılan önemli bir olay olarak değerlendirebiliriz. Ahıska Türkleri, tarihsel süreç içerisinde maruz kaldıkları baskı ve zorunlu göçlere rağmen dil ve kültürel kimliklerine bağlılıklarını sürdürmüştür. Aile içi iletişimde, göç ettikleri coğrafyaların dillerini öğrenmelerine karşın kendi ana dilleri olan Türkçeyi kullanmaya devam etmişlerdir. Göç ettikleri bölgelerde farklı dini inançlarla karşılaşmalarına rağmen, kendi dini pratiklerini ve kültürel değerlerini yaşatmış; dini bayramlarını kutlamayı sürdürmüştürler. Ayrıca, düğün ve misafirperverlik gibi toplumsal ritüelleri yeni yerleşim alanlarında da uygulayarak kültürel sürekliliği sağlamıştırlar. Bunun yanı sıra, Ahıska Türkleri hem göç ettikleri coğrafyaların mutfak kültüründen yemekleri benimsemiş hem de kendi geleneksel yemek kültürlerini muhafaza etmişlerdir. Örneğin, Özbekistan'a yerleşen Ahıska Türkleri, Özbek mantısı ve özbek pilavını gündelik yaşamlarına dahil ederken, kendi mutfaklarından hınkal ve etli yemekleri de koruyarak kültürel kimliklerini devam ettirmiştir. Bu durum onların diaspora bağlamında kültürel sürekliliklerini ortaya koyar. Ahıska Türklerinin hem kültürlerine bağlılığı hem de gittikleri yere yönelik uyum süreci 1989 yılında dramatik bir kırılma ile kesintiye uğrar. Kırılmanın ayak sesleri 1989 yılının Mayıs aylarında başlamıştır. Aynı senenin bir ay öncesine 1989 Nisan'ına bakacak olursak Tiflis'te yaşanan ayaklanmada Gürcü halkı Rus ordusuna isyan etmiştir. Kızıl Ordu ise halka karşı silah kullanmış ve onlarca insan öldürülmüştür. Sovyetler Birliği'nin son Cumhurbaşkanı olan Mihail Gorbaçov, Özbekistan Cumhurbaşkanı İslam Kerimov ve KGB, bu olayı örtbas etmek amacıyla çeşitli stratejiler geliştirmiştir. Aynı yılın Mayıs ayında ise Fergana'da Özbekler ve Ahıska Türkleri arasında ortaya çıkan gerilimi, bu stratejilerin bir parçası olarak değerlendirebiliriz. Sovyet yönetimi, iki toplum arasındaki dostluk ilişkisini bozguna uğratarak Gürcistan'ı hem kendi halkının bağımsızlık isteğiyle hem de bölgede ortaya çıkan etnik çatışmalarla uğraşmak zorunda bırakır. Buradan da anlaşılacağı üzere Fergana olaylarının sebepleri arasında, Sovyet yönetiminin etnik gruplar arasındaki suni ayrımları ve ekonomik eşitsizlikler olduğunu söylemek mümkündür(Lubin,1984).

Fergana bölgesinde yer alan Kuvasay şehrinde ilk gerginlik 23-24 Mayıs 1989 yılında bir pazarda Özbekler ve Ahıska Türkleri arasında bir çilek tartışmasıyla başlar. Aslında bu bir küçük anlaşmazlıktır. Fakat bu küçük anlaşmazlık dedikodularla büyütülür ve "Ahıska Türkleri, Özbeklere saldırıyor" şeklinde söylentiler yayılmaya başlar ve halk öfkelenir. Bu gerilim sonucunda 1 kişi ölür,53 kişi yaralanır(Buntürk,2007). Buradan da anlaşılacağı üzere Kuvasay şehrindeki bu ilk gerginlik büyük bir kitlesel çatışmaya ya da kitlesel bir göçe dönüşmemiştir.

3-4 Haziran 1989 yılında etnik milliyetçilik akımlarının tetiklediği çatışmalar daha da büyür ve Türk evlerinin yakılmasıyla devam eder. Bölgedeki gerilim binlerce insanın hayatını kaybetmesine ve yerlerinden edilmesiyle sonuçlanır(Buntürk,2007). 1989 Fergana olaylarıyla birlikte Ahıska Türkleri için aralıksız bir göç dalgası başlar. Ahıska Türkleri Azerbaycan, Kazakistan, Ukrayna, Rusya, ABD ve Türkiye'ye göç etmek durumunda kalır. Ahıska Türklerinin göç ettikleri yerler önem arz eder. Çünkü onların gittiği yerler kimileri için kalıcı bir yaşam yeri olurken kimileri için ayrımcı politikalarla karşılaşmaları sebebiyle tekrar göç edecekleri geçici bir yer olacaktır.

Fergana olaylarıyla birlikte Ahıska Türklerinin bir kısmı Kazakistan'a göç etmiştir. Kazakistan 1944 sürgünüyle birlikte ikinci kez Ahıska Türklerine kapılarını açar ve onları farklı bölgelere yerleştirir. Ahıska Türklerinin en yoğun yerleştirildiği yerler arasında Almata, Karaganda, Çimkent ve Taraz vardır (Halidov,2011). Kazakistan, Ahıska Türklerine karşı olumlu bir tutum içerisinde bulunur ve onları eğitim, barınma, sosyal haklara ulaşım ve istihdam konularında uyum sağlamalarını destekler.

Ahıska Türkleri ise hem kazak halkı ile barış ve uyum içerisinde yaşar hem de kimliklerini korumak için önemli adımlar atar. Bunlardan bir tanesi 1991 yılında Kazakistan'da kurulan Ahıska Türkleri Türkiye Kültür Merkezidir. Bu merkez, Kazaklar ve Türkler arasındaki dostluk ilişkisini pekiştirmek amacıyla kurulmuş bir merkezdir. Bu sebeple çeşitli kültürel etkinlikler düzenlenir. Ayrıca bu merkez, Türk dili derslere vererek gençlerin dillerini ve kültürlerini yaşatmaya devam etmesi yönünde önemli katkılar sağlar(Buntürk,2019).1991 yılında bağımsızlığını ilan eden Kazakistan, köklü değişikliklere giderek Sovyet yönetiminin eğitim politikalarını terk eder ve daha milliyetçi bir tutum sergiler. Kazakçanın yaygınlaştığı bu süreçte azınlıklara da hem kendi dillerini hem de kazakça dilini öğrenme imkânı verilir.1997 yılında ise öğrencilerin ihtiyaçları için Ahıska Fahri Öğrenci Temsilciliği kurulur(Karcı&Çetin,2018). Bugün Kazakistan'da yaşayan Ahıska Türklerinin nüfusunun 170 binden fazla olduğunu söylemek mümkündür. Kazakistan, diğer Orta Asya ülkelerine nazaran Ahıska Türklerine vatandaşlık verme konusunda daha hızlı ve yapıcı davranmıştır. Büyük bir kısmı Kazakistan'ın şehir merkezlerinde yaşayan eğitimli ve iş sahibi Ahıska Türkleri, hem ülkenin sosyal ve ekonomik yapısında etkin rol oynarlar hem de kimliklerini korumaya devam ederler. Ahıska Türkleri Kazakistan'da Kazakça ve Rusça diliyle birlikte kendi dilleri olan Türkçeyi de konuşurlar(Kurbankulova,2025). Böylelikle şunu söyleyebiliriz ki Fergana olaylarından sonra Kazakistan'a göç eden Ahıska Türklerinin hem göç ettikleri ülkenin diline, kültürüne uyum sağladığını hem de kendi dillerinin, kültürlerini ve de kimliklerini korumaya devam ettiklerini görebiliriz.

Fergana olaylarından sonra Ahıska Türklerinin önemli bir kısmı Kazakistan'a yerleşirken bir kısmı ise Kırgızistan'a yerleşir.1944 Ahıska sürgününden sonra ikinci kez Kırgızistan'a göç eden Ahıska Türklerinin sayısı 12.000 i bulur(Badalov,2004).

1989 Fergana olaylarından sonra Kazakistan ve Kırgızistan dışında Rusya'nın Krasnador bölgesinin yerleşim yerlerine göç etmek zorunda kalan yaklaşık 20.000 Ahıska Türkü, burada ırkçılıkla karşılaşır. Krasnador bölgesindeki Rus milliyetçileri ve Kuban Kozakları2 Ahıska Türklerini "toprak işgalcileri" ve "yasadışı göçmenler" olarak isimlendirir(Öztürk,2015). Fergana olayları nedeniyle Rusya'nın Krasnador bölgesine sığınan Ahıska Türklerine ikamet izni verilmez. Bu sebeple onlar sağlık, eğitim gibi haklardan yararlanamazlar. İkamet izni olmadıkları için sigortasız çalışan Ahıska Türkleri, tarım işçisi olarak asgari ücretin altında bir ücrette çalışırlar(Kaya,2012).

Krasnador bölgesinde yaşayan Ahıska Türkleri 1990 yılının ortalarına geldiklerinde baskı ve ırkçı uygulamalar artar; ikamet izin talepleri reddedilir ve "vatansız" konumuna getirilir.1995 yılında Kozaklar ve Ahıska Türkleri arasındaki gerilim tırmanır; kozaklar, Ahıska Türklerinin evlerini basar ve sokaklarda Ahıska Türklerine yönelik şiddet artar(Durmaz,2015). Bu insanlık dışı muameleye maruz kalan Ahıska Türkleri, Avrupa Konseyi (COE) ve Birleşmiş Milletler Mülteciler Yüksek Komiserliği (UNHCR) gibi kuruluşlardan yardım ister. Bunun sonucunda Avrupa Konseyi üyesi olan Gürcistan, 1999 yılında Ahıska Türklerinin Gürcistan'a dönüş sürecini başlatır. Ahıska Türklerinin çok az bir kısmı Gürcistan' a gider; geri kalan yaklaşık 90.000 Ahıska Türkü ise Rusya'da yaşamına devam etmektedir(Akbulut,2018).

Krasnador bölgesinde ayrımcı politikalarla karşılaşan Ahıska Türkleri, karşılaştıkları zorlukları, uluslararası hukuk ihlallerini ve ayrımcılıkları belgeleyen raporları Avrupa Konseyine sunmuş olmasına rağmen Rusya Federasyonu somut bir adım atmaz ve devreye ABD girer. ABD,2004 yılında 12.000'den fazla Ahıska Türkünü mülteci olarak kabul eder. Ancak Ahıska Türkleri, burada ciddi dil, kültürel uyum ve ekonomik zorluklarla karşılaşır. Özellikle İngilizce dil yetersizliği onların hem sosyal hayatlarında hem de işe girişlerinde sıkıntı yaşamalarına sebep olur. Ahıska Türklerinin yaşadıkları tüm bu zorluklara rağmen ABD' de ki yerel yönetimler ve mülteci destek programları, Ahıska Türklerinin uyum sürecini kolaylaştıracak projeler yapmıştır. İstihdam, eğitim ve sağlık alanında Ahıska Türklerine sağlanan olanaklar, onların topluma hızlı adapte olması konusunda önemli rol oynamıştır(Durmaz,2015).

[2] Kozakların kökeninin ne olduğuna dair pek çok görüş vardır. En bilinen görüş, Kozakların çoğunluğunun kökeninin Doğu Slav olduğu, fakat zaman içerisinde Tatar, Rus, Ukrayn gibi farklı etnik unsurlar da bu grubun bir parçası hâline gelmiştir. Kozaklar, etnik olarak heterojendir ve yaşadıkları bölgenin adıyla anılır. Kozaklar, Krasnodar bölgesinde bulunur - çoğunlukla Kuban Kozakları- ve Osmanlı-Rus savaşlarına dayanan Türk karşıtı tavırları Ahıska Türklerine yönelik olumsuz yaklaşımlarının kökenini oluşturur. Daha ayrıntılı bilgi için bkz. (Magocsi, 2007); (Aydıngün, İ., 2012: 216-217).

1989 Fergana olaylarıyla birlikte Kazakistan, Kırgızistan, Rusya ve ABD'ye göç edip yeni bir hayat kuran Ahıska Türklerinin bir kısmı bu ülkeler dışında Ukrayna'ya da göç etmiştir. Ahıska Türkleri, Ukrayna'da sanayi ve tarımın yoğun olduğu Donetsk, Kherson, Nikolayev, Zaporijya, Harkov ve Dnipropetrovsk gibi bölgelerine dağınık bir şekilde yerleştirilmiştir. Ahıska Türkleri Rusya'da yaşadıkları sıkıntıların aksine Ukrayna'da inanç özgürlüğü, temel haklar, pasaport işlemleri ve oturma izinleri konusunda önemli bir sıkıntı yaşamamıştır(Devrisheava,2019).
Ahıska Türklerinin,1989 Fergana Olaylarından sonra Kazakistan, Kırgızistan, Rusya, ABD ve Ukrayna gibi farklı ülkelere göç etmesi, bu topluluğun gittikleri coğrafyalarda sosyo-ekonomik anlamda uyum süreçlerini zorlaştırmış; dil, kimlik ve geleneklerini muhafaza etme çabalarını daha da hayati bir hale getirmiştir. Ahıska Türkleri için bu kitlesel göç, sadece yer değiştirme değil aynı zamanda kültür ve kimlik açısından sınamalarla karşı karşıya kalmaları anlamına gelir. Bu nedenle Ahıska Türklerinin Fergana olayları sonrasındaki deneyimleri, onların kolektif hafızasında travmatik hatıralar bırakmış ve kimlik mücadelesinin anlaşılması için önemli bir eşik olmuştur.

Sürgünden Fergana'ya Kimlik Mukavemeti: Ahıska Türkleri

Bir toplumu toplum yapan maddi ve manevi değerlerin tümüne kültür denir. Maddi ve manevi değerler dediğimizde aklımıza dil, din, gelenek-görenek gelmektedir. Bu değerler var olduğu sürece bir toplum kimliğini korur ve gelecek kuşaklara aktarır. Kimlik bir toplumun hafızasıdır ve eğer toplum bu hafızayı kaybederse artık mankurtlaşmış3 bir toplum olur(Çınar,2018). Güçlü devletler, azınlık konumundaki toplumları mankurtlaştırmaya çalışmıştır. Bu devletlerden biriside Sovyetler Birliği olmuştur. Sovyet yönetimi mankurtlaştırılan toplumları aydınlatmak isteyen entelektüel grubu yok etmiş; azınlık toplumları ise sürgüne göndererek yok etmeye, hayatta kalanları ise bulundukları coğrafyalarda mankurtlaştırmaya yani kendi kimliklerinden uzaklaştırmaya çalışmıştır. Fakat Sovyet lideri Stalin'in bu hedefi amacına ulaşmamıştır. Bunu ana vatanından zorla kopartılan ama buna rağmen dilini, dinini, kimliğini koruyan Ahıska Türklerinde görebiliriz(Faigov,2020).
Birçok göçe maruz kalan Ahıska Türkleri, kimliklerini dil vasıtasıyla korumuş ve kuşaktan kuşağa aktarabilmiştir. Birçok farklı coğrafyaya göç etmelerine rağmen ve o coğrafyadaki dilleri ana dil seviyesinde bilmelerine rağmen Ahıska Türkleri, evlerinde ana dilleri olan Türkçeye büyük önem vermiştir. Çünkü Ahıska Türkleri, atalarından kalma tüm kültürel değerleri, dil vasıtasıyla öğrenmiş ve gelecek kuşaklara aktararak kimliklerini korumaya devam etmiştir.
Eski Anadolu Türkçesi ve Dede Korkut Kitabının diliyle aynı olan Ahıska ağzı üzerine birçok araştırmalar mevcuttur. Söz konusu araştırmalara göre, Ahıska Türkleri etnik köken olarak Kıpçak grubundadır. Bunun sebebi ise yaşadıkları bölgenin hem kadim bir Türk yurdu merkezi olması hem de Kıpçakların bu bölgede yoğun olarak yaşamalarıdır(Zeyrek,2006). 1944 sürgününe kadar Ahıska bölgesinin oğuzlar ile iç içe bir coğrafya olması sebebiyle Ahıska Türklerinin ortak iletişim dili Türkçe, eğitim dili ise Azeri Türkçesi idi(Kırzıoğlu,2015). Fakat 1930 yıllarda Ahıska bölgesinde açılan ve Türkçe eğitim veren okullar kapatılmış ve 1944 sürgününe kadar Ahıska Türkleri Gürcü dilinde eğitim almıştır(Memedli,2018). Ahıska Türklerinin sürgün edildikten sonra göç ettikleri yerlerde kullandıkları eğitim dili Rusça idi. Fakat göç ettikleri ülkelerin yerel dilleri de günlük hayatlarında ve eğitimde etkili olmuştur.
Ahıska Türkleri, 1944 sürgününden 1989 Fergana olayları ve sonrasında birçok farklı coğrafyalarda bulunmaları sebebiyle başta Rusça, Özbekçe, Kazakça olmak üzere bu dilleri ana dil seviyesinde konuşmaktadır. Fakat kimliklerini yaşatmak isteyen Ahıska Türkleri dışarıda bu dilleri konuşurken ev içinde ana dilleri olan Türkçeyi konuşmuş ve çocuklarına da Türkçeyi öğretmiştir. Sovyetler birliği döneminde asimilasyona uğrayan Ahıska Türklerinin kimliklerini bu günlere dek sürdürmesi ve gelecek kuşaklara aktarması ancak dillerini korumakla mümkün olabilirdi.

[3] Mankurt kelimesini TDK 'ulusal kimlikten uzaklaşan, içinde bulunduğu topluma yabancılaşan' kişi olarak tanımlar(Yılmaz,2024).

Ahıska Türkleri kimliklerini koruma sürecinde sadece dillerine değil aynı zamanda dinlerine de büyük ölçüde önem vermiştir4.

Ahıska bölgesi 1944 Ahıska sürgününe kadar Osmanlı ve Ruslar arasında el değiştirmiş olmasına rağmen bölgedeki Ahıska Türkleri, dinlerinden ödün vermemiş; Müslümanlıktan vazgeçmemiştir(Abdrakhov&Mendualiyev,2017). Ahıska bölgesi Rus yönetimi5 altındayken camiler kapatılmış; ezan yasaklanmış ama Ahıska Türkleri buna rağmen gizlice ibadetlerini yerine getirmiş ve dini bayramlarını evlerinde kutlamıştır. Günümüzde ise Ahıska Türkleri ibadetlerini özgür bir şekilde yerine getirmektedir.

Ahıska Türkleri, tarihsel süreçte sürgünden Fergana'ya ve sonrasında yoğun göç ve sürgünlere maruz kalmalarına rağmen dil ve dini kimliklerini korumuş; bunun ötesinde evlilik ritüelleri, aile yapısı ve mutfak kültürü gibi tüm bu gündelik yaşam pratikleri aracılığıyla kültürel sürekliliklerini toplumsal bellekte yeniden üretmiş, gelecek kuşaklara aktarmış ve kimlik mukavemetini çok boyutlu bir biçimde sürdürmeyi başarmıştır. Ahıska Türklerinde evlilik ritüelleri, kimlik koruma hususunda önem arz etmektedir.

Ahıska Türklerinde grup içi evlilikler ağırlıktadır; Ahıska Türklerinde Ahıska türkü ile bir Ahıska türkü evlenmelidir görüşü hâkimdir. Ahıska Türklerinde kız istemenin ilk aşaması, elçiliğe gitme ile başlar. Damadın ailesinden üç erkek aile büyüğü, kızın evine elçiliğe gider; kızı ister ve geline yüzük bırakır. İkinci aşama damat tarafının daha geniş bir grup ile kızın evine gitmesidir. Burada şerbet içilir. Günümüzde şerbet içeceğine ek olarak Türk kahvesi yaygınlaşmış olsa da Ahıska Türkleri, şerbet geleneğini titizlikle sürdürür. Şerbet iki defa içilir; ikincisi büyük nişan denilen zaman içilir. Büyük nişanda iki taraf birbirine bavul getirir yani hediyeleşme olur. Büyük nişanda gelin katha leçekini takar ve misafirleri selamlar. Yeni gelin düğün başlamadan önce eve gelir ve eline bal sürülür; evliliği tatlı ve huzurlu olması için bu ritüel yapılır. Daha sonrasında gelinin eline pirinç doldurulur ve beline ekmek bağlanır. Çünkü pirinç bereket ve bolluğun simgesidir; ekmek ise yeni yuvanın aç kalmaması ve huzurun sürmesi için bağlanır. Yeni gelin damadın evine getirildiğinde girişte tabak kırar. Bunun sebebi evliliğin bolluk, bereket ve sağlam olması için kültürel bir temennidir. Yeni gelin eve geldiğinde kucağına çocuk verilir. Bunun sebebi evliliğin çocukla taçlanması ve neslin devamı temennisidir. Ailede yeni gelin, kayınpederi ve kayınvalidesinin yanında konuşmaz yada sessiz konuşur; gelinlik yapar. Yeni gelininin sessiz konuşması yada konuşmaması, saygı ve hürmete dayalı kültürel bir ritüelidir. Yeni gelin evliliğinin ilk zamanlarında hem evdeki büyüklere hemde eve gelen büyüklere temen6 alır. Yeni gelin, evliliğinin ilk zamanlarında katha leçeki7 ile dolaşır. Yeni gelin evlendikten bir gün sonra hınkal yapar ve tüm akraba ve komşular bu hınkal gününe gelir. Evlendikten bir hafta sonra gelinin ayak dönümü olur yani gelinin baba evine ziyarete gitmesinin yolu açılır. Burada gelinin ailesi, akrabası hediyelerle gelinin evine gelir, sofralar hazırlanır. Ahıska Türklerinde yukarıda saymış olduğumuz evlilik ritüelleri

---

4 Müslüman bir toplum olan Ahıska Türklerinin Müslüman olması yüzyıllar sürmüştür (Yılmaz, 2020; Demirtaş, 2022).8.-9. Yüzyıllar arasında Ahıska bölgesine gelen Türk boyları, İslam'ı bu bölgede yaymaya çalışmış olsa da bu dönemde egemen güç Ortodoks Hristiyan olarak bilinen Atabekler*(1268–1578)* idi. Dolayısıyla bölgedeki halk, İslamiyet'le tanışmış olsa da tam anlamıyla Müslüman olmamıştır(Kartlis Tskhovreba, 1955). 1578 yılında olan Çıldır savaşıyla birlikte Ahıska bölgesi Osmanlı hakimiyetine geçmiştir ve bu dönemde Atabekli Mustafa Müslüman olmuştur(Peçevi, 1866; Naîmâ, 1734).Osmanlı devletinin yönetimiyle Ahıska bölgesinde Hanefi mezhebi yaygınlaşmış; camiler ve medreseler açılmış; ve dolayısıyla dini hayat kurumsallaşmıştır(Hurûfât Defterleri, Osmanlı Arşivi; Vakfiye Defterleri, Osmanlı Arşivi).

51828-1829 yılları arasında gerçekleşen Osmanlı-Rus savaşı sonucunda Osmanlı hâkimiyetinde olan Ahıska bölgesi Rus hâkimiyetine geçmiştir.1829 Edirne Antlaşmasıyla Ahıska bölgesi tam anlamıyla Ruslara bırakılmıştır.19.yy Rusların döneminde Ahıska bölgesi Tiflis'e bağlanmış ve bu süreçte camiler kapatılmış ve ezan yasaklanmıştır.1917 Bolşevik devrimiyle birlikte Rus imparatorluğu çökmüş ve Ahıska bölgesi kısa süreliğine Gürcistan'ın(1918-1921) kontrolüne geçmiştir.1921 yılında ise Gürcistan Sovyetler birliğine katılmış ve Ahıska bölgesi Sovyet yönetimine geçmiştir.1944 sürgününe kadar da bu bölgede Sovyet egemenliği devam etmiştir (Bekadze, 2013; Tosik Dinç, 2015; Faik, 2020).

6 Büyüklere karşı saygı ve hürmet göstermek anlamına gelen temen, hem teşekkür etmek anlamına gelir, hem de büyükleri selamlamak anlamına gelmektedir. Temen alacak olan gelin ayakta durur; ellerini bel hizasında ve avuç içleri içe dönük şekilde tutar. Temen alma sırasında gelin, yavaş ve hafif bir şekilde dizlerini bükerek eğilir ve bel hizasında olan sağ elini omzuna doğru kaldırıp indirmektedir. Aynı hareketi sol el içinde yapar ve bu temen ya da selamlama üç kez tekrar edilir(Sakallı&Özcan,2016).

7Ahıska Türklerinin geleneksel başörtüsü olan Katha Leçeki, sürgün öncesinde kadınlar genç yetişkin yaşlarına kadar kullanmış, daha sonrasında ise sadece örtü örtmüştürler. O dönemlerde düğünden sonra 1-2 yıl giyilen Katha-Leçek, zamanla birkaç ay ve düğünlere gidilince giyilmeye başlanmıştır. Günümüzde ise isteme, nişan ve düğünde sadece 1 kaç kez giyilen bir kıyafet olmasına rağmen hala kullanılmaya devam etmektedir(Sakızlı,2023).

sayesinde kültürel süreklilik kuşaklar boyu devam etmektedir. Bu ritüellerden kaynaklanan ilişkilerin kurumsallaştığı aile kurumu ise kimlik mukavemetinin merkezi bir konumunda bulunur.

Ahıska Türklerinde geniş aile yapısı mevcuttur. Bu geniş aile tipolojisi Ahıska sürgününe kadar 15-20 kişi civarındadır. Sürgünden sonra ise bu sayı azalmış olsa da Ahıska Türkleri yarım sayılabilecek çekirdek bir aile olmuş ve olmaya da devam etmektedir(Devrisheva,2010). Ahıska Türklerinde aile yapısı, tarihsel süreçte geniş aile yapısından çekirdek aileye doğru dönüşmüş olsa da, ebeveynler, ekseriyetle küçük oğulları ve geliniyle birlikte aynı evde yaşamaktadır. Bu aile yapısında görülen düzen ailede tek oğul olması durumunda da geçerliliğini korumaktadır. Ahıska Türklerinde gelin ve oğlun ebeveynleriyle birlikte yaşaması toplumsal bir normdur. Ahıska Türkleri bu aile düzenini koruyarak hem kuşaklar arası bağı güçlendirir hem de kültürel sürekliliği sağlayarak kimliklerini korur. Ahıska Türklerinde aile yapısı, kültürel sürekliliği muhafaza eden önemli toplumsal norm olarak işlev görürken; söz konusu bu sürekliliği mutfak kültüründe de görmekteyiz.

Ahıska Türkleri, 1944 Ahıska sürgününe kadar Anadolu ve Kafkasya arasında bir geçiş noktasında yaşamıştır. Dolayısıyla onlar hem Anadolu kültürü hem de Kafkasya'daki çeşitli topluluklarla etkileşim halinde olmuştur(Hacılı,2014). Aynı şekilde 1944 sürgününden sonrada göç etmeleri sebebiyle farklı topluluklarla etkileşim halinde olmuşturlar.1944 sürgününden sonra farklı coğrafyalara göç eden Ahıska Türkleri, göç ettikleri yerlerin mutfak kültüründen etkilenmiştir. 1944 sürgününden sonra Özbekistan'a, göç eden Ahıska Türkleri samsa, Özbek pilavı ve Özbek mantısını; Kazakistan'a göç edenler beşparmak yemeğini, Rusya'ya göç edenler Rus salatası (Olivier/Alivye salatası),bilini, lagman ve borş gibi pekçok yemeği benimsemiştir. Ahıska Türkleri, bu yemeklere kendi mutfaklarının yanında yer vermiştir. Ahıska Türklerinin mutfağının büyük bir kısmını hamur yemekleri oluşturmaktadır.

Bunlardan bazıları, hınkal, mantı, kete, ve haçapurdur. Bu yemekler aynı zamanda özel günlerde hazırlanan yemeklerdir (Keleş,2020& Köksal, 2007).

Ahıska Türkleri, 1944 Ahıska sürgününden 1989 Fergana olaylarına uzanan tarihsel süreçte tüm bu saydığımız kültürel pratikleri farklı coğrafyalarda yaşamalarına rağmen, halen devam ettirdikleri görülmektedir.

SONUÇ

Ahıska Türklerinin 12. yüzyıldan itibaren oluşmaya başlamış,1578 Çıldır Savaşıyla kökleşmiş ve Sovyet rejimiyle dramatik bir hal almış tarihsel deneyimi, etnik kimlik ve zorunlu göç araştırmaları bakımından özgün bir nitelik taşır. Kıpçak Türklerinin Ahıska'ya yerleşmesi ve Atabek Beyliğinin kurulması ile başlayan; sonrasında Osmanlı devletinin uyum politikaları ile derinlik kazanan tarihi süreç, Ahıska bölgesini türk ve müslüman bir yerleşim yeri durumuna getirmiştir. Fakat bu tarihi gerçekliği "Meskheti Türkleri," isimlendirmesi üzerinden yeniden inşa eden Sovyet yönetimi, etnik kimliği doğrudan kabul etmek yerine onu coğrafi bir ad ile tanımlaması, uygulamak istediği iskan politikalarına zemin oluşturmuştur.14 Kasım 1944 yılında uygulanan sürgün kararı, Ahıska Türklerinin kolektif hafızasında kapanmayacak bir yara açmıştır. Yapım aşamasında bulundukları demiryolu üzerinden hayvan ve yük vagonlarıyla Orta Asya'ya sürgün edilen Ahıska Türkleri, bu çetin ve zor yolculuk esnasında binlerce kayıp vermiş ve temel insani haklarından mahrum kalmıştırlar. Buna rağmen, çalışmamızda elde ettiğimiz tarihsel veri ve bulgular, kimliksizleştirme politikaları, ağır koşullar ve coğrafi izolasyona rağmen Ahıska Türkleri, dillerini, geleneklerini ve öz etnik kimliklerini koruma konusunda yüksek bir mukavemet göstermiştir. Ahıska Türklerinin kaderi,1989 Fergana olaylarıyla yeniden şekillenir. Fergana olayları sonucu Kazakistan, Rusya ve Türkiye'ye göç etmek zorunda kalan Ahıska Türkleri, küresel boyutta bir diaspora topluluğuna evrilmiştir. Ahıska Türklerinin bu çeşitli ve farklı coğrafya da yaşamaları, beraberinde vatandaşlık hakları, hukuki statü belirsizlikleri ve ekonomik uyum gibi bir çok sorunu getirmiştir. Sonuç itibariyle elinizdeki çalışma, 1944 sürgününden 1989 Fergana olaylarına uzanan tarihsel süreci bütüncül bir bakış açısıyla ele almaktadır. Çalışmanın ortaya koymuş olduğu salt gerçek; Ahıska Türklerinin tarihinin yalnızca topyekün bir sürgün yada toplumsal trajediden ibaret olmadığı, aynı zamanda dil, gelenek ve kültürlerinin çetin coğrafi ve siyasi koşullar altında dirayetle devam ettirildiği eşsiz bir etnik kimliği muhafaza etme mücadelesi olduğudur.

KAYNAKÇA

1944 Ahıska Sürgünü: Son Tanıklar, Üsküdar: YTB Yayınları, 2019, s.408 Ababay, F. (1987). *Çıldır tarihi*. Ankara.

Abdrakhov, Y., & Mendualiyev, A. (2017). Kazakistan'daki Ahıska Türklerinin dini hayatı üzerine bir inceleme. Uluslararası Ahıska Türkleri Sempozyumu, Erzincan, 224–225.

Agara, İ. (2004). *Ahıska Türkleri (sürgünün 60. yılı anısına) insanlık dramı*. İzmir: Karaca Matbaası Yayınları.

Agara, İ. (2004). *İnsanlık dramı*. İzmir.

Akkiyeva, S. (2016). Turki Meshetintsı v KBR: Demografiçeskoye i Etnokulturnoye Razvitiye. Nalçik.

Badalov, Ç. (2004). Bütün yönleriyle Ahıska Türkleri. Çimkent.

Badalov, L. (2004). Meskhetian Turks: Deportation and struggle for return. Central Asia and the Caucasus, 6(30), 144–151.

Baddeley, J. F. (1908). The Russian conquest of the Caucasus. Longmans, Green and Co.

Bekadze, S. (2013). 1595 yılında Çıldır Eyaleti Ahıska Sancağı'nın Otskhe Nahiyesi.

Buntürk, S. (2007). Rus-Türk mücadelesinde Ahıska Türkleri (1. baskı).

Buntürk, S. (2019). Rus-Türk mücadelesinde Ahıska Türkleri. Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Çınar, İ. (2015). Atabek yurdu jeokültürel yaklaşım. İstanbul: IQ Yayınları.

Çınar, İ. (2018). Neden ve nasıl mankurtlaştırılıyoruz. İstanbul: IQ Kültür Sanat Yayıncılık.

Demirtaş, M. (2022). Ahıska Türklerinin Müslümanlaşma süreci ve Osmanlı kurumsallaşması. Türk Kültürü Araştırmaları Dergisi, 45(2), 123–145.

Devrisheva, F. (2010). Kazakistan'da Ahıska Türklerinin sosyal-kültürel yapılarındaki değişmeler (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi.

Devrisheva, K. (2019). Ahıska Türklerinin bitmeyen göçü. Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi, 45, 333–352.

Dinç, T. (2015). Ahıska Türkleri (1800–1921) (Doktora tezi). Fırat Üniversitesi.

Durmaz, B. (2015). Sürgün edilmiş topluluklarda etnik sınırlar ve kimlik: Türkiye'de ve ABD'de yaşayan Ahıska Türklerinin karşılaştırmalı analizi (Yayınlanmamış doktora tezi). Ege Üniversitesi.

Faigov, O. (2015). Ahıskalı Türklerin Türk basınında sunum biçimi: 1944 Ahıska sürgünü, 1989 Fergana faciası, 2004 Krasnodar göçü ve 2010 Kırgızistan çatışması örnek olayları (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Faik, O. (2020). Ahıska Türklerinde din, kültür, kimlik ve iletişim.

Hacılı, A. (2014). Ahıskalı Türklerin medeniyeti. Uluslararası Ahıskalı Türklerin Hukuki ve Sosyal Sorunları Sempozyumu, Giresun, 467–470.

Hacılı, A., & Polatoğlu, A. (2001). Ahıska Türk folkloru. Ankara: AKMB Yayınları.

Halidov, İ. (2011). Ahıska Türklerinin uluslararası örgütler nezdindeki temasları (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi.

Hasanoğlu, İ. (2016). Ahıska Türkleri: Bitmeyen bir göç hikâyesi. Türk Dünyası İncelemeleri Dergisi, 16(1), 1–20.

Human Rights Watch (1991) 'Punished Peoples' of the Soviet Union: The Continuing Legacy of Stalin's Deportations. Human Rights Watch.

İnalcık, H. (1980). Osmanlı İmparatorluğu'nun kuruluşu ve İslamlaşma süreci.

Karcı, D., & Çetin, M. (2018). Kazakistan'daki Ahıska Türklerinin dil tercihleri ve kimliklerine etkileri. Kesit Akademi Dergisi, 4(13), 298–312.

Kariptaş, G. N. (2021). Dünden bugüne Ahıska Türkleri. Ahi Evran Akademi, 91–107.

Kariptaş, G. N. (2021). Uluslararası azınlık hakları bağlamında Ahıska Türklerinin durumu: Kazakistan, Kırgızistan, Azerbaycan örneği (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Ahi Evran Üniversitesi.

Kaya, A. (2012). Ahıska Türkleri: Tarihleri, kültürleri ve diaspora süreci. İstanbul: IQ Kültür Sanat Yayıncılık.

Keleş, E. (2020). Türkiye'deki Ahıskalı Türklerin sosyal ve kültürel yaşamları (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.

Kıprızlı, G. (2019). Victims of the Soviet policies: The case of the Ahiska Turks (1944–1968). Avrasya Etüdleri, 56(2), 95.

Kırzıoğlu, F. (1998). Osmanlıların Kafkas elleri fethi (1451–1590). Ankara: Türk Tarih Kurumu Yayınları.

Köksal, A. (2007). Bişkek'te yaşayan Ahiska Türklerinin folklorik değerleri ve oyun müzikleri (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi.

Köylü, M. (2014). Gurbetteki vatan Kırgızistan: Ahıskadan Ferganaya bir sürgün, soykırım hikayesi. Astana Yayınları.

Kurbankulova, Z. (2025). Ahıska Türklerinin zorunlu göç süreci ve kimlik koruma aidiyetleri (Yayınlanmamış yüksek lisans tezi). Bursa.

Kurt,H.,&Açıkgöz,M.A.(2017). MUTAD, 4(1), 107–127. https://doi.org/10.16985/MTAD.2017130408 (doi.org in Bing)

Lubin, N. (1984). Labour and nationality in Soviet Central Asia: An uneasy compromise. Princeton: Princeton University Press.

Magocsi, P. R. (2007). A history of Ukraine: The land and its people. Toronto: University of Toronto Press.

Memedli, G. (2018). Gürcistan'da Ahıska Türklerinin sürgün öncesi okullaşma faaliyetleri. İstanbul: Güneş Yayınları.

Naîmâ, M. Efendi. (1734). Tarih-i Naîmâ. İstanbul: Matbaa-i Âmire.

Öztürk, M. (2015). Ahıska Türkleri'nin Krasnodar'daki hukuki ve sosyal durumu. Türk Dünyası Araştırmaları Dergisi, 52–54.

Peçevi, İ. Efendi. (1866). Peçevi tarihi. İstanbul: Matbaa-i Âmire.

Sakallı, E., & Özcan, D. (2016). Amerika'da yaşayan Ahıska Türklerinin evlenme âdetleri üzerine. Millî Folklor, 28(109).

Sakızlı, N. P. (2023). Ahıska Türk kültüründe geleneksel başörtüsü Katha-Leçek. Uluslararası Ahıska Araştırmaları Dergisi, 3(1).

Sümer, F. (1992). Oğuzlar (Türkmenler).

Swietochowski, T. (1995). Russia and Azerbaijan: A borderland in transition. Columbia University Press.

Topal, C. (2008). The stability in the South Caucasus and the return problem of the Ahıska Turks to their homeland. Journal of Turkish Studies, 3(7), 619–631. https://doi.org/10

Zeyrek, Y. (2001). Ahıska Bölgesi ve Ahıska Türkleri. Ankara: Türk Kültürünü Araştırma Enstitüsü Yayınları.

THE RELIGION OF THE CITY: A HISTORICAL AND CONCEPTUAL ANALYSIS OF CITIES THAT TRANSFORM RELIGIONS AND RELIGIONS THAT TRANSFORM CITIES

ŞEHRİN DİNİ: DİNLERİ DÖNÜŞTÜREN ŞEHİRLER VE ŞEHİRLERİ DÖNÜŞTÜREN DİNLER ÜZERİNE TARİHSEL VE KAVRAMSAL BİR ANALİZ

Prof. Dr. Adnan Bülent BALOĞLU
Hacı Bayram Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Temel İslam Bilimleri Bölümü, Kelam Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0002-3938-1088

Tamer IŞIN
IMED Surgical LLC
ORCID ID: 0000-0002-3295-6651

ABSTRACT

Throughout history, cities have not merely been physical settlements where people live, but multilayered centers of civilization shaped jointly by political authority, law, culture, economy, and religious life. Although the relationship between city and religion has long been studied across disciplines such as urban sociology, sociology of religion, history, and theology, existing studies largely focus either on religion's impact on the city or on urbanization's impact on religious life. By contrast, a conceptual approach that holistically explains the mutual historical transformation between city and religion remains limited.

This study aims to analyze the process of mutual transformation between city and religion from the earliest urban civilizations to the digital age, and to propose a new theoretical framework explaining this relationship. The research adopts a historical-conceptual analysis method; Egypt, Babylon, Jerusalem, Athens, Rome, Constantinople, Medina, al-Andalus, Istanbul, the Modern City, and the Digital City are examined within a shared analytical model. This model consists of three main dimensions: (i) religion transforming the city, (ii) the city transforming religion, and (iii) the city's influence on other religious traditions.

The findings show that the relationship between city and religion is neither linear nor unidirectional, but constitutes a dynamic process of mutual transformation that shifts direction depending on civilizations, historical conditions, and technological change. The study further demonstrates that cities can influence not only their own religious traditions but also other religions at the institutional, intellectual, and societal levels. It argues that the direction of this transformation shifted significantly with modern urbanization, and that digitalization and algorithmic platforms are now initiating a new historical phase that redefines the concept of the city itself.

Building on these findings, the study proposes the City-Religion Historical Transformation Theory to explain the historical interaction between city and religion, offering a new interdisciplinary conceptual framework for urban sociology, sociology of religion, civilization studies, and digital society research.

Keywords: Religion of the City, Urban Sociology, Sociology of Religion, Digital City, City-Religion Historical Transformation Theory, Algorithmic City

ÖZET

Şehirler, tarih boyunca yalnızca insanların yaşadığı fiziksel yerleşim alanları değil, siyasal otoritenin, hukukun, kültürün, ekonominin ve dinî hayatın birlikte şekillendiği çok katmanlı medeniyet merkezleri olmuştur. Şehir ile din arasındaki ilişki şehir sosyolojisi, din sosyolojisi, tarih ve ilahiyat gibi farklı disiplinlerde uzun yıllardır incelenmesine rağmen, mevcut çalışmalar büyük ölçüde ya dinin şehir üzerindeki etkisine ya da şehirleşmenin dinî hayat üzerindeki etkisine odaklanmaktadır. Buna karşılık şehir ile din arasındaki karşılıklı tarihsel dönüşümü bütüncül biçimde açıklayan kavramsal bir yaklaşımın sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, ilk şehir medeniyetlerinden dijital çağa kadar şehir ile din arasındaki karşılıklı dönüşüm sürecini analiz etmeyi ve bu ilişkiyi açıklayan yeni bir kuramsal çerçeve önermeyi amaçlamaktadır.

Araştırmada tarihsel-kavramsal analiz yöntemi benimsenmiş; Mısır, Babil, Kudüs, Atina, Roma, Konstantinopolis, Medine, Endülüs, İstanbul, Modern Şehir ve Dijital Şehir örnekleri ortak bir analiz modeli çerçevesinde incelenmiştir. Analiz modeli; (i) dinin şehri dönüştürmesi, (ii) şehrin dini dönüştürmesi ve (iii) şehrin diğer dinî gelenekler üzerindeki etkisi olmak üzere üç temel boyuttan oluşmaktadır.
Araştırma bulguları, şehir ile din arasındaki ilişkinin doğrusal veya tek yönlü olmadığını; medeniyetlere, tarihsel şartlara ve teknolojik dönüşümlere bağlı olarak yön değiştiren dinamik bir karşılıklı dönüşüm süreci oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca şehirlerin yalnızca kendi dinî geleneklerini değil, farklı dinleri de kurumsal, düşünsel ve toplumsal düzeyde etkileyebildiği ortaya konulmaktadır. Çalışma, modern şehirleşme ile birlikte dönüşüm yönünün önemli ölçüde değiştiğini; dijitalleşme ve algoritmik platformların ise şehir kavramını yeniden tanımlayan yeni bir tarihsel evreyi başlattığını ileri sürmektedir.
Bu bulgulardan hareketle çalışma, şehir ile din arasındaki tarihsel etkileşimi açıklamak üzere Şehir–Din Tarihsel Dönüşüm Kuramı'nı önermekte ve şehir sosyolojisi, din sosyolojisi, medeniyet çalışmaları ile dijital toplum araştırmalarına disiplinlerarası yeni bir kavramsal çerçeve sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Şehrin Dini, Şehir Sosyolojisi, Din Sosyolojisi, Dijital Şehir, Şehir–Din Tarihsel Dönüşüm Kuramı, Algoritmik Şehir

INTRODUCTION

Cities are more than physical settlements where people live together. They are civilizational spaces jointly shaped by political authority, the economy, law, culture, collective memory, and religious life. Throughout history, religions have influenced the founding, architecture, law, social institutions, and daily life of cities, while cities have in turn served as environments where religious institutions developed, ideas were produced, different beliefs encountered one another, and religious life was reshaped according to new social conditions.

The relationship between city and religion has been addressed from various angles across different disciplines, including urban sociology, sociology of religion, history, and the history of religions. Weber's approach, which treats the city as an important historical form of social and institutional organization, continues to be discussed in contemporary urban studies, while Lefebvre's approach to the social production of space is being reexamined in contemporary urban research (Crowley & Ghertner, 2022). More recently, Rüpke (2020) has discussed the role of urban life in the formation of religious ideas, practices, and institutions from a historical perspective through the "urban religion" approach. This literature shows that the relationship between city and religion cannot be explained through a simple model in which religion merely influences the city, and that religious change and urban development mutually shape one another (Rüpke, 2024).

Religion tends to reinterpret and regulate the inconsistencies that arise within the urban order in terms of its own values and norms, while the city, in turn, repositions religious institutions and practices within its own functioning in response to changing social, economic, cultural, and political conditions. In this respect, the transformation between city and religion can also be evaluated through a continuous tendency of the individual, society, and authority to produce a new coherence between these two poles (Işın, 2026). This approach makes it possible to regard the city and religion not as opposing elements that eliminate one another, but as dynamic civilizational elements that continuously reshape the tensions and inconsistencies that arise between them.

What distinguishes this study is that it examines this mutual relationship within a broad historical comparison extending from Egypt to the digital age, and that it focuses in particular on two phenomena: the historical shift in the center of gravity of this transformation, and the capacity of a city to influence religious traditions beyond its own dominant religion. The historical influence of Babylon on Judaism, of al-Andalus on Jewish and Christian thought, and of Istanbul on Orthodox Christianity and Judaism constitute notable examples of this second dimension.

Accordingly, the central question of this study is as follows: in what forms has the mutual transformation between city and religion occurred throughout history, and how has the direction of this relationship changed in the modern and digital ages? In addressing this question, the city is treated not merely as the

physical space in which religion is practiced, but as an active civilizational actor participating in religious, legal, cultural, intellectual, and social transformations.

MATERIAL AND METHODOLOGY

This study adopts a historical-conceptual comparative analysis method. Egypt, Babylon, Jerusalem, Athens, Rome, Constantinople, Medina, al-Andalus, Istanbul, the modern city, and the digital city are examined as examples representing historical continuities and ruptures. These are treated not as equivalent administrative or geographic units, but as urban and civilizational contexts that make visible the different historical forms of the relationship between city and religion. A shared three-layered analytical model is used in the evaluation: (i) religion transforming the city, (ii) the city transforming religion, and (iii) the city's influence on other religious traditions. The common patterns, differentiations, and historical shifts in direction across the examples are compared, and the City-Religion Historical Transformation Theory is developed on the basis of the resulting findings.

THE HISTORICAL TRANSFORMATION OF THE CITY-RELIGION RELATIONSHIP

From the First Cities to the Religious and Institutional City

In the early examples of the mutual relationship between city and religion, religion appears as one of the constitutive elements of urban organization. In Pharaonic Egypt, political authority, cosmological order, temple economy, and social hierarchy were integrated within religious legitimacy. The role of the pharaoh in sustaining cosmic order and the assumption by temples of economic and administrative functions alongside worship show that religion shaped the urban order, while urbanization and the development of central bureaucracy made religious institutions more organized (Baines, 2014; Moeller, 2026).

In Babylon, the city-religion relationship reached a more complex level through law, written culture, and bureaucracy. While the relationship between the temple, government, and law brought the urban order together with religious legitimacy, the developed urban organization supported the recording and institutionalization of religious knowledge (Saputra et al., 2024). What makes Babylon more notable for this study is its influence on another religion. The Babylonian Exile in the sixth century BCE constituted one of the major historical ruptures in the development of Jewish identity, the tradition of sacred scripture, collective memory, and the experience of diaspora (Al-Rawahneh, 2025). Babylon is therefore an early example showing that an urban environment can influence not only its own religious order but also the historical development of a different religious tradition.

In Jerusalem, the relationship acquired a different character, as the city became a center not only of religious institutions but also of sacred space and collective memory. The fact that the city holds a central position with different meanings in the historical memory of Judaism, Christianity, and Islam shows that the same physical city can be reinterpreted by more than one religion. This demonstrates that the city's influence on religion can be symbolic and mnemonic, not only legal and institutional.

Athens, in turn, is a different example that makes visible the intellectual dimension of the city-religion relationship. While religion continued to be an important part of public life, the development of philosophical inquiry brought the traditional religious narratives of the period into confrontation with rational and moral debate. The trial and execution of Socrates make it difficult to interpret Athens as an ideal city in which unlimited freedom of thought prevailed over religion. The historical significance here lies rather in the encounter of religion, politics, and philosophy within the same urban setting and in their tense mutual transformation of one another. The reinterpretation of Athens' philosophical legacy in later centuries shows the influence of the intellectual heritage produced in the city on different religious traditions.

With Rome and Constantinople, the city became one of the more prominent actors of religious institutionalization. Rome's network of law, transport, administration, and communication provided a favorable institutional environment for the spread and organization of Christianity, while the change in the position of Christianity within the empire also transformed the urban fabric with new religious structures and institutions (McKitterick, 2023). Constantinople carried this process into a different political and theological context, becoming, through the patriarchate, the councils, and imperial-ecclesiastical relations, one of the principal centers in the institutional development of Eastern

Christianity and the Orthodox tradition (Jurík, 2021). Constantinople has also taken its place in history as an important turning point in the interaction between religion and state.

This historical line shows that religion strongly influenced cities from the earliest urban civilizations to late antiquity, but that cities also transformed religious institutions, memory, thought, and forms of authority. Mutual transformation is therefore not a new phenomenon that began with modern urbanization, but a process observable at varying intensities from the earliest periods of urban history onward.

The City and Religion as Producers of Civilization: Medina, al-Andalus, and Istanbul

Medina represents a historical stage that differs from the previous examples in that religion did not merely transform the existing urban order, but played a directly constitutive role in the formation of a new social and legal conception of the city. The structure that emerged after the Hijra brought worship, law, politics, education, social solidarity, and social relations together within the same urban organization (Abid & Bioud, 2020). The fact that the mosque became one of the centers of education, consultation, and public life beyond its function as a space of worship shows that religion jointly shaped the physical and institutional urban order. At the same time, Medina's structure, which accommodated different communities, also offers one of the early historical examples of the regulation of religious plurality within a shared political and legal environment (Embong et al., 2021).

The conception of the city that emerged in Medina evolved in al-Andalus, within a different geographic and cultural setting, into a more complex civilizational structure. While worship, education, trade, water infrastructure, and public services developed in centers such as Córdoba, Granada, Seville, and Toledo, these cities also became important centers of scientific and philosophical production. What distinguishes al-Andalus for the purposes of this study is that the effects of its urban production were not confined to Islamic thought. Translation activities across Arabic, Latin, Hebrew, and European languages played an important role in the circulation of knowledge in Europe, and Jewish thought also developed an intensive relationship with the Arabic-speaking Islamic intellectual milieu. The Andalusian environment in which Maimonides was formed is one notable example of this. Al-Andalus therefore shows that the mutual relationship between city and religion can evolve into a civilization-producing environment that also includes contact between different religious and intellectual traditions (Martínez Delgado et al., 2023).

In Istanbul, this accumulated experience evolved into a more institutional and enduring form of urban organization at the imperial scale. Endowments, complexes, madrasas, neighborhoods, and legal and social welfare institutions formed urban mechanisms that linked religious, social, and economic life to one another. The city was not merely the physical space of Islamic institutions, but also became one of the centers where scholarly and administrative institutionalization was produced (Zarinebaf, 2022).

Istanbul is also particularly important for the third analytical layer of this study. The continued presence of the Orthodox Patriarchate in the city after the conquest, together with the formation of strong Sephardic Jewish communities in Istanbul following their settlement in Ottoman territory from the late fifteenth century onward, allowed the city to retain its importance for the institutional and social histories of different religious traditions. The same city thus evolved into a multilayered civilizational center in which different religious and civilizational paradigms were produced in different periods, and in which Islam, Orthodox Christianity, and Judaism engaged in long-term interaction.

When Medina, al-Andalus, and Istanbul are considered together, it becomes clear that the shared characteristic of civilization-producing cities is not simply population, military power, or economic scale. The organization of education, law, social solidarity, the economy, religion, and public services into mutually complementary institutions makes visible the civilization-producing capacity of the mutual transformation between city and religion. For this reason, the study regards Medina as "the religion that founded the city," al-Andalus as "the city that produced civilization," and Istanbul as one of the institutionally most mature historical examples of classical Islamic urban civilization.

A Historical Rupture: The Rise of the Modern City

Modernization, accelerated by the Industrial Revolution, constituted a new historical stage in the city-religion relationship. Industrialization, capitalist production, the nation-state, individualization, and intensive urbanization transformed traditional neighborhood, family, and communal structures, bringing

religious life face to face with new social conditions. In the modern city, work patterns, transportation, consumption, speed, anonymity, and individualization increasingly began to shape daily life more strongly, and religious institutions and practices repositioned themselves according to these new conditions (Sağlam, 2022).

Modernization should not, however, be read as a necessary and linear withdrawal of religion from urban life. The modern city has also been the setting for processes such as secularization alongside religious pluralization, new forms of community, civil society organization, and the emergence of religion in new forms within the public sphere. What is at issue here, therefore, is not the disappearance of the city-religion relationship, but a shift in its center of gravity.

While the constitutive influence of religion on law, architecture, education, social solidarity, and public order was more visible in earlier periods, in the modern city economic, technological, and social urban dynamics began to transform religious institutions, communal relations, the perception of religion, and forms of individual religiosity more intensively. For this reason, the modern city is regarded, within the conceptual model of this study, as the historical rupture in which the type of "city that transforms religion" becomes prominent. This does not mean that religion has lost its influence on the modern city, but merely indicates a historical shift in the dominant direction of the mutual relationship.

The Digital and Algorithmic City: A New Stage of Transformation

The digital transformation of the twenty-first century opens to discussion not only the direction of the city-religion relationship, but also the boundaries of the concept of the city itself. The internet, mobile communication, social media, digital platforms, and artificial intelligence systems have made it possible for people to participate in shared communities, debates, and public spaces without being present in the same physical location. The physical city has not disappeared, but a hybrid social environment intertwined with digital space has emerged.

This change is also significant for religious life. Research on digital religion shows that online environments generate new forms of interaction concerning religious identity, community, ritual, authority, and religious practices. Access to religious knowledge, education, preaching, communal relations, and religious debate is no longer confined to physical institutions. Individuals living in different cities or countries can be part of the same online religious community and can be influenced by the same digital authorities. This transformation shows that the boundaries between physical and digital spaces are becoming increasingly blurred, and that a new environment of religious interaction is emerging in which the concepts of distance, space, and community are being reshaped (Siuda, 2021).

The rise of algorithmic platforms adds a new dimension to this transformation. Recommendation systems, which determine which content users encounter, play an indirect selective role in the visibility and circulation of religious knowledge. The fact that artificial intelligence systems have begun to respond to religious questions raises new research questions concerning knowledge, trust, and authority. Here, the "algorithmic city" is used not as a completed type of physical city, but as a conceptual proposition referring to the increasing mediation of urban interactions by platforms and algorithmic systems.

In the digital age, therefore, the central question is no longer only "How does the city transform religion?" A further question also arises: "To what extent will the urban environment in which religious life takes place continue to be physical?" For this reason, the digital and algorithmic city is regarded in this study as "the historical stage in which the city is redefined," and it is considered a problem requiring further research to determine not only in which physical cities, but also in which digital ecosystems, the religious life of the future will take shape.

FINDINGS

The historical-conceptual comparison yields four principal findings. First, the relationship between city and religion is bidirectional. Religion has shaped the law, architecture, education, economy, and social order of cities at varying intensities, while the city has, in turn, reshaped religious institutions, thought, authority, memory, and practices. Explaining this relationship solely as "the influence of religion on the city" or "the influence of the city on religion" is therefore insufficient to encompass the full range of historical examples.

Second, cities can influence not only their own dominant religious traditions but also other religious traditions. The influence of Babylon on Judaism, the production of shared yet differentiated memories concerning Jerusalem across the three Abrahamic religions, the influence of al-Andalus on Jewish and Christian thought, and the contributions of Istanbul to Orthodox Christianity and Judaism, both physically and intellectually, show that cities constitute active environments for historical interaction between religions.

Third, the center of gravity of the mutual relationship has shifted throughout history. In the earliest urban civilizations, religion was one of the strong constitutive elements of urban organization, whereas in Medina, al-Andalus, and Istanbul, the mutual relationship between city and religion attained a civilization-producing institutional structure. Following modernization, the transformative power of economic, technological, and social urban dynamics over religious life became more pronounced.

Fourth, digitalization points to a new stage. While the modern city transforms religious life, the digital age also changes the boundaries and shape of the urban environment in which religious life takes place. New environments of interaction, alongside physical space, are emerging through digital communities, platforms, algorithms, and artificial intelligence. Taken together, these findings lead to the conclusion that the city-religion relationship is not fixed, but constitutes a dynamic process of transformation that changes direction, scope, and mechanism throughout history.

DISCUSSION

The significance of these findings does not lie merely in demonstrating the existence of a mutual relationship between city and religion. Indeed, the contemporary "urban religion" approach already emphasizes that the relationship between urban conditions and religious change is a mutual and constitutive process. The contribution proposed by this study is to address this mutual relationship within a longer historical comparison, evaluating together, within a single conceptual model, the shift in the dominant direction of transformation, the influence of cities on different religions, and the redefinition of the urban environment in the digital age (Rüpke, 2024).

The workings of this mutual transformation acquire a different conceptual dimension when considered together with the perspective of the consistency paradox. City and religion are not two poles that are entirely passive or entirely determining in relation to one another. Each, in terms of its own normative and institutional order, reinterprets the inconsistencies it encounters in the other and seeks to transform them into a more coherent structure within itself. In this respect, historical transformation can be read not merely as one element changing the other, but also as the repeated recoherencing, in different periods, of the tensions among city, religion, the individual, society, and authority. This perspective contributes to explaining why the mutuality in the city-religion relationship is not static, but a continuously reproduced process (Işın, 2026).

To this end, the study proposes the City-Religion Historical Transformation Theory. The central proposition of the theory is that the relationship between city and religion is not fixed, linear, or unidirectional, but is continuously reproduced throughout history in relation to political structure, economic system, knowledge production, cultural interaction, and technological development. In this approach, the city is regarded not merely as a physical settlement, but as a civilizational system in which law, the economy, education, culture, politics, collective memory, and religious life interact. Religion, in turn, is not merely a set of individual beliefs, but a dynamic civilizational element capable of transforming urban organization and of being reshaped, institutionally, intellectually, and socially, by the city.

The theory rests on three principal mechanisms. The first mechanism is religion transforming the city. The sacred political order in Egypt, the sacred-space-centered urban identity of Jerusalem, the social and legal structuring of Medina, and the organization of endowments, complexes, and neighborhoods in Istanbul represent different historical manifestations of this mechanism. The second mechanism is the city transforming religion. The influence of the Babylonian exilic environment on Jewish identity, the organization of Christianity in Rome, the institutional development of Eastern Christianity and the Orthodox tradition in Constantinople, and the shaping of religious life according to new social conditions in the modern city are examples of this mechanism.

The third mechanism is the city transforming other religious traditions. The relationships of Babylon with Judaism, of Jerusalem with the three Abrahamic religions, of al-Andalus with Jewish and Christian thought, and of Istanbul with Orthodoxy and Judaism are examples in which this mechanism achieves historical visibility.

The historical weight of these three mechanisms is not the same. In accordance with the comparative results of the study, the process can be read, as an ideal type, in four stages: (i) the period in which religion is a strong constitutive element of urban order, (ii) the period in which the mutual interaction between city and religion evolves into civilization-producing institutional structures, (iii) the period in which, with the modern city, the center of gravity of transformation shifts in favor of urban dynamics, and (iv) the period in which, in the digital age, the urban environment expands beyond physical space. These stages are not linear phases with fixed chronological boundaries, but analytical categories that make visible the dominant directions of mechanisms that can coexist in different periods.

Figure 1. City-Religion Historical Transformation Theory: Conceptual Model

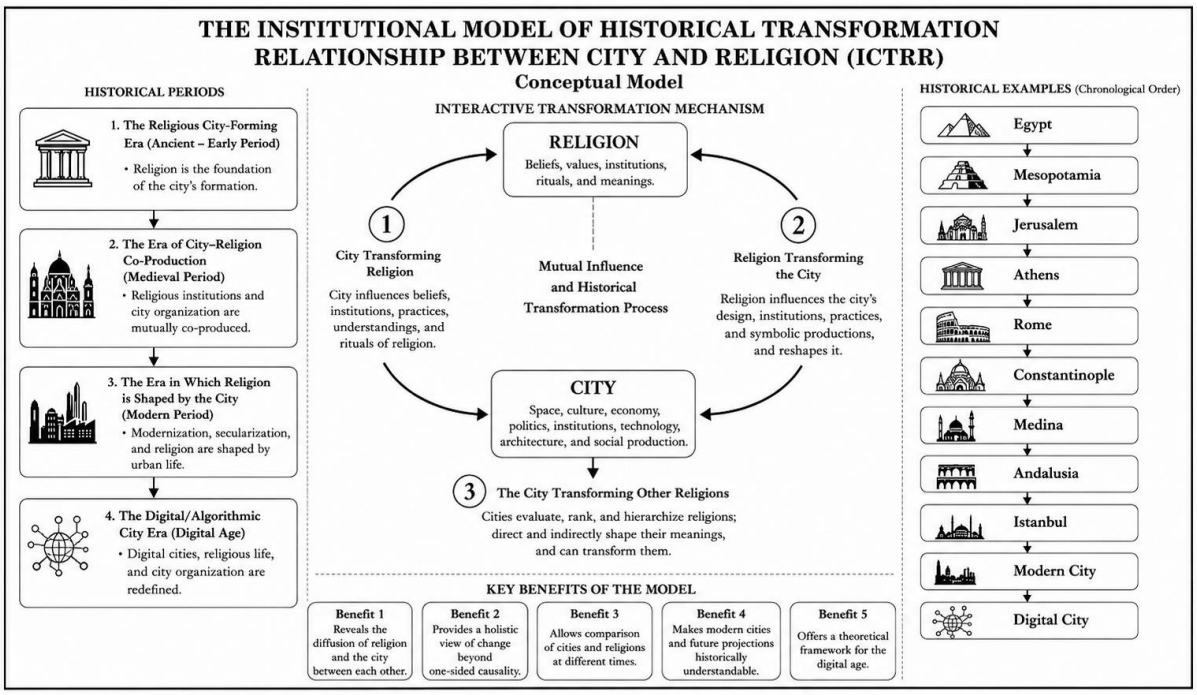


Figure 1. Conceptual Model of The Institutional Model of Historical Transformation Relationship Between City and Religion (ICTRR).
This model explains the historical transformation process of city and religion through three basic mechanisms: (1) the city transforming religion, (2) religion transforming the city, and (3) the city transforming other religions. The historical trajectory of this interaction and its results change each other in every period. The right axis shows a chronological flow of city examples, and the benefits of the model are presented at the bottom.

Source: The authors

The theoretical model summarized in Figure 1 shows the mutual but variably weighted structure of the historical relationship between city and religion. The model addresses the three mechanisms of transformation together with their historical shifts in direction, situating the rupture that emerges in the modern city and the redefinition of the urban environment in the digital age within the same historical continuity.

The proposed contribution of the theory is not to be the first to advance the notion of mutuality between city and religion. Rather, the study aims to extend the existing discussion of mutuality in three directions: first, by comparing different civilizations and periods within a shared three-layered analytical model; second, by making the city's influence on religious traditions beyond its own dominant religion visible as an independent mechanism of transformation; and third, by explaining the shift in the historical center of gravity of the relationship together with modern and digital transformation.

For this reason, the City-Religion Historical Transformation Theory is proposed as a conceptual framework that can be tested at the intersection of urban sociology, sociology of religion, the history of religions, urban history, and civilization studies.

CONCLUSION

This study demonstrates that the relationship between city and religion has not been unidirectional throughout history, but constitutes a mutual, multilayered process of transformation whose center of gravity shifts according to historical conditions. The comparative line extending from Egypt to Babylon, Jerusalem, Athens, Rome, and Constantinople, from Medina to al-Andalus and Istanbul, and from there to the modern and digital city, shows that cities are not merely passive spaces shaped by religions, but active civilizational environments that influence religious institutions, thought, social life, and the relationships among different religious traditions.

On the basis of this historical pattern, the proposed City-Religion Historical Transformation Theory evaluates the three mechanisms of the relationship together: religion transforming the city, the city transforming religion, and the city transforming other religious traditions. The modern city represents the historical shift in the center of gravity of this mutual relationship, while the digital and algorithmic city represents the new stage in which urban interactions expand beyond physical space.

In this context, "the religion of the city" is not a theological classification denoting which religion a city belongs to or its degree of sanctity. The concept is an analytical framework aimed at explaining how a city is transformed by religion, how it influences religion and other religious traditions, and which forms of civilization this mutual relationship produces.

The fact that the study is conducted over a broad historical time span and a selected set of examples also constitutes the principal limitation of the proposed model. The City-Religion Historical Transformation Theory should therefore be regarded not as a completed and universally validated explanatory model, but as a proposed theory that needs to be tested through comparative historical and empirical research on different cities, religious traditions, and periods. In particular, the influence of contemporary metropolises and of digital and algorithmic environments on religious authority, community, identity, and practices is important for future research.

In conclusion, in the past religions built cities and cities transformed religions, while today the digital age has begun to redefine both the concept of the city and religious life together. Understanding the cities of the future therefore requires rethinking not only the future of cities, but also the future of religions and civilizations. Perhaps this rethinking, by drawing on the way religion once shaped the interaction between cities and religions in the past, will also shed light on which religion's influence will shape the transformation of digital cities.

Ultimately, the critical question to be posed is this: what is the religion of the new city, and how will it act upon existing religions and civilizations? This question does not merely close the discussion carried out in this study. It also opens a new field of inquiry for future research on the city and religion.

REFERENCES

Abid, H., & Bioud, M. A. (2020). Citizenship in the classical Islamic political thought according to the Charter of Medina. *DINIKA: Academic Journal of Islamic Studies, 5*(1), 115–134. https://doi.org/10.22515/dinika.v5i1.2762

Al-Rawahneh, M. R. (2025). Nebuchadnezzar II and the Jews: A critical reassessment of archaeological, historical, and religious narratives. *Journal of Archaeological Studies, 17*(2), 145–[sayfa aralığı]. https://doi.org/10.22059/jarcs.2025.394675.143348

Baines, J. (2014). Ancient Egyptian kingship. *Annuaire de l'École pratique des hautes études (EPHE), Section des sciences religieuses, 121*, 19–30.

Crowley, T., & Ghertner, D. A. (2022). Itinerant urbanization: On circles, fractals and the critique of segmented space. *Environment and Planning D: Society and Space, 40*(4), 646–663. https://doi.org/10.1177/02637758221108405

Embong, Z., Muslim, N., Musa, N. Y., Mohamed, A. F., & Jusoh, L. M. (2021). Principles of social integration in the Constitution of Medina. *Academic Journal of Interdisciplinary Studies, 10*(1), 382–390. https://doi.org/10.36941/ajis-2021-0032

Işın, T. (2026). Tahafut theory: A thought of inconsistency on the consistency of inconsistency. Amazon Kindle Direct Publishing. ISBN 979-8189137181.

Jurík, M. (2021). Gothic Christians in Constantinople in 4th and 5th century: The Nicene Christians and Christianization. *Graeco-Latina Brunensia, 26*(2), 99–112. https://doi.org/10.5817/GLB2021-2-7

Martínez Delgado, J., Montaner Frutos, A., & Ashur, A. (2023). Un nuevo autógrafo de Maimónides: Un glosario judeo-árabe con glosas romances (T-S NS 163.57). *Sefarad, 83*(1), 7–77. https://doi.org/10.3989/sefarad.023-001

McKitterick, R. (2023). Exploring transformations of the Roman world. *Zeitschrift für Antikes Christentum/Journal of Ancient Christianity, 27*(2), 339–350. https://doi.org/10.1515/zac-2023-0018

Moeller, N. (2026). *Urban life and form in ancient Egypt*. Cambridge University Press.

Rüpke, J. (2020). *Urban religion: A historical approach to urban growth and religious change*. De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110634426

Rüpke, J. (2024). Toward a mutual change of religion and urban space: A comparative perspective. *Wawasan: Jurnal Ilmiah Agama dan Sosial Budaya, 8*(1), 1–18. https://doi.org/10.15575/jw.v8i1.20139

Sağlam, M. T. (2022). Kentlileşme ve dini-kültürel değişme bağlamında bazı dini pratikler. *Kocatepe İslami İlimler Dergisi, 5*(2), 318–339. https://doi.org/10.52637/kiid.1161040

Saputra, B., Bene, O., & Putra, D. A. (2024). Analyzing the Code of Hammurabi: Exploring ancient legal principles and their relevance in modern law. *NEGREI: Academic Journal of Law and Governance, 4*(1), 1–34. https://doi.org/10.29240/negrei.v4i1.9965

Siuda, P. (2021). Mapping digital religion: Exploring the need for new typologies. *Religions, 12*(6), 373. https://doi.org/10.3390/rel12060373

Zarinebaf, F. (2022). Religious practice and social services in an Ottoman Sufi waqf foundation. *Journal of Sufi Studies, 11*(2), 181–207. https://doi.org/10.1163/22105956-bja10023

DİJİTAL ZUHUR: TASAVVUFÎ TECELLİ KAVRAMI ÜZERİNDEN VERİ REJİMLERİNDE GÖRÜNÜRLÜK VE HAKİKATİN YENİDEN KURULUŞU

DIGITAL MANIFESTATION: RECONSTRUCTING VISIBILITY AND TRUTH THROUGH SUFI THEOPHANY IN DATA REGIMES

Asst. Prof. Dr. Ferhat Atik
Girne American University, Communication Faculty, Communication And Media Management
ORCID: 0009-0008-9089-9051

Özet
Bu makale, tasavvufî düşüncede merkezi bir yere sahip olan tecelli kavramını dijital çağın veri ve görünürlük rejimleri bağlamında yeniden değerlendirmektedir. Geleneksel anlamda tecelli, ilahi hakikatin insan idrakinde görünür hale gelişi olarak tanımlanırken, dijital çağda bu görünürlük algoritmalar, veri akışları ve platform yapıları aracılığıyla yeniden şekillenmektedir. Çalışma, sosyal medya ve dijital platformların yalnızca iletişim alanları olmadığını; aynı zamanda hakikati filtreleyen, seçen ve görünür kılan epistemolojik yapılar olarak işlev gördüğünü ileri sürmektedir. Bu bağlamda makalede "dijital zuhur" kavramı önerilmekte ve dijital ortamda görünür hale gelen içeriklerin modern hakikat algısını nasıl etkilediği incelenmektedir. Tasavvuftaki zahir–batın ayrımı üzerinden dijital yüzey ile derin anlam arasındaki gerilim analiz edilmekte; dijital görünürlüğün çoğu zaman hakikatin kendisiyle eşitlenmesinin ontolojik ve epistemolojik sorunlar doğurduğu savunulmaktadır. Ayrıca algoritmaların bireyin dikkatini yönlendiren görünmez yapılar olarak yeni bir "perde" oluşturduğu belirtilmektedir. Çalışma, dijital çağda hakikatin artık mutlak, değişmez ve tekil bir kategori olmaktan çıkarak, görünürlük rejimleri içinde sürekli yeniden inşa edilen dinamik bir süreç haline geldiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak makale, tasavvufî düşüncenin dijital kültürü anlamlandırmada güçlü bir eleştirel perspektif sunduğunu ve modern insanın hakikat ile kurduğu ilişkinin yeniden düşünülmesi gerektiğini savunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: tecelli, dijital görünürlük, hakikat, veri rejimleri, tasavvuf, algoritma

Abstract
This article reinterprets the concept of tajalli, which occupies a central place in Sufi thought, within the context of the data and visibility regimes of the digital age. Traditionally, tajalli refers to the manifestation of divine truth within human perception; however, in the contemporary digital era, this manifestation is reshaped through algorithms, data flows, and platform structures. The study argues that social media and digital platforms are not merely spaces of communication, but also epistemological systems that filter, select, and render truth visible. In this framework, the article introduces the concept of "digital manifestation" and examines how digitally visible content transforms contemporary perceptions of truth. Through the Sufi distinction between zahir (outer appearance) and batin (inner meaning), the tension between digital surfaces and deeper meanings is analyzed. The study contends that equating visibility with truth creates significant ontological and epistemological problems. Furthermore, algorithms are discussed as invisible structures that direct human attention and function as new forms of veiling in the digital sphere. The article maintains that, in the digital age, truth can no longer be understood as a fixed, absolute, and singular category; instead, it has become a dynamic process continuously reconstructed within regimes of visibility. In conclusion, the study demonstrates that Sufi thought offers a powerful critical framework for understanding digital culture and argues that humanity's relationship with truth must be reconsidered under contemporary technological conditions.
Keywords: theophany, digital visibility, truth, data regimes, Sufism, algorithms

GÖSTERGEBİLİM BAĞLAMINDA "BARBİE'NİN RÜYA EVİ" ÖRNEĞİ: ÇOCUKLARA YÖNELİK MEDYADA GÜZELLİK ALGISI

THE EXAMPLE OF "BARBIE'S DREAMHOUSE" IN THE CONTEXT OF SEMIOTICS: THE PERCEPTION OF BEAUTY IN MEDIA AIMED AT CHILDREN

Prof. Dr. Onur ER
Duzce University, Faculty of Education, Department of Turkish and Social Sciences Education, Turkish Education Division, Duzce, Turkey
ORCİD: ID/ 0000-0002-9025-4711

MSc Candidate Betül Sude BATMAN
Duzce University, Faculty of Education, Department of Turkish and Social Sciences Education, Turkish Education Division, Duzce, Turkey,
ORCİD: ID/ 0009-0005-2615-1573

Özet
Bu çalışmada, Mattel tarafından 2012 yılında yayımlanmaya başlayan ve günümüzde Netflix platformunda 4 sezon 75 bölüm olarak yer alan "Barbie'nin Rüya Evi (Barbie: Life in the Dreamhouse)" adlı çizgi dizi incelenmiştir. Araştırma, çocuklara yönelik medyada inşa edilen güzellik algısını göstergebilimsel yöntemle çözümlemeyi amaçlamaktadır. Nitel araştırma yaklaşımının benimsendiği çalışmada, veri toplama yöntemi olarak doküman analizinden yararlanılmıştır. Çözümleme sürecinde, Saussure'ün gösteren-gösterilen kavramları ile Barthes'ın düz anlam-yan anlam kuramı temel çerçeve olarak kullanılmıştır. İnceleme; fiziksel görünüm, renk ve mekân kullanımı, moda ve tüketim kültürü, ideal kadın temsili ile meslek seçimleri olmak üzere beş temel başlık altında yapılandırılmıştır. Elde edilen veriler tablo halinde göstergebilimsel olarak analiz edilmiştir. Araştırma bulguları, "Barbie'nin Rüya Evi" çizgi dizisinin görünür katmanda eğlenceli ve kadın figürünü güçlendirici bir yapım imajı çizdiğini ortaya koymaktadır. Buna karşın, derin yapıda toplumda kabul gören ideal güzellik standartlarını, toplumsal cinsiyet rollerini ve tüketim kültürünü örtük bir biçimde yeniden ürettiği tespit edilmiştir. Dizide Barbie'nin tek tip beden güzelliği evrensel bir norm olarak kodlanmakta; yoğun pembe renk ve lüks ev mekânı kullanımı aracılığıyla kadın algısı belirli bir görsel kalıpla sınırlandırılmaktadır. Ayrıca, kıyafet ve aksesuar bolluğu üzerinden çocuklara tüketim kültürü aşılanmakta, meslekler ise karakterlerin yetkinliklerinden ziyade giysileri üzerinden tanımlanmaktadır. Sonuç olarak, erken yaşlardan itibaren kazandırılacak eleştirel bir medya okuryazarlığı perspektifinin, çocukların bu tür örtük ideolojik mesajları fark edebilmeleri ve sorgulayabilmeleri açısından büyük önem taşıdığı vurgulanmaktadır.
Anahtar kelimeler: Barbie, Güzellik algısı, Göstergebilim, Toplumsal cinsiyet temsili, Tüketim kültürü

Abstract
In this study, the animated television series "Barbie: Life in the Dreamhouse," which commenced airing by Mattel in 2012 and is currently accessible on the Netflix platform as four seasons and seventy-five episodes, was examined. The research objective is to analyze the perception of beauty constructed within the media for children using the semiotic method. Employing a qualitative research approach, document analysis was utilized as the data collection method. During the analysis process, Saussure's concepts of show and signified, as well as Barthes' theory of the signifier and the signified, served as the foundational framework. The review is structured under five fundamental headings: physical appearance, utilization of color and space, fashion and consumer culture, ideal female representation, and career choices. The data obtained were analyzed semiotically in tabular form. Research findings indicate that the series "Barbie's Dream House" presents a production image that is visually appealing and reinforces the female figure. Conversely, it has been determined that it implicitly reproduces the ideal beauty standards, traditional gender roles, and consumer culture prevalent in society at a deeper level. In the series, Barbie's uniform body beauty is coded as a universal norm; through the use of intense pink color and luxurious home space, femininity is constrained by a specific visual pattern. Furthermore, a consumer culture is instilled in children through the abundance of clothing and accessories, and professions are defined through the attire of the characters rather than their competencies.

Consequently, it is emphasized that a critical media literacy perspective should be acquired from an early age to enable children to discern and question such implicit ideological messages.
Keywords: Barbie, Beauty perception, Semiotics, Gender representation, Consumer culture

DİJİTAL HABER TÜKETİMİNDE DUYGUSAL AŞINMA: FELAKET, SAVAŞ VE KRİZ GÖRÜNTÜLERİ KARŞISINDA DUYARSIZLAŞMA

AFFECTIVE EROSION IN DIGITAL NEWS CONSUMPTION: DESENSITIZATION TO IMAGES OF

Asst. Prof. Dr. Ferhat Atik
Girne American University, Communication Faculty, Communication And Media Management
ORCID: 0009-0008-9089-9051

Özet
Bu bildiri, dijital haber tüketiminde felaket, savaş ve kriz görüntülerine sürekli maruz kalmanın duygusal aşınma ve duyarsızlaşma üzerindeki etkilerini iletişim bilimi perspektifinden incelemektedir. Çalışmanın temel problemi, çağdaş medya ekosistemlerinde bireyin yalnızca mesaj alan ya da mesaj üreten bir aktör olarak değil, sürekli uyarılan, ölçülen, yönlendirilen ve duygusal olarak biçimlendirilen kırılgan bir özne olarak konumlanmasıdır. Bu çerçevede çalışma, haber psikolojisi, görsel travma, duyarsızlaşma ve dijital medya tüketimi literatürleri arasında disiplinlerarası bir bağ kurarak konuyu yalnızca teknik medya kullanımı düzeyinde değil, psikolojik, etik ve kültürel sonuçları bakımından ele almaktadır. Yöntem bakımından kuramsal değerlendirme ve medya etkileri odaklı kavramsal analiz yöntemi benimsenmiştir. Bildiri, önce kavramın kuramsal sınırlarını belirlemekte, ardından bu kavramın dijital medya pratikleri, gündelik iletişim biçimleri ve toplumsal anlam üretimi içinde nasıl görünür hale geldiğini tartışmaktadır. Analiz, iletişim süreçlerinin nötr ve araçsal yapılar olmadığı; aksine öznenin dikkatini, duygusunu, hafızasını ve ilişki kurma biçimini dönüştüren aktif anlam sistemleri olduğu varsayımına dayanmaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, tartışılan olguyu tekil bir medya davranışı olarak değil, günümüz iletişim kültürünün daha geniş bir semptomu olarak kavramsallaştırmasıdır. Bu yönüyle bildiri, iletişim süreçlerinde görünür olan davranışların arkasındaki duygu, dikkat, güç ve anlam ilişkilerini birlikte okumayı önermekte; böylece güncel medya tartışmalarına daha bütüncül bir teorik zemin kazandırmayı hedeflemektedir. Bu bağlamda bildirinin temel savı şudur: sürekli kriz görüntüsü tüketimi, izleyicide bilinçlenme kadar tükenme de yaratır; bu durum acıya verilen etik tepkiyi zayıflatır ve felaketi gündelik medya akışının sıradan bir parçasına dönüştürür. Bu nedenle bildiri, kuramsal tartışmanın pratik iletişim etiğiyle birlikte düşünülmesi gerektiğini vurgular. Sonuç olarak çalışma, çağdaş iletişim ortamlarında daha bilinçli, etik, yavaş, seçici ve insan merkezli bir iletişim anlayışının geliştirilmesi gerektiğini savunmaktadır.
Anahtar kelimeler: duygusal aşınma, dijital haber, duyarsızlaşma, felaket görüntüleri, savaş, kriz

Abstract
This paper examines the effects of constant exposure to images of disaster, war, and crisis in digital news consumption on affective erosion and desensitization from the perspective of communication studies. The central problem of the study is that, within contemporary media ecosystems, the individual is no longer positioned merely as a receiver or producer of messages, but as a fragile subject who is continuously stimulated, measured, directed, and affectively shaped. Within this framework, the paper establishes an interdisciplinary connection between news psychology, visual trauma, desensitization, and digital media consumption and approaches the issue not only as a matter of technical media use, but also in terms of its psychological, ethical, and cultural consequences. Methodologically, the study adopts theoretical evaluation and media effects-oriented conceptual analysis. The paper first clarifies the conceptual boundaries of the topic and then discusses how the phenomenon becomes visible within digital media practices, everyday communication patterns, and the social production of meaning. The analysis is based on the assumption that communication processes are neither neutral nor merely instrumental structures; rather, they are active systems of meaning that transform attention, emotion, memory, and modes of relationality. The original contribution of the paper lies in conceptualizing the phenomenon not as an isolated media behavior, but as a broader symptom of contemporary communication culture. In this sense, the paper proposes reading visible communicative behaviors together with the underlying relations of affect, attention, power, and meaning; it thus aims to provide a more integrated theoretical ground for current debates in media and communication studies.

In this respect, the main argument of the paper is that continuous consumption of crisis imagery produces not only awareness but also exhaustion; it weakens ethical responses to suffering and turns disaster into an ordinary component of everyday media flow. In conclusion, the study argues for a more conscious, ethical, and human-centered understanding of communication today.
Keywords: affective erosion, digital news, desensitization, disaster images, war, crisis

WHOSE STORY, WHOSE BODY? NARRATIVE PERSONHOOD AND THE ERASURE OF VICTIMS IN SERIAL KILLER CINEMA

KİMİN HİKÂYESİ, KİMİN CESEDİ? SERİ KATİL SİNEMASINDA ANLATISAL ÖZNELİK VE KURBANIN SİLİNMESİ

Assoc. Prof. Dr. Hacer AKER
Department of Radio, Television and Cinema, Faculty of Communication, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0116-6462

Dr. Salih KESKİN
Department of Radio, Television and Cinema, Faculty of Communication, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6545-7835

ABSTRACT
Serial killer cinema frequently grants the offender psychological history, childhood, and everyday life while reducing victims to a moment of death, a body, or an investigative clue. This study examines how narrative personhood and empathy are distributed among killers, victims, survivors, investigators, and victims' relatives in contemporary films based on real serial murder cases. The purposively selected corpus comprises ten films released between 2002 and 2023: Dahmer, Monster, Zodiac, The Frozen Ground, My Friend Dahmer, Extremely Wicked, Shockingly Evil and Vile, The Golden Glove, Lost Girls, Holy Spider, and Woman of the Hour. A comparative qualitative film analysis considers focalisation, naming, backstory, point of view, capacity for speech and action, the visualisation of death, posthumous mourning, the humanisation of the killer, and the visibility of institutional responsibility. The theoretical framework brings scholarship on narrative empathy into conversation with Judith Butler's account of grievability and Miranda Fricker's concept of epistemic injustice. Preliminary analysis indicates three narrative regimes: perpetrator-centred narratives that give the killer biographical depth while anonymising victims; investigative narratives that decentre the killer but transfer subjecthood to a detective or journalist rather than to victims; and reparative counter-narratives that restore victims' names, everyday lives, testimony, resistance, and the mourning that follows their deaths. The comparison suggests that removing the killer from the narrative centre does not in itself restore victims as subjects. Ethical reorientation occurs only when narrative knowledge, speaking rights, agency, and memorability are redistributed. To conceptualise this unequal allocation of narrative resources, the study proposes cinematic inequality of personhood. The concept offers a framework for evaluating not merely whether screen violence is shown, but whose life is made knowable and whose death is rendered narratively consequential.
Keywords: serial killer cinema; narrative personhood; narrative empathy; victim representation; epistemic injustice; grievability

ÖZET
Seri katil sineması çoğu kez suçlunun psikolojisini, çocukluğunu ve gündelik hayatını ayrıntılandırırken kurbanları ölüm anına, cesede ya da soruşturma bulgusuna indirger. Bu çalışma, gerçek seri katil vakalarından hareketle üretilen çağdaş filmlerde anlatısal öznelik ve empatinin katil, kurban, hayatta kalan, araştırmacı ve kurban yakınları arasında nasıl dağıtıldığını incelemektedir. Amaçlı olarak seçilen örneklem, 2002-2023 yılları arasında gösterime giren Dahmer, Monster, Zodiac, The Frozen Ground, My Friend Dahmer, Extremely Wicked, Shockingly Evil and Vile, The Golden Glove, Lost Girls, Holy Spider ve Woman of the Hour filmlerinden oluşmaktadır. Çalışmada karşılaştırmalı nitel film çözümlemesi kullanılmakta; anlatısal odaklanma, adlandırılma, geçmiş öyküsü, bakış açısı, söz ve eylem kapasitesi, ölümün görselleştirilmesi, ölüm sonrası yas, katilin insanlaştırılması ve kurumsal sorumluluğun görünürlüğü incelenmektedir. Kuramsal çerçeve, anlatısal empatiyi Judith Butler'ın yas tutulabilirlik yaklaşımı ve Miranda Fricker'ın epistemik adaletsizlik kavramıyla ilişkilendirmektedir.

Ön çözümleme üç anlatısal rejime işaret etmektedir: katile biyografik derinlik kazandırılırken kurbanı anonimleştiren fail-merkezli anlatı; katili geri plana çekmesine rağmen öznel konumu kurban yerine dedektif ya da gazeteciye aktaran soruşturma anlatısı; kurbanın adını, gündelik hayatını, tanıklığını, direnişini ve ardından kalan yası görünür kılan onarıcı karşı-anlatı. Bulgular, katilin merkezden çıkarılmasının tek başına kurbanı özneleştirmeye yetmediğini; etik dönüşümün ancak anlatısal bilginin, söz hakkının ve hatırlanabilirliğin yeniden dağıtılmasıyla mümkün olduğunu göstermektedir. Çalışma bu eşitsiz dağılımı açıklamak üzere sinematik öznelik eşitsizliği kavramını önermektedir.
Anahtar Kelimeler: seri katil sineması; anlatısal öznelik; anlatısal empati; kurban temsili; epistemik adaletsizlik; yas tutulabilirlik

GİRİŞ

Seri katil anlatılarının kültürel çekim gücü, yalnızca işlenen suçların olağandışılığından kaynaklanmaz. Modern popüler kültür seri katili tanınabilir, adlandırılabilir ve tekrar tekrar anlatılabilir bir figüre dönüştürürken, aynı suçların kurbanları çoğu zaman isimleri, ilişkileri ve gündelik hayatları silinmiş birer kanıt nesnesine dönüşmektedir. Jenkins (1994), seri cinayetin yalnızca kriminolojik bir olgu değil, medya, hukuk ve siyaset tarafından toplumsal olarak kurulan bir problem olduğunu gösterirken; Seltzer (1998) seri katil figürünü çağdaş "yara kültürü"nün merkezi imgelerinden biri olarak tanımlar. Schmid (2005) ise Dahmer, Bundy ve benzeri isimlerin kitlesel kültürde neredeyse ünlüler gibi dolaşıma girmesinin, suçlunun yalnızca korkulan değil aynı zamanda tanınan, arşivlenen ve tüketilen bir persona haline geldiğini ileri sürer. Jarvis'in (2007) vurguladığı gibi sinema bu tüketim ekonomisinin en görünür alanlarından biridir. Bu koşullarda etik mesele yalnızca şiddetin ne kadar grafik gösterildiği değildir; anlatının kimin hayatını ayrıntılandırdığı ve kimin ölümünü başka birinin hikâyesi için işlevselleştirdiğidir.

Seri katil sinemasında bu eşitsizlik çoğunlukla anlatısal kaynakların dağılımında ortaya çıkar. Katilin çocukluğu, aile ilişkileri, yalnızlığı, arzuları, korkuları ve gündelik alışkanlıkları izleyiciye açılır; seyirci onun evine, zihnine ve hafızasına davet edilir. Kurban ise bazen yalnızca yanlış zamanda yanlış yerde bulunan bir beden, bazen dedektifin çözeceği bir ipucu, bazen de failin patolojisini kanıtlayan bir olay olarak görünür. Katilin insanlaştırılması kendi başına etik bir sorun değildir; sorun, insanlığın tek yönlü dağıtılmasıdır. Bir anlatı failin karmaşıklığını tanırken kurbanın karmaşıklığını ortadan kaldırıyorsa, izleyiciye yalnızca "katil neden öldürdü?" sorusunu bırakır ve "öldürülen kişi kimdi?" sorusunu anlatısal olarak önemsizleştirir.

Bu çalışma, gerçek seri katil vakalarından hareketle üretilen on filmde anlatısal öznelik ve empatinin nasıl dağıtıldığını incelemektedir: *Dahmer* (2002), *Monster* (2003), *Zodiac* (2007), *The Frozen Ground* (2013), *My Friend Dahmer* (2017), *Extremely Wicked, Shockingly Evil and Vile* (2019), *The Golden Glove* (2019), *Lost Girls* (2020), *Holy Spider* (2022) ve *Woman of the Hour* (2023/2024). Araştırmanın temel sorusu, bu filmlerin katil, kurban, hayatta kalan, araştırmacı ve kurban yakınları arasında anlatısal bilgi, söz hakkı, bakış açısı, eyleyicilik ve yas tutulabilirliği nasıl paylaştırdığıdır. Çalışma, bu dağılımdaki sistematik asimetriyi "sinematik öznelik eşitsizliği" olarak kavramsallaştırmaktadır. Kavram, ekranda kimin daha çok göründüğünden daha fazlasını ifade eder: kimin geçmişe, geleceğe, iç dünyaya, açıklama hakkına ve ölümden sonra hatırlanabilir bir yaşama sahip kılındığını sorgular.

KURAMSAL ÇERÇEVE: ANLATISAL EMPATİ, YAS TUTULABİLİRLİK VE EPİSTEMİK ADALETSİZLİK

Anlatısal empati, bir anlatının izleyiciyi belirli karakterlerin duygusal ve bilişsel dünyalarına yaklaştıran biçimsel tercihlerle ilişkilidir. Keen (2007), anlatıların empati üretebildiğini ancak empatinin otomatik olarak ahlaki veya prososyal bir sonuca yol açmadığını vurgular. Sinema açısından bu uyarı özellikle önemlidir; çünkü kamera yakınlığı, bakış açısı, performans, müzik, geri dönüşler ve karaktere ayrılan süre, seyircinin hangi yaşamı içeriden deneyimleyeceğini güçlü biçimde belirler. Smith'in (1995/2022) karakterle ilişki modelinde "tanıma, hizalanma ve bağlılık" birbirinden ayrılır: seyirci bir karakterin perspektifine yoğun biçimde hizalanabilir, onun hakkında geniş bilgiye sahip olabilir, ancak onu ahlaken onaylamak zorunda değildir. Plantinga (2009) da sinematik anlatıların duyguları rastlantısal değil, retorik biçimde örgütlediğini gösterir.

Dolayısıyla bir seri katil filmi izleyiciyi failin bakışına yerleştirdiğinde mesele, seyircinin katili sevip sevmediğinden önce, anlatının dünyayı kimin üzerinden bilinir hale getirdiğidir.
Judith Butler'ın yas tutulabilirlik yaklaşımı bu soruyu yaşamın toplumsal değerine bağlar. Butler'a (2004, 2009) göre bütün yaşamlar aynı ölçüde tanınabilir, korunmaya değer veya kaybı kamusal yas doğuracak yaşamlar olarak çerçevelenmez. Bazı ölümler isim, yüz, geçmiş ve yakınlık ilişkileriyle kamusal kayıp haline gelirken, bazıları sayı, kategori veya anonim beden olarak kalır. Seri katil sinemasında bu ayrım son derece somut bir anlatısal biçim kazanır. Katilin çocukluğunu gösteren on dakikalık bir geri dönüş, onun geçmişini açıklanabilir kılar; kurbanın adının hiç söylenmemesi ise onun yaşamını ölümünden önce de anlatı için önemsiz hale getirir. Yas tutulabilirlik bu nedenle yalnızca cenaze veya ağlama sahnelerinin varlığıyla ölçülemez. Bir ölümün anlatıda sonuç üretmesi, yakınlarının kaybının sürmesi, kurbanın yokluğunun bir boşluk olarak hissedilmesi ve kişinin ölümden önceki yaşamının geri çağrılması da yas tutulabilirliğin sinemasal göstergeleridir.
Miranda Fricker'ın (2007) epistemik adaletsizlik kavramı, öznelik eşitsizliğinin bilgi boyutunu açığa çıkarır. Tanıklık adaletsizliği, bir kişinin sözünün önyargı nedeniyle hak ettiği güvenilirliği alamaması; hermenötik adaletsizlik ise kişinin deneyimini anlamlandırmak için gerekli ortak yorum kaynaklarından yapısal olarak yoksun bırakılmasıdır. Gerçek suç anlatılarında kurbanların özellikle kadın, seks işçisi, yoksul, göçmen ya da toplumsal olarak damgalanmış kişiler olduğu durumlarda, bu epistemik hiyerarşi soruşturmanın kendisine de yerleşebilir. *Lost Girls* ve *Holy Spider* gibi filmler, kurbanların öldürülmesinden önce sözlerinin ve kayboluşlarının ciddiye alınmamasını anlatının merkezine taşıyarak suçu yalnız failin bireysel patolojisiyle değil, kimlerin "inandırıcı" ve "korunmaya değer" sayıldığıyla ilişkilendirir. Böylece epistemik adaletsizlik, sinemada yalnız diyalog düzeyinde değil, anlatısal erişim düzeyinde de işler: kimin ne bildiği, kimin bilgisinin geçerli sayıldığı ve izleyicinin hangi bilgiyi kiminle birlikte öğrendiği belirleyici hale gelir.
Bu üç yaklaşım birlikte düşünüldüğünde "sinematik öznelik eşitsizliği", anlatının insan olma kaynaklarını karakterler arasında eşitsiz dağıtması olarak tanımlanabilir. Bu kaynaklar; adlandırılma, geçmiş öyküsü, iç dünyaya erişim, bakış açısı, söz hakkı, eylem kapasitesi, ilişkisel bağlar, ölüm sonrası yas ve hatırlanabilirliktir. Bir film failin portresini ayrıntılandırırken kurbanı ayrıntılandırmayabilir; hatta failin merkezden çıkarıldığı bir filmde öznelik bu kez dedektife, gazeteciye veya adli uzmana devredilebilir. Dolayısıyla kurban-merkezlilik, katilin ekranda az görünmesiyle değil, kurbanın anlatısal bir kişi olarak kurulmasıyla ilgilidir.

YÖNTEM

Çalışmada amaçlı örnekleme dayalı karşılaştırmalı nitel film çözümlemesi kullanılmıştır. Örnekleme üç ölçütle dahil edilmiştir: filmin gerçek bir seri katil ya da seri cinayet vakasına dayanması veya bu vakadan doğrudan hareket etmesi; anlatının kurmaca uzun metraj biçiminde kurulması; 2000 sonrası dönemde üretilmiş olması. Bu ölçütlerle seçilen on film, farklı anlatısal stratejileri karşılaştırmaya olanak verecek biçimde 2002'den *Dahmer* ile başlayıp 2023 Toronto gösterimi ve 2024 yaygın dağıtımıyla *Woman of the Hour*'a uzanan bir zaman aralığını kapsamaktadır. Örneklem, Jeffrey Dahmer, Aileen Wuornos, Zodiac, Robert Hansen, Ted Bundy, Fritz Honka, Long Island/Gilgo Beach cinayetleri, Saeed Hanaei ve Rodney Alcala vakaları gibi farklı kültürel bağlamlara ait suç anlatılarını bir araya getirmektedir.
Çözümleme, filmlerin doğruluk derecesini veya gerçek vakalara sadakatini ölçmeyi amaçlamamaktadır. İnceleme birimleri sekiz anlatısal eksen üzerinden oluşturulmuştur: (1) odaklanma ve bakış açısı; (2) katil ile kurbana ayrılan biyografik bilgi; (3) adlandırılma ve ilişkisel kimlik; (4) söz, tanıklık ve eylem kapasitesi; (5) ölüm ya da saldırı anının görselleştirilme biçimi; (6) ölüm sonrası yas ve hatırlama; (7) failin insanlaştırılma, karizmatikleştirilme veya patolojikleştirilme biçimi; (8) polis, medya, hukuk ve toplumsal cinsiyet rejimleri gibi kurumsal sorumlulukların görünürlüğü. Her film bu kategoriler doğrultusunda karşılaştırmalı olarak okunmuş; özellikle "kim hakkında ne kadar bilgi biliyoruz?" ve "hangi ölüm anlatıda sonuç doğuruyor?" soruları temel analitik ölçütler olarak kullanılmıştır.
Analiz sonucunda üç ideal-tipik anlatısal rejim belirlenmiştir. Bunlar birbirini bütünüyle dışlayan sabit türler değildir; bazı filmler iki rejim arasında geçiş özellikleri göstermektedir. Birinci rejim, failin biyografik ve psikolojik derinliğini büyüten fail-merkezli anlatıdır. İkinci rejim, faili görece geri plana çekse de öznel konumu kurbandan çok araştırmacıya veren soruşturma anlatısıdır.

Üçüncü rejim ise kurbanın adı, gündelik hayatı, tanıklığı, direnişi ve yasını yeniden görünür kılan onarıcı karşı-anlatıdır. Bu sınıflandırma, etik değer yargısından çok anlatısal kaynakların nerede yoğunlaştığını göstermek için kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Fail-Merkezli Biyografi: Katilin İnsanlığı, Kurbanın İşlevi

İlk anlatısal rejimde film, seri katili yalnızca suç işleyen bir beden değil, geçmişi ve iç dünyası olan bir anlatı merkezi olarak kurar. *Dahmer*, Jeffrey Dahmer'ın gündelik rutinlerini, yalnızlığını ve cinayetlere giden davranış örüntülerini onun çevresinde örgütler. *My Friend Dahmer* ise suçlardan önceki ergenlik yıllarına dönerek aile çatışmaları, okul hayatı, sosyal dışlanma ve giderek belirginleşen patolojiler üzerinden "katil olmadan önceki çocuk" sorusuna yoğunlaşır. Bu filmler doğrudan bir ahlaki savunma üretmese bile failin geçmişini bilinir ve yorumlanabilir hale getirir. Kurbanların geçmişi aynı ölçüde açılmadığında ortaya çıkan asimetri önemlidir: seyirci gelecekte öldürecek kişinin nasıl o kişiye dönüştüğünü öğrenir, fakat öldürülenlerin nasıl insanlar olduğunu öğrenemez.

Monster bu rejimin daha karmaşık bir örneğidir. Film Aileen Wuornos'un yoksulluk, istismar, seks işçiliği ve Selby ile ilişkisini öne çıkararak kadın seri katilin yaşamını toplumsal kırılganlıklar içinde insanlaştırır. Bu tercih, Wuornos'u yalnızca "canavar" olarak kodlayan popüler söyleme karşı güçlü bir müdahaledir; ancak aynı zamanda erkek kurbanların çoğunu sınırlı biyografik bilgiyle bırakır. Böylece film, marjinalleştirilmiş bir failin epistemik ve duygusal görünürlüğünü onarırken başka yaşamları anlatısal olarak kısaltabilir. Bu durum çalışmanın temel önermesini destekler: insanlaştırma sıfır toplamlı olmak zorunda değildir, fakat sinema çoğu kez anlatı zamanını tek bir özne üzerinde yoğunlaştırarak onu fiilen sıfır toplamlı hale getirir.

Extremely Wicked, Shockingly Evil and Vile ise Ted Bundy'nin kültürel şöhretini eleştirme iddiasıyla onun karizmasını yeniden üretme riski arasında salınır. Anlatının önemli bölümü Liz Kendall'ın kuşku ve inkâr deneyimine bağlansa da Bundy'nin çekiciliği, medyayla ilişkisi, mahkeme performansı ve kaçışları filmin dramatik enerjisinin merkezinde kalır. Schmid'in (2005) "seri katilin ünlüleşmesi" tartışması burada doğrudan karşılık bulur: film, Bundy'nin nasıl bir medya figürüne dönüştüğünü gösterirken aynı zamanda bu figürü yeniden dolaşıma sokar. *The Golden Glove* ise Fritz Honka'yı estetik olarak cazip kılmaktan kaçınsa da uzun süre onun mekânında, bedeninde ve gündelik hayatında kalır. Tiksinti ve sefalet, karizmanın yerini alır; fakat anlatısal merkez yine faildedir. Kurbanların görünür olması, onların özne olduğu anlamına gelmez. Bir karakterin ölümünün uzun ve rahatsız edici biçimde gösterilmesi, o karakterin yaşamının anlatısal olarak tanındığı anlamına gelmeyebilir.

Bu rejimde "empati" kavramını ahlaki onayla karıştırmamak gerekir. Smith'in (1995/2022) ayrımıyla seyirci katile bağlılık göstermeden onunla hizalanabilir; olayları onunla birlikte görebilir ve onun hakkında diğer herkesten daha fazla bilgi edinebilir. Etik sorun tam da bu epistemik ayrıcalıktadır. Katil, açıklanmaya değer bir kişi haline gelirken kurban açıklama gerektirmeyen bir sonuç haline gelir. Sinematik öznelik eşitsizliği bu nedenle "katili sempatik gösterme"den daha geniş bir sorundur: failin nefret uyandırdığı filmlerde bile anlatısal personhood ona tahsis edilebilir.

Soruşturma Anlatısı: Katil Merkezden Çıkarken Kurban Merkeze Geliyor mu?

İkinci rejimde seri katil anlatının görünür merkezinden kısmen çekilir; ancak boşalan öznel konum çoğu zaman kurbana değil, araştırmacıya geçer. *Zodiac* bunun en belirgin örneğidir. Film, kimliği belirsiz failden çok gazeteciler, polisler ve özellikle Robert Graysmith'in yıllara yayılan takıntılı araştırması üzerinden ilerler. Bu tercih, katilin karizmasını sınırlama bakımından etik bir mesafe yaratır; yine de kurbanların yaşamları soruşturma evrenine kıyasla daha az ayrıntılanır. Cinayetler anlatının başlangıç enerjisini sağlar, fakat filmin uzun süreli psikolojik maliyeti esas olarak araştırmacıların hayatında izlenir. Böylece ölümün artçı etkisi vardır, ancak bu etki çoğunlukla kurban yakınlarının yasından çok çözülmeyen dosyanın araştırmacı üzerindeki yükü olarak temsil edilir.

The Frozen Ground soruşturma rejimini kısmen dönüştürür. Film Robert Hansen'i yakalamaya çalışan dedektif Jack Halcombe ile saldırıdan kurtulan Cindy Paulson arasındaki işbirliğini öne çıkarır. Cindy yalnızca "kanıt" değildir; korkusu, kaçışı, güvensizliği ve konuşma hakkı anlatıda yer bulur. Bununla birlikte soruşturmanın meşruiyeti hâlâ erkek dedektifin eylem kapasitesiyle güçlü biçimde bağlantılıdır.

Film böylece kurbanın tanıklığını görünür kılar, fakat adalete dönüşebilmesi için bu tanıklığın kurum tarafından tanınmasına ihtiyaç duyar. Fricker'ın (2007) tanıklık adaletsizliği açısından bu nokta belirleyicidir: bir hayatta kalanın gerçeği bilmesi, o gerçeğin toplumsal olarak etkili olmasına yetmez; dinlenmesi ve güvenilir kabul edilmesi gerekir.

Holy Spider da soruşturma yapısını kullanır, fakat bu yapıyı toplumsal cinsiyet ve kurumsal onay sorununa açar. Gazeteci Rahimi, Saeed Hanaei'nin seks işçisi kadınları öldürmesini araştırırken film yalnızca "katil kim?" sorusunu izlemez; cinayetlerin hangi ahlaki ve toplumsal söylemler içinde meşrulaştırılabildiğini gösterir. Burada gazeteci, kurbanların yerine geçen nötr bir araştırmacı değildir; kadın olarak aynı cinsiyetçi bakış ve tehdit rejimiyle yüzleşir. Bu nedenle *Holy Spider* ikinci ve üçüncü rejim arasında bir geçiş filmidir. Kurbanların hepsine eşit biyografik derinlik verilmese de onların marjinalleştirilmesinin kurumsal ve kültürel koşulları görünür olur. Cinayetin açıklaması failin psikolojisinden toplumsal değer hiyerarşisine kayar.

Bu grup filmler, katili merkezden çıkarmanın etik dönüşüm için gerekli fakat yetersiz olduğunu göstermektedir. Dedektifin zekâsı, gazetecinin ısrarı veya dosyanın karmaşıklığı anlatısal çekim merkezi olduğunda kurban yine başka bir karakterin görevi haline gelebilir. Bu nedenle kurban-merkezli etik yalnız "faili daha az gösterme" stratejisiyle kurulamaz. Asıl mesele, anlatısal bilginin yeniden dağıtılmasıdır: kurbanın ne hissettiği, kimi sevdiği, nasıl yaşadığı, neye direndiği ve ölümünden sonra kimlerin hayatında eksik kaldığı görünür hale gelmelidir.

Onarıcı Karşı-Anlatı: Adı, Sesi, Yası ve Kurumsal Sorumluluğu Geri Vermek

Üçüncü rejimde filmler, seri katil hikâyesini failin sıra dışılığı etrafında kurmak yerine öldürülen veya saldırıdan kurtulan kişilerin yaşamlarını ve onları değersizleştiren kurumları görünür kılar. *Lost Girls* bu dönüşümün en açık örneklerindendir. Film, Shannan Gilbert'ın kayboluşunu ve annesi Mari Gilbert'ın arayışını izler; seri katili bir yıldız figürüne dönüştürmez, hatta failin kimliğini anlatısal tatminin merkezine yerleştirmez. Önemli olan Shannan'ın "kayıp seks işçisi" kategorisine indirgenmesine karşı annesinin onun adını, kız kardeşleriyle ilişkisini ve kaybının gerçekliğini ısrarla kamuya taşımasıdır. Polis ilgisizliği ve sınıfsal/cinsiyetli önyargı, cinayetin çevresel koşulları olarak görünür hale gelir. Böylece film yalnız kurbanı temsil etmez; kurbanın neden başlangıçta yeterince temsil edilmediğini de sorunsallaştırır.

Butler'ın yas tutulabilirlik kavramı burada somut bir sinemasal işleve dönüşür. *Lost Girls*'te etik onarım, kurban bedeninin daha dikkatli gösterilmesinden önce, kaybın "birinin kaybı" olarak kurulmasıyla gerçekleşir. Mari'nin diğer ailelerle kurduğu ilişki, tekil ölüm ile kolektif yas arasında bağ oluşturur. Kadınların isimleri tekrarlandıkça sayı olmaktan çıkarlar. Holmes ve Hines'in (2025) true crime izleyicileri üzerine çalışmasında da etik temsilin önemli ölçütleri arasında kurbanın hikâyesini ve sesini merkeze alma, faili sansasyonelleştirmeme, aile ve toplumsal bağlamı görünür kılma gibi beklentiler öne çıkmaktadır. Bu bulgu, kurban-merkezliliğin yalnız akademik bir norm değil, türün güncel etik müzakeresinin de parçası olduğunu göstermektedir.

Woman of the Hour bu onarıcı eğilimi biçimsel olarak daha radikal hale getirir. Rodney Alcala'nın ünlü *The Dating Game* görünümünü merkez alan film, onun karizmatik kamu personasını tek anlatı ekseni yapmak yerine zaman içinde farklı kadınların karşılaşmalarına ve tehlikeyi sezme deneyimlerine geçer. Cheryl Bradshaw'ın stüdyo içindeki performans baskısı ile Alcala'nın tehditkâr özel davranışı arasındaki fark, kamusal karizma ile özel şiddet arasındaki boşluğu açar. Daha önemlisi, film kadınların korkusunu "yanlış okuma" olarak küçümsemek yerine epistemik bir bilgi biçimi olarak ciddiye alır. Tehlikeyi tanıyan bakış, hayatta kalanın bilgisi ve sonunda kaçışı mümkün kılan strateji, kadına yalnız kurbanlık değil bilişsel ve eylemsel kapasite verir. Bu yönüyle film, Fricker'ın epistemik adaletsizlik çerçevesini tersine çeviren bir karşı-anlatı üretir: kadınların bildiği şey anlatı tarafından geçerli bilgi olarak kabul edilir.

Holy Spider da onarıcı rejime yaklaştığı ölçüde seri cinayetleri "sapmış bir erkek" öyküsünden çıkarıp öldürülen kadınların toplumsal değersizleştirilmesine bağlar. Seks işçiliği nedeniyle kurbanların korunmaya daha az değer görülmesi, failin "şehri temizleme" söylemiyle birleştiğinde bireysel cinayet ile toplumsal yas tutulabilirlik hiyerarşisi arasında bağ kurulur. Filmde bazı cinayetlerin doğrudan gösterilmesi etik açıdan tartışmalı kalmakla birlikte, bu görüntüler failin üstünlüğünü mitolojikleştirmekten çok kadınların kırılganlığını ve toplumun bu kırılganlığa verdiği yetersiz cevabı

görünür kılar. Böylece kurbanın kişileştirilmesi yalnız geçmiş hikâye vermek değil, onun ölümünü mümkün kılan değer düzenini görünür kılmak anlamına gelir.
Üçüncü rejimin ortak özelliği, öznelik kaynaklarını tek bir kahramana toplamak yerine dağıtmasıdır. Kurbanın adı, yakınlarının yası, hayatta kalanın tanıklığı, başka kadınların deneyimi ve kurumların sorumluluğu aynı anlatısal alanda birbirine bağlanır. Böyle bir dağılım, failin insanlığını inkâr etmeyi gerektirmez; yalnızca onun insanlığının tek ayrıntılı insanlık olmaktan çıkarılmasını gerektirir. "Sinematik öznelik eşitsizliği" kavramı bu nedenle bir temsil sayımı değildir. Bir filmde kurban ekranda çok görünebilir ama hâlâ yalnızca acı çeken beden olarak kalabilir; başka bir filmde daha az görünse bile adı, ilişkileri, sözü ve ölüm sonrası etkisi sayesinde anlatısal kişi olarak kurulabilir. Etik dönüşüm, görünürlükten çok personhood'un dağılımında gerçekleşir.

SONUÇ

Bu çalışma, gerçek seri katil vakalarına dayanan çağdaş filmlerde etik sorunun yalnızca şiddetin nasıl gösterildiğiyle açıklanamayacağını ileri sürmektedir. İncelenen on film, anlatısal öznelik ve empatinin üç temel rejimde dağıtıldığını göstermektedir: failin biyografik derinliğini büyütürken kurbanları anonimleştiren fail-merkezli anlatı; katili geri plana çekmesine rağmen öznel konumu dedektif veya gazeteciye aktaran soruşturma anlatısı; kurbanın adı, gündelik hayatı, tanıklığı, direnişi, yakınlarının yası ve kurumsal ihmal deneyimini görünür kılan onarıcı karşı-anlatı. Bu sınıflandırma, seri katil sinemasındaki etik farkın "katil sempatik mi değil mi?" sorusundan daha karmaşık olduğunu göstermektedir.
Çalışmanın temel kavramsal önerisi olan sinematik öznelik eşitsizliği, anlatının kişilik ve insanlık kaynaklarını eşitsiz dağıtmasını tanımlar. Katilin çocukluğu, iç dünyası ve gündelik hayatı ayrıntılanırken kurbanın yalnız ölüm anına indirgenmesi; ya da fail ortadan çekildiğinde aynı anlatısal ayrıcalığın araştırmacıya devredilmesi bu eşitsizliğin iki farklı biçimidir. Butler'ın (2004, 2009) yas tutulabilirlik yaklaşımı, hangi ölümün anlatıda kayıp olarak kurulabildiğini; Fricker'ın (2007) epistemik adaletsizlik kavramı, kimin sözü ve deneyiminin bilgi olarak tanındığını; anlatısal empati literatürü ise seyircinin hangi karakterin dünyasına hizalandığını açıklamaya yardımcı olmaktadır.
Sonuç olarak kurban-merkezli anlatı, faili yalnızca kadrajdan çıkarmak değildir. Etik dönüşüm, anlatısal bilginin, söz hakkının, eyleyiciliğin ve hatırlanabilirliğin yeniden dağıtılmasıyla mümkündür. Bir seri katil filmi için en kritik soru "katilin zihnine ne kadar girdik?" değil, "öldürülen kişinin yaşamı ölümünden önce ve sonra anlatıda ne kadar var olabildi?" sorusudur. Kurbanın adını geri vermek, onun gündelik hayatını ve ilişkilerini göstermek, tanıklığını ciddiye almak, yakınlarının yasını görünür kılmak ve kurumsal ihmali failin bireysel patolojisi kadar anlatısal olarak önemli hale getirmek, true crime sinemasını seyirlik şiddetten etik tanıklığa yaklaştıran temel adımlardır.

KAYNAKÇA

Butler, J. (2004). Precarious life: The powers of mourning and violence. Verso.
Butler, J. (2009). Frames of war: When is life grievable? Verso.
Fricker, M. (2007). Epistemic injustice: Power and the ethics of knowing. Oxford University Press.
Holmes, S., & Hines, C. (2025). Female audiences for true crime television: Popular discourse, feminism and the politics of "ethical viewing". Critical Studies in Television, 20(1), 26-53. https://doi.org/10.1177/17496020241306224
Jarvis, B. (2007). Monsters Inc.: Serial killers and consumer culture. Crime, Media, Culture, 3(3), 326-344. https://doi.org/10.1177/1741659007082469
Jenkins, P. (1994). Using murder: The social construction of serial homicide. Aldine de Gruyter.
Keen, S. (2007). Empathy and the novel. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195175769.001.0001
Plantinga, C. (2009). Moving viewers: American film and the spectator's experience. University of California Press.
Schmid, D. (2005). Natural born celebrities: Serial killers in American culture. University of Chicago Press. https://doi.org/10.7208/chicago/9780226738703.001.0001
Seltzer, M. (1998). Serial killers: Death and life in America's wound culture. Routledge.
Smith, M. (1995). Engaging characters: Fiction, emotion, and the cinema. Clarendon Press.

Tithecott, R. (1997). Of men and monsters: Jeffrey Dahmer and the construction of the serial killer. University of Wisconsin Press.
Caputi, J. (1987). The age of sex crime. Bowling Green State University Popular Press.

Filmografi

Jacobson, D. (Yönetmen). (2002). Dahmer [Film]. ABD.
Jenkins, P. (Yönetmen). (2003). Monster [Film]. ABD/Almanya.
Fincher, D. (Yönetmen). (2007). Zodiac [Film]. ABD.
Walker, S. (Yönetmen). (2013). The Frozen Ground [Film]. ABD.
Meyers, M. (Yönetmen). (2017). My Friend Dahmer [Film]. ABD.
Berlinger, J. (Yönetmen). (2019). Extremely Wicked, Shockingly Evil and Vile [Film]. ABD.
Akın, F. (Yönetmen). (2019). The Golden Glove [Film]. Almanya/Fransa.
Garbus, L. (Yönetmen). (2020). Lost Girls [Film]. ABD.
Abbasi, A. (Yönetmen). (2022). Holy Spider [Film]. Danimarka/Almanya/İsveç/Fransa.
Kendrick, A. (Yönetmen). (2023/2024). Woman of the Hour [Film]. ABD.

CAN THE UNFORGIVABLE BE FORGIVEN? ACID VIOLENCE, QISAS, AND THE ETHICS OF THE WOUNDED FACE IN IRANIAN CINEMA

BAĞIŞLANAMAZ OLAN BAĞIŞLANABİLİR Mİ? İRAN SİNEMASINDA ASİT ŞİDDETİ, KISAS VE YARALI YÜZÜN ETİĞİ

Assoc. Prof. Dr. Hacer AKER
Department of Radio, Television and Cinema, Faculty of Communication, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0116-6462

Dr. Salih KESKİN
Department of Radio, Television and Cinema, Faculty of Communication, Selçuk University, Konya, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-6545-7835

ABSTRACT
This study examines how Iranian cinema positions women who have survived acid attacks between justice, qisas, and forgiveness, drawing on Emmanuel Levinas's ethics of the face and Jacques Derrida's paradox of forgiveness. Six Iranian fictional and documentary films selected through purposive sampling - Lantouri (2016), An Eye for an Eye (2010/2011), Eye for an Eye (2015), Masoumeh (2016), Wet Weapon (2020), and Smile of the Mask (2020/2021) - are subjected to comparative philosophical film analysis. The analysis considers the visual construction of the injured face, the narrative proximity allocated to survivor and perpetrator, the framing of qisas and forgiveness, familial and legal interventions in the survivor's decision, and the agency granted to her at the conclusion. The findings identify three ethical regimes through which the films construct justice: an individual decision between retribution and forgiveness; renunciation conditioned by motherhood and family relations; and demands for legal and social transformation that move beyond forgiveness. In some narratives, forgiveness signifies the survivor's moral sovereignty; in others, it becomes a second responsibility imposed on her, requiring her to rehumanise the perpetrator and restore social peace. The short fiction and activist documentaries shift attention from the perpetrator's pardon to the survivor's public visibility, citizenship, and claims to structural justice. The study argues that acid violence does not merely injure the body but targets the face as the ground of ethical encounter in Levinasian thought. Yet these films generate a distinctive contradiction by asking the wounded woman to recognise anew the human face of the person who destroyed hers. Forgiveness should therefore be understood not simply as virtue or personal recovery, but as a struggle over moral sovereignty distributed among survivor, perpetrator, law, family, and spectator.

Keywords: Iranian cinema; acid violence; ethics of the face; forgiveness; qisas

ÖZET
Bu çalışma, İran sinemasında asit saldırısına uğrayan kadınların adalet, kısas ve affetme arasında nasıl konumlandırıldığını, Emmanuel Levinas'ın yüz etiği ile Jacques Derrida'nın bağışlama paradoksu üzerinden incelemektedir. Amaçlı örneklemle seçilen Lantouri (2016), An Eye for an Eye (2010/2011), Eye for an Eye (2015), Masoumeh (2016), Wet Weapon (2020) ve Smile of the Mask (2020/2021) adlı altı İran yapımı kurmaca ve belgesel, karşılaştırmalı felsefi film çözümlemesine tabi tutulmuştur. Çözümlemede yaralanmış yüzün görsel kuruluşu, mağdur ile fail arasında dağıtılan anlatısal yakınlık, kısas ve affetmenin çerçevelenmesi, aile ve hukukun karara müdahalesi ile finalde mağdura tanınan eyleyicilik incelenmiştir. Bulgular, filmlerin adaleti üç farklı etik rejim içinde kurduğunu göstermektedir: kısas ile affetme arasında bireysel karar, annelik ve aile ilişkileri tarafından koşullanan vazgeçme ve affetmenin ötesine geçen hukuki-toplumsal dönüşüm talebi. Bazı anlatılarda affetme mağdurun ahlaki egemenliğinin ifadesi olarak sunulurken, bazılarında failin yeniden insanlaştırılmasını ve toplumsal huzurun kurulmasını mağdura yükleyen ikinci bir sorumluluğa dönüşmektedir. Kısa filmler ve aktivist belgeseller ise soruyu failin bağışlanmasından mağdurun kamusal görünürlüğüne, yurttaşlığına ve yapısal adalet talebine taşımaktadır.

Çalışma, asit saldırısının yalnızca bedeni yaralamadığını; Levinasçı anlamda etik karşılaşmanın zemini olan yüzü hedef aldığını ileri sürmektedir. Bununla birlikte filmler, yaralı kadından kendisini yaralayan failin insan yüzünü yeniden görmesini bekleyerek özgül bir etik çelişki üretmektedir. Bu nedenle affetme, yalnızca erdem veya kişisel iyileşme olarak değil, mağdur, fail, hukuk ve seyirci arasında paylaşılan bir ahlaki egemenlik mücadelesi olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: İran sineması; asit saldırısı; yüz etiği; affetme; kısas

GİRİŞ

Asit saldırısı, bedensel yaralamanın ötesinde, mağdurun yüzünü, görme yetisini, toplumsal tanınabilirliğini ve kamusal alanda bulunma hakkını hedef alan özgül bir şiddet biçimidir. İran üzerine yapılan çalışmalar, asitle yakmanın özellikle reddedilen evlilik teklifleri, aile içi çatışmalar ve kadınların davranışlarını denetleme girişimleriyle kesişebildiğini; 2014 İsfahan saldırılarında ise kadınların kent içindeki hareketliliğini doğrudan sınırlayan bir korku iklimi ürettiğini göstermektedir (Rahbari, 2022). Dolayısıyla asit şiddeti yalnızca fail ile mağdur arasında gerçekleşen bireysel bir saldırı değil, yüzün toplumsal değerini ve kadının kamusal varlığını hedef alan cinsiyetlendirilmiş bir görünürlük rejimidir. Yüzde kalıcı iz bırakan şiddetin damgalanma ve dışlanma üretmesi de, saldırının fiziksel ânın çok ötesine taşan bir toplumsal hayatı olduğunu göstermektedir (Furr, 2014).

İran bağlamında bu şiddet biçimi, aynı zamanda kısas hukuku nedeniyle özel bir etik ve hukuki gerilim yaratır. Kısas, kasıtlı öldürme veya bedensel yaralama vakalarında mağdura ya da hak sahibine misilleme talep etme imkânı tanırken, mağdurun cezadan vazgeçebilmesi de aynı düzenek içinde mümkündür. Asit saldırılarında cezanın saldırıyla orantılı biçimde uygulanması, hekimin cezaya katılımı ve telafisi mümkün olmayan yeni bir yaralanmanın devlet eliyle üretilmesi gibi ciddi etik sorunlar doğurmaktadır (Alishahi Tabriz, Dabbagh ve Koenig, 2016). Ameneh Bahrami vakasının hem hukuk hem medya hem de belgesel anlatı açısından güçlü bir simgeye dönüşmesi, bu nedenle şaşırtıcı değildir: burada mesele yalnızca "göze göz" karşılığı değil, cezalandırma hakkının mağdurun omuzlarına nasıl yerleştirildiğidir.

Bu çalışma, İran sinemasındaki asit şiddeti anlatılarını tam da bu düğüm noktasında ele almaktadır. Araştırmanın temel sorusu, filmlerin yaralanmış kadını adalet, kısas ve affetme arasında nasıl konumlandırdığıdır. Çalışma iki kavramsal müdahalede bulunmaktadır. Birincisi, Emmanuel Levinas'ın yüzü etik karşılaşmanın başlangıcı olarak düşünmesinden hareketle, asit saldırısını yalnızca "yüzün bozulması" değil, ötekinin tanınmasını mümkün kılan yüzün hedef alınması olarak okur. İkincisi, Jacques Derrida'nın bağışlamayı ancak bağışlanamaz olan karşısında anlamlı kılan paradoksundan hareketle, hukuki misillemeden vazgeçme ile etik bağışlamayı birbirinden ayırır. Böylece filmler, mağdurun merhametli olup olmadığına göre değerlendirilmek yerine, ona hangi etik yüklerin devredildiği ve hangi eyleyicilik alanlarının açıldığı üzerinden karşılaştırılmaktadır.

KURAMSAL ÇERÇEVE

Yüz, Yaralanma ve Etik Karşılaşma

Levinas için yüz, biyolojik ya da estetik bir nesneye indirgenemeyecek şekilde ötekinin indirgenemezliğini açığa çıkarır. *Totality and Infinity*'de yüz, öznenin kavrayıcı ve sahiplenici bakışına direnen; onu sorumluluğa çağıran bir karşılaşma olarak düşünülür (Levinas, 1969). *Ethics and Infinity*'de bu ilişki daha açık biçimde etik bir emir olarak ifade edilir: yüz, ötekinin kırılganlığıyla birlikte "öldürmeyeceksin" buyruğunu taşır (Levinas, 1985). Bu düşüncenin sinemaya uygulanması ise basit bir yakın plan estetiğine indirgenemez. Davis'in (2018) belirttiği gibi Levinasçı film çalışmalarının verimli olabilmesi için yüzü yalnızca ekranda görünen bir imge olarak değil, seyircinin görüntüyle kurduğu etik ilişkinin sorunu olarak düşünmek gerekir.

Asit saldırısı bu çerçeveyi sert biçimde sınar. Çünkü fail yalnızca bedene zarar vermez; yüzü tanınma, bakılma ve toplumsal temasın alanı olmaktan çıkarmayı amaçlar. Ne var ki yaralanmış yüz etik talebi ortadan kaldırmaz. Tersine, filmlerde yüzün saklanması, aynada görülmesi, tıbbi müdahaleyle çevrelenmesi, mahkemede kanıt haline gelmesi ya da kamusal alanda yeniden görünmesi, yaralanmış öznenin hangi koşullarda yeniden "konuşan" bir yüz olarak kurulabildiğini gösterir. Buradaki temel

mesele, sinemanın yaralı yüzü seyirlik acıya dönüştürüp dönüştürmediği değil, yüzü mağdurun talep üretme kapasitesiyle birlikte kurup kurmadığıdır.

Bağışlama Paradoksu ve Kısastan Vazgeçmenin Anlamı

Derrida'ya (2001) göre bağışlama, yalnızca zaten bağışlanabilir olanı kapsadığında anlamını kaybeder; bağışlama fikri tam da bağışlanamaz olan karşısında ortaya çıkan bir imkânsızlıkla ilişkilidir. Bu nedenle bağışlama, toplumsal barışı yeniden kurmak, suçluyu rehabilite etmek, uzlaşma üretmek ya da mağduru psikolojik olarak "iyileştirmek" gibi amaçlara bağlandığında saf etik niteliğini yitirir. İran'daki kısas düzeni bu paradoksu somutlaştırır: mağdur, bir yandan cezalandırma hakkının sahibi olarak güçlendirilir, diğer yandan bu haktan vazgeçmesi ahlaki üstünlük veya merhamet göstergesi olarak yüceltilebilir. Böyle bir çerçevede "affetmek", failin kaderi yanında toplumun huzurunu da mağdurun kararına bağlayan ikinci bir yük haline gelebilir.

Bu çalışma bu nedenle üç eylemi birbirinden ayırmaktadır: kısas istemek, kısastan vazgeçmek ve faili bağışlamak. İlk ikisi hukuki bir karar alanında gerçekleşebilir; üçüncüsü ise faille kurulan etik ilişkiye dair çok daha ağır ve belirsiz bir iddiadır. Mağdurun misillemeden vazgeçmesi, failin eylemini mazur gördüğü, öfkesini aştığı veya onu bağışladığı anlamına gelmez. Bu ayrım, filmlerin "iyi mağdur"u affeden kadın olarak kurup kurmadığını sorgulamak açısından belirleyicidir. İran sinemasında kadın bedeninin ve bakışının tarihsel olarak düzenleme, örtme ve temsil müzakerelerinin merkezinde bulunması da bu soruyu daha geniş bir görsel politika içine yerleştirir (Naficy, 1995; Mottahedeh, 2008; Naficy, 2012).

YÖNTEM

Çalışmada amaçlı örneklemle seçilen altı İran yapımı incelenmiştir: *Lantouri* (2016), *An Eye for an Eye* (2010/2011), *Eye for an Eye* (2015), *Masoumeh* (2016), *Wet Weapon* (2020) ve *Smile of the Mask* (2020/2021). Korpusun ortak ölçütü, asit şiddetini olay örgüsünün ya da belgesel tanıklığın merkezi haline getirmesi ve yaralanma sonrasında adalet, kamusal görünürlük veya faille ilişki sorunlarından en az birini doğrudan işlemesidir. Kurmaca, kısa film ve belgeselin aynı korpusta yer alması, türler arasında nicel bir eşdeğerlik kurmak için değil, aynı etik sorunun farklı anlatısal düzeneklerde nasıl biçimlendiğini karşılaştırmak için tercih edilmiştir.

Filmler karşılaştırmalı felsefi film çözümlemesiyle okunmuştur. Analiz beş eksende yürütülmüştür: (1) yaralı yüzün görsel kuruluşu ve görünürlük-gizlenme ilişkisi, (2) mağdur ile fail arasında dağıtılan anlatısal yakınlık, (3) kısas, ceza ve affetmenin hangi söylemlerle meşrulaştırıldığı, (4) aile, annelik, hukuk ve kamusal beklentinin mağdurun kararına müdahalesi ve (5) finalde mağdura tanınan eyleyicilik. Yöntemin amacı filmleri Levinas veya Derrida'nın kavramlarına "örnek" haline getirmek değil; tersine filmlerin bu kavramların sınırlarını nerede açığa çıkardığını göstermektir. Bu yaklaşım, film-felsefe literatüründe filmin yalnızca felsefi düşüncenin illüstrasyonu değil, düşünce üretebilen bir biçim olarak ele alınmasıyla uyumludur (Sinnerbrink, 2011).

BULGULAR VE TARTIŞMA

Kısas ile Affetme Arasında Bireysel Karar

İlk etik rejim, adaleti mağdurun kısas ile affetme arasında vereceği bireysel karara yoğunlaştırır. Bu rejimin en açık örneği *Lantouri*'dir. Film, Maryam'ı başlangıçta şiddete karşı affı savunan bir aktivist olarak kurar; Pasha'nın asit saldırısından sonra ise aynı kadını kısas talep eden özneye dönüştürür. Böylece anlatı, soyut bir merhamet ilkesinin bizzat yaralanmış bedenle karşılaştığında nasıl değişebileceğini görünür kılar. Filmin ahlaki gerilimi Maryam'ın "tutarlı" kalıp kalmamasından değil, ondan kendi yarasını aşan evrensel bir merhametin temsilcisi olmasının beklenmesinden doğar. Kısas talebi bu noktada etik bir düşüş olarak değil, yaralanmış öznenin adalet diline yeniden sahip çıkma girişimi olarak okunmalıdır.

An Eye for an Eye ise Ameneh Bahrami'nin gerçek davasını takip ederek hukuki hakkın ağırlığını belgesel düzlemde görünür kılar. Bahrami'nin kısas hükmü için yıllarca mücadele etmesi ve daha sonra cezanın uygulanmasından vazgeçmesi, "vazgeçme"nin tek anlamlı bir ahlaki kategori olmadığını gösterir. Onun kararı, kısas hükmünün mümkün olduğunu kanıtlama isteğiyle birlikte var olur; dolayısıyla cezanın uygulanmaması, geçmişteki adalet talebini iptal etmez. 2015 tarihli *Eye for an Eye*

ise aynı sorunu başka bir uçtan, kısasın soyut bir hukuk ilkesi olmaktan çıkıp beden üzerinde uygulanabilir bir karşılık haline gelmesi üzerinden keskinleştirir. Böylece "eşdeğer acı" fikrinin adalet üretip üretmediği ve misillemenin yeni bir yaralanmayı kurumsallaştırıp kurumsallaştırmadığı sorusu açılır. Derridacı açıdan burada belirleyici olan, bağışlamanın bir sonuç değil, çözülemeyen bir paradoks olarak kalmasıdır. Mağdurun cezayı durdurması ya da sürdürmesi, failin eylemini kendiliğinden bağışlanabilir kılmaz; karar öncelikle cezalandırma hakkının kullanımı üzerindeki bir egemenlik edimidir.

Aile, Annelik ve Koşullanan Vazgeçme

İkinci etik rejimde karar, bireysel vicdanın kapalı alanında verilmez; aile ilişkileri, annelik ve bakım sorumlulukları tarafından çevrelenir. Bu filmlerde mağdurun ne isteyeceği sorusu, çoğu zaman çocuğun geleceği, aile bağlarının korunması veya toplumsal huzurun yeniden kurulmasıyla birlikte düşünülür. *Masoumeh* bu açıdan özellikle önemlidir: asit saldırısı sonrasında görme kaybı ve yüz yaralanması yaşayan kadının mücadelesi, failin cezalandırılmasına indirgenmek yerine çocuğuyla ilişkisini, velayet talebini ve gündelik hayatını yeniden kurma çabasını öne çıkarır. Böylece yaralı yüz, yalnızca saldırının kanıtı değil, hukuki ve toplumsal özne olma mücadelesinin taşıyıcısı haline gelir.

Bu rejim, affetmenin toplumsal cinsiyetli niteliğini de görünür kılar. Kadından "anne", "merhamet eden", "aileyi koruyan" veya "toplumsal barışı sağlayan" özne olması beklendiğinde, affetme özgür bir etik jest olmaktan çıkıp normatif bir kadınlık yükümlülüğüne dönüşebilir. İran sinemasında kadın temsilinin annelik, fedakârlık ve kamusal-özel alan sınırlarıyla tarihsel olarak müzakere edildiği düşünüldüğünde (Naficy, 2012; Ghaffari, 2020), asit şiddeti anlatılarında merhametin kadın karaktere yüklenmesi yalnızca bireysel psikolojinin sonucu değildir. Bu nedenle filmlerde asıl soru "mağdur neden affetmedi?" değil, "affetmesi neden ondan bekleniyor?" olmalıdır.

Failin Ötesinde Görünürlük ve Yapısal Adalet

Üçüncü etik rejim, adalet sorusunu failin bağışlanıp bağışlanmamasından çıkararak mağdurun kamusal görünürlüğüne ve yapısal taleplerine taşır. *Wet Weapon* gibi aktivist belgeseller, asit şiddetini tekil bir aşk, kıskançlık veya aile çatışması anlatısından koparıp kadınların kentte güvenliği ve hak talebiyle ilişkilendirir. Bu yönelim, Rahbari'nin (2022) İsfahan saldırıları üzerine çalışmasında gösterdiği gibi, asit şiddetinin kadınların kamusal alandaki hareketini sınırlayan kolektif bir korku rejimi üretebildiği gerçeğiyle kesişir. Böyle bir çerçevede adalet, failin gözünün kör edilip edilmemesinden daha geniştir: saldırıların önlenmesi, mağdurun tedavi ve ekonomik destek hakkı, kamusal alanda damgalanmadan bulunabilmesi ve şiddetin toplumsal nedenlerinin tanınması da adaletin parçasıdır.

Smile of the Mask ise yüz, maske ve bakış ilişkisini kısa film biçiminde yoğunlaştırır. Pandemi maskesi, yaralı kadının yüzünü kamusal bakıştan kısmen korurken aynı zamanda onun görünürlüğünün ne kadar koşullu olduğunu açığa çıkarır. Burada yüzü saklamak etik karşılaşmanın yokluğu değildir; tersine, sürekli merak, acıma veya tiksinti üreten bakışlardan korunarak kamusal alana yeniden girebilmenin aracı olabilir. Bu bulgu Levinasçı yüz anlayışını sinemasal olarak tersyüz eder: etik talep her zaman yüzün bütünüyle teşhir edilmesinden doğmaz. Bazen öznenin kendi yüzünü ne zaman, nasıl ve kime göstereceğine karar verebilmesi etik eyleyiciliğin kendisidir. Böylece yaralı yüz, seyircinin acıma nesnesi olmaktan çıkıp bakışın koşullarını belirleyen bir özneye dönüşür.

Altı film birlikte değerlendirildiğinde ortak çelişki belirginleşmektedir. Asit saldırısı, Levinasçı anlamda ötekinin yüzüne yönelen şiddetin maddi ve kalıcı bir biçimini üretirken, bazı anlatılar aynı yaralı kadından failin "insan yüzünü" yeniden görmesini bekler. Başka bir deyişle mağdur, önce yüzü hedef alınarak insanlıktan çıkarılır; ardından insanlığını kanıtlamak için kendisini yaralayan kişiyi yeniden insanlaştırmaya çağrılır. Affetme bu noktada ahlaki yücelik kadar ahlaki baskı da üretebilir. Filmlerin en güçlü anları, bu baskıyı çözüme kavuşturmak yerine görünür bıraktıkları; mağdurun öfkesini, vazgeçmesini, merhametini veya reddini tek bir "doğru" etik tepkiye dönüştürmedikleri anlardır.

SONUÇ

Bu çalışma, İran sinemasındaki asit şiddeti anlatılarının adaleti tek bir eksende kurmadığını göstermektedir. İncelenen filmlerde üç etik rejim öne çıkmaktadır: kısas ile affetme arasında bireysel karar; aile, annelik ve bakım ilişkileriyle koşullanan vazgeçme; fail merkezli cezalandırma tartışmasını

aşarak kamusal görünürlük ve yapısal adalet talebine yönelme. Bu çeşitlilik, "İran sineması affı yüceltir" ya da "kısası meşrulaştırır" türünden genelleyici sonuçların yetersiz olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın temel kuramsal sonucu, kısastan vazgeçme ile bağışlamanın birbirine eşitlenmemesi gerektiğidir. Hukuki bir hakkın kullanılmaması, failin etik olarak bağışlandığını zorunlu biçimde göstermez. Bu ayrım korunduğunda mağdurun kararı ahlaki karakter testinden çıkar; onun egemenlik ve eyleyicilik alanı olarak okunabilir. Levinas'ın yüz etiği ise asit saldırısının neden özel bir şiddet biçimi olduğunu kavramaya imkân verir: saldırı, yalnızca bedeni değil, tanınmanın ve etik karşılaşmanın yüzeyini hedef alır. Bununla birlikte filmler Levinas'ı da sınar; çünkü yaralı yüzün etik gücü, onun çıplak biçimde gösterilmesine değil, öznenin bakış, hukuk ve anlatı üzerindeki söz hakkına bağlıdır.

Sonuç olarak affetme, bu filmlerde ne otomatik olarak erdem ne de mağdurun iyileşmesinin zorunlu aşamasıdır. Affetme, kısas, aile, hukuk ve seyirci bakışı arasında dağıtılan bir ahlaki egemenlik mücadelesidir. İran sinemasının asit şiddetine dair en önemli katkısı da tam burada ortaya çıkar: "Fail bağışlanacak mı?" sorusunu, "Yaralı kadın hangi koşullarda yeniden kendi yüzünün, kararının ve kamusal hayatının öznesi olabilir?" sorusuna dönüştürebildiği ölçüde adaletin çerçevesini genişletir.

KAYNAKÇA

Alishahi Tabriz, A., Dabbagh, H., & Koenig, H. G. (2016). Medical ethics in qiṣāṣ (eye-for-an-eye) punishment: An Islamic view; an examination of acid throwing. Journal of Religion and Health, 55(4), 1426-1432. https://doi.org/10.1007/s10943-015-0120-8

Davis, C. (2018). Levinas and film. In M. L. Morgan (Ed.), The Oxford handbook of Levinas (pp. 515-528). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190455934.013.19

Derrida, J. (2001). On cosmopolitanism and forgiveness (M. Dooley & M. Hughes, Trans.). Routledge.

Furr, L. A. (2014). Facial disfigurement stigma: A study of victims of domestic assaults with fire in India. Violence Against Women, 20(7), 783-798. https://doi.org/10.1177/1077801214543384

Ghaffari, S. (2020). Gender in Iranian cinema. In The international encyclopedia of gender, media, and communication. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119429128.iegmc153

Levinas, E. (1969). Totality and infinity: An essay on exteriority (A. Lingis, Trans.). Duquesne University Press. (Original work published 1961)

Levinas, E. (1985). Ethics and infinity: Conversations with Philippe Nemo (R. A. Cohen, Trans.). Duquesne University Press.

Mottahedeh, N. (2008). Displaced allegories: Post-revolutionary Iranian cinema. Duke University Press. https://doi.org/10.1215/9780822381198

Naficy, H. (1995). Iranian cinema under the Islamic Republic. American Anthropologist, 97(3), 548-558. https://doi.org/10.1525/aa.1995.97.3.02a00130

Naficy, H. (2012). A social history of Iranian cinema, Volume 4: The globalizing era, 1984-2010. Duke University Press.

Rahbari, L. (2022). Serial acid attacks and women's online and offline resistance and activism in Iran. Social Politics: International Studies in Gender, State & Society, 29(2), 729-749. https://doi.org/10.1093/sp/jxaa026

Sinnerbrink, R. (2011). New philosophies of film: Thinking images. Continuum.

Filmografi

Dormishian, R. (Yönetmen). (2016). Lantouri [Film]. İran.

Kazemi, K. (Yönetmen). (2010/2011). An Eye for an Eye [Belgesel]. İran.

Eye for an Eye. (2015). İran.

Moghaddam, S. (Yönetmen). (2016). Masoumeh [Belgesel]. İran.

Masoudi, N. (Yönetmen). (2020). Wet Weapon [Kısa belgesel]. İran.

Ghazali, A. (Yönetmen). (2020/2021). Smile of the Mask [Kısa film]. İran.

ENTROPİK POST-MEDDAH: YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA ANLATICILIĞIN DİJİTAL KURULUŞU VE KÜLTÜREL HAFIZANIN ENTROPİK DÖNÜŞÜMÜ

ENTROPIC POST-MEDDAH: THE DIGITAL CONSTRUCTION OF STORYTELLING IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE ENTROPIC TRANSFORMATION OF CULTURAL MEMORY

Doç.Dr. Mine ARTU MUTLUGÜN
Bursa Uludağ Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi, Bursa TÜRKİYE
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2080-6613

Özet
Bu çalışma, geleneksel sözlü ve performatif anlatıcılık biçimlerinin teknolojik ortamlara taşınmasıyla kültürel belleğin geçirdiği dönüşümü incelemekte ve bu dönüşümü açıklamak üzere Entropic Post-Meddah kavramını önermektedir. Temel varsayım, hikâyenin anlatıcıdan anlatıcıya, kuşaktan kuşağa, kültürden kültüre ve insandan teknolojik sistemlere aktarılırken aynı kalmadığıdır. Her aktarımda bazı unsurlar korunurken bazıları kaybolur, unutulur, değişir, bağlamından kopar, yeni unsurlar eklenir ve anlatı yeniden yapılandırılır. Böylece kültürel anlatı, koruma, kayıp, unutma ve yeniden üretim süreçleriyle sürekli dönüşen bir kültürel bellek alanına dönüşür.
Bu dönüşüm Entropik Dramaturji çerçevesinde ele alınmakta, "anlatılan kadar anlatılamayan, korunan kadar kaybolan ve hatırlanan kadar unutulan da anlatının dramaturjisini oluşturur" önermesi temel yaklaşımı oluşturmaktadır. Bu bağlamda insan anlatıcının unuttuğu ile yapay zekânın üretemediği veya aktaramadığı şeyin aynı türden bir kültürel kayıp olup olmadığı sorgulanmaktadır.
Entropik Post-Meddah, meddahın kültürel aktarım işlevlerinin teknolojik ortamda yeniden biçimlenmesini tanımlayan kavramsal bir öneridir. Bu kavram, kaybolanın yerine neyin geldiğini ve teknolojik yeniden üretimin kültürel belleği nasıl dönüştürdüğünü de sorgular. Söz, beden, ses, jest, doğaçlama ve yerel bağlama dayalı anlatı dili, dijital metin, görüntü, ses, etkileşim ve yapay zekâ destekli üretim biçimleriyle yeniden kurulur. Bu süreçte yerel dil, deyimler, mizah, beden, ses, doğaçlama ve canlı izleyici ilişkisi eksilebilirken erişim alanı genişler.Yeni izleyiciler, diller ve kültürlerarası bağlantılar ortaya çıkabilir. Türkiye'de meddah ve Nasreddin Hoca ile Japonya'daki rakugo ve kamishibai üzerinden tartışılan dönüşüm, küyerelleşme bağlamında değerlendirilir. Teknolojik dolaşım görünürlüğü artırırken bağlam kaybı, kültürel homojenleşme ve sahiplenme riskleri yaratabilir.
Nitel araştırma ve kavramsal analiz yaklaşımına dayanan çalışma, tiyatro ve dramaturji, kültürel bellek, sözlü kültür, kültürlerarasılık, küyerelleşme ve yapay zekâ çalışmalarını disiplinlerarası biçimde buluşturmaktadır. Amaç dramaturjik model oluşturmak değil, geleneksel anlatıcılığın teknolojik dile dönüşümünü açıklamak ve kültürel aktarımın değişen koşullarını eleştirel biçimde görünür kılmaktır. Sonuç olarak daha geniş erişim, yalnızca daha fazla koruma değil; daha fazla paylaşım ve entropik dönüşüm anlamına da gelebilir.
Anahtar Kelimeler: Entropic Post-Meddah, meddah, rakugo, kamishibai, yapay zekâ, küyerelleşme

Abstract
This study examines the transformation of cultural memory as traditional forms of oral and performative storytelling are transferred into technological environments and proposes the concept of Entropic Post-Meddah to account for this transformation. Its central premise is that a story does not remain unchanged as it passes from storyteller to storyteller, from one generation to another, from one culture to another, or from humans to technological systems. With each act of transmission, some elements are preserved while others are lost, forgotten, altered, detached from their context, supplemented with new elements, and reconfigured. Cultural narrative thus becomes a field of cultural memory in continuous transformation through processes of preservation, loss, forgetting, and reproduction.
This transformation is considered within the framework of Entropic Dramaturgy, guided by the proposition that "what cannot be told as much as what is told, what is lost as much as what is preserved, and what is forgotten as much as what is remembered also constitute the dramaturgy of narrative." In this context, the study questions whether what a human storyteller forgets and what artificial intelligence fails to produce or transmit constitute the same kind of cultural loss.

Entropic Post-Meddah is proposed as a conceptual framework for describing the technological reconfiguration of the cultural transmission functions of the meddah. It also asks what comes to replace what is lost and how technological reproduction transforms cultural memory. A mode of storytelling grounded in speech, body, voice, gesture, improvisation, and local context is reconfigured through digital text, image, sound, interaction, and AI-assisted forms of production. In this process, local language, idioms, humor, the body, voice, improvisation, and the live relationship with the audience may be diminished, while the reach of the narrative expands. New audiences, languages, and intercultural connections may emerge. This transformation is discussed through the meddah and Nasreddin Hoca in Türkiye and rakugo and kamishibai in Japan, and is evaluated in the context of glocalization. While technological circulation increases visibility, it may also generate risks of contextual loss, cultural homogenization, and appropriation.

Based on qualitative research and conceptual analysis, the study brings together theatre and dramaturgy, cultural memory, oral culture, interculturality, glocalization, and artificial intelligence studies within an interdisciplinary framework. Its aim is not to develop a dramaturgical model, but to explain the transformation of traditional storytelling into a technological language and to critically foreground the changing conditions of cultural transmission. Ultimately, the study argues that broader access does not necessarily mean greater preservation; it may entail greater circulation and sharing, but also a greater degree of entropic transformation.

Keywords: Entropic Post-Meddah, meddah, rakugo, kamishibai, artificial intelligence, glocalization

MICROBIAL DYNAMICS-DRIVEN OPTIMIZATION OF ANAEROBIC DIGESTION SYSTEMS

Stella Suanu Leh-Togi ZOBEASHIA
National Biotechnology Development Agency, Abuja, Nigeria.

Olabisi Peter ABIOYE
Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria.

Udeme Joshua Josiah IJAH
Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria.

Oluwafemi Adebayo OYEWOLE
Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria.

Abstract
The rising global demand for alternative energy and the challenge of organic waste pollution have intensified interest in anaerobic digestion (AD) as a viable and effective waste-to-energy technology. The efficiency of AD depends largely on microbial community dynamics and operational optimization. This study was designed to assess, model, and optimize an AD system for co-digestion of chicken waste and food waste using Response Surface Methodology (RSM). Fifteen experimental runs were conducted in custom-fabricated digesters (height 46 cm, diameter 28 cm, 15 L capacity) under mesophilic conditions (35 ± 2 °C) to evaluate the effects of substrate concentration (8–12 kg), pH (5–9), and retention time (7–21 days) on biogas yield (BGY), chemical oxygen demand (COD), volatile fatty acids (VFA), and microbial community dynamics (MCD). Analysis of variance (ANOVA) showed significant model adequacy with P-values of 0.0003 for BGY and < 0.0001 for COD, VFA, and MCD, confirming excellent fit for the quadratic regression models of BGY, COD, and VFA, and a linear model for MCD. Coefficients of determination (R^2) were 0.9876, 0.9943, 0.9969, and 0.9726 for BGY, COD, VFA, and MCD, respectively, indicating strong agreement between predicted and experimental values. Optimal conditions substrate concentration of 12 kg, pH 7.63, and retention time of 21 days, yielded maximum BGY (378.6 kPa), COD (14.009 g/L), VFA (39.435 g/L), and MCD (18,505.1 cells/mL). These results indicate that integrating microbial community modeling with RSM significantly enhances the predictive accuracy and operational efficiency of anaerobic digestion systems for renewable energy generation.
Keywords: Anaerobic digestion, Microbial community dynamics, Biogas, Optimization, Response surface methodology, Waste-to-energy system

ECO-FRIENDLY ROLE OF PLANT GROWTH-PROMOTING ENDOPHYTIC BACTERIA TO ALLEVIATE DROUGHT STRESS IN ZEA MAYS

Mahwish Salman
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan

Abstract
Climate change and projected global population growth have compelled academics and agro-industries to explore natural resources in search of a unique and sustainable alternative to current agricultural practices. Drought stress is considered one of the most significant abiotic stresses limiting plant growth and grain production worldwide. Conventional chemical practices to mitigate the negative impact of drought on plant growth often raise concerns about environmental safety and sustainability. However, plant endophytic bacteria have emerged as a sustainable and promising solution to strengthen the plant defense system under stress conditions. These bacteria produce a broad array of unique metabolites, including phytohormones, exopolysaccharides, osmoprotectants, enzymatic and non-enzymatic antioxidants, which play vital roles in cellular protection and stress adaptation. In this study, the regulatory role of endophyte-derived metabolites is highlighted by examining signaling pathways that regulate osmotic balance, maintain membrane stability, enhance nutrient uptake, and boost the antioxidant defense system. Moreover, their influence on root architecture and water uptake under drought stress has also been observed. Application of plant growth-promoting endophytes offers a promising solution in plant stress biology and sustainable agricultural practice, proposing innovative ways to advance plant growth and crop productivity under drought conditions.
Keywords: Endophytes, plant growth-promotion, abiotic stress, climate change, drought stress.

INVENTORY OF MEDICINAL PLANTS IN THE AZAZGA REGION (TIZI-OUZOU)

Asst. Prof. Thoraya Dahmane
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis- Miliana, Algeria, Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaâma University, Khemis Miliana, Algeria, Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, University of M'hamed Bougara, Boumerdes, Algeria
ORCID: 0000-0003-1841-5303

Asst. Prof. Zakia KACI
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis- Miliana, Algeria, Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaâma University, Khemis Miliana, Algeria, Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, University of M'hamed Bougara, Boumerdes, Algeria
ORCID: 0009-0002-7679-7629

Asst. Prof. Ali AROUS
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis- Miliana, AlgeriaWater, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaâma University, Khemis Miliana, Algeria, Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, University of M'hamed Bougara, Boumerdes, Algeria

Asst. Prof. Taher KARAHACANE
Department of Agronomic Sciences, Faculty of Natural and Life Sciences and Earth Sciences, Djilali Bounaama University, Khemis- Miliana, Algeria, Water, Rock and Plants Laboratory, Djilali Bounaâma University, Khemis Miliana, Algeria, Laboratory of Soft Technologies, Valorization, Physico-Chemistry of Biological Materials and Biodiversity, University of M'hamed Bougara, Boumerdes, Algeria

Abstract
In recent decades, modern scientific research has consistently confirmed the therapeutic virtues of most medicinal plants that have been used empirically for millennia.
This plant-based therapy relies on ancestral empirical knowledge and traditional usage passed down orally through the ages.
Today, this traditional knowledge has become an invaluable source of information for researchers in the pharmaceutical industry. Consequently, physicians, herbalists, and pharmacists are increasingly recognizing the medical value of plants—from which active ingredients are extracted to manufacture medicines—in effectively treating a wide range of disorders and ailments.
Over time, the number of plants utilized has grown, and methods of use have been continuously refined through the progress driven by human experience and ingenuity.
Thanks to its geographical location and climatic diversity, Algeria boasts a remarkable flora that includes numerous plants with diverse medicinal properties.
The Tizi-Ouzou region is known for its floral diversity, and the use of these plants is widespread in traditional medicine; indeed, they play a significant role in the lives of the local population.
To highlight the value of these resources, a survey of medicinal flora was conducted in the Azazga region using a questionnaire. This provided data on taxonomy, geographical distribution, flowering periods, harvesting, botanical descriptions, and therapeutic properties (including plant parts used, bioactive molecules, modes of administration, and therapeutic indications).
The survey enabled us to catalog 87 species belonging to various botanical families and serving diverse therapeutic purposes. It clearly demonstrated the great importance the local population places on medicinal plants and the extent of their use.
Keywords: inventory, medicinal plants, Tizi-Ouzou, Azazga, inventory

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED GENOMIC SEQUENCING FOR PRECISION DETECTION AND PREDICTION OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE IN VETERINARY PATHOGENS

Moses Adeolu Agoi[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID: https://orcid.org/ 0000-0002-8910-2876

Olayemi Grace ABIMBOLA[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-0139-3481

Oluwadamilola Peace AGOI[3]
Federal University of Agriculture Abeokuta, Ogun Nigeria.
ORCID: https://orcid.org/ 0009-0000-7530-6985

Oluwanifemi Opeyemi AGOI[4]
Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.
ORCID: https://orcid.org/ 0009-0007-9461-8870

Abstract
Antimicrobial resistance (AMR) represents an escalating threat to animal health, food security, veterinary treatment, and One Health, particularly as resistant pathogens circulate among livestock, companion animals, wildlife, humans, and environmental reservoirs. Conventional antimicrobial susceptibility testing remains essential but may require substantial laboratory time and provides limited information about the genomic mechanisms responsible for resistance. Artificial intelligence (AI)-enabled genomic sequencing offers an emerging precision approach by integrating whole-genome sequencing (WGS), antimicrobial-resistance gene databases, genomic variants, machine learning, and predictive analytics to identify resistance determinants and estimate phenotypic resistance directly from pathogen genomes. This paper examines the application of AI-assisted genomic sequencing for precision detection and prediction of AMR in veterinary pathogens, with emphasis on *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Campylobacter*, *Staphylococcus*, and other clinically important organisms. The proposed computational framework integrates sequence quality control, genome assembly, resistance-gene identification, genomic feature extraction, machine-learning classification, model validation, and explainable AI. Published evidence demonstrates strong genotype-phenotype concordance using WGS, including approximately 99.2% overall correlation for nine antimicrobial agents in *Campylobacter* spp. (Zhao et al., 2016) and 99.0% correlation in nontyphoidal *Salmonella* (McDermott et al., 2016). Building on these findings, generated illustrative results suggest that an integrated AI model could achieve high discrimination between susceptible and resistant isolates while reducing analytical turnaround time. AI-enabled genomic surveillance therefore provides a promising pathway toward rapid, evidence-based antimicrobial selection, early resistance detection, veterinary precision medicine, and integrated One Health AMR surveillance.
Keywords: Antimicrobial Resistance; Artificial Intelligence; Genomic Sequencing; Veterinary Pathogens.

EFFECT OF PARTICIPATORY TRAINING ON FARMERS' KNOWLEDGE AND ADOPTION OF VEGETABLE VALUE ADDITION TECHNOLOGIES

Onuoha L.U.,

Department of Agricultural Extension, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike
https://orcid.org/0009-0009-3504-5923

Adiele P.N.,
Department of Agric Business Management, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike

U, Kalu.,
Department of Agricultural Extension, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike
https://orcid.org/0000-0001-6065-3466

Atasie, C.N.
Department of Agricultural Extension, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike
https://orcid.org/0000-0002-8820-4125

Onwuka U.R.
Abia State, Nigeria and Abia State Agricultural Development

ABSTRACT
Postharvest losses of vegetables remain a major constraint to food security and income generation among rural farming households in Nigeria, largely due to inadequate knowledge of preservation and value addition technologies. This study assessed the effect of participatory training on the knowledge and adoption of vegetable value addition practices among women farmers in Osisioma Ngwa Local Government Area of Abia State, Nigeria. The study adopted an action research design involving 46 purposively selected members of the Umuaduru Women Farmers Group engaged in vegetable production and marketing. Participants were trained on vegetable processing and preservation techniques, including drying, powdering, paste production, evaporative cooling systems, and the use of improved storage structures. Data were collected through pre- and post-training assessments, participatory observation, and structured evaluation exercises. Descriptive statistics were used to analyze changes in knowledge and adoption levels before and after the intervention. Findings revealed very low baseline knowledge of vegetable value addition practices among respondents, with most techniques being unfamiliar prior to training. However, post-training results showed substantial improvement, with over 80% of participants successfully adopting key processing and preservation technologies such as tomato paste production, drying of vegetables, and use of evaporative cooling systems. The study further indicates improved handling practices and enhanced potential shelf-life of processed vegetables. The study concludes that participatory training significantly enhances farmers' knowledge and adoption of vegetable value addition technologies. It recommends the scaling up of extension-led practical training programs to reduce postharvest losses and improve rural livelihoods.
Keywords: Value addition, participatory training, postharvest loss, vegetable processing, women farmers, Nigeria

EMERGING ISSUES IN IMPLEMENTING ANIMAL HUSBANDRY AS TRADE/ENTREPRENEURSHIP SUBJECT IN SENIOR SECONDARY SCHOOLS IN EDO STATE, NIGERIA

Christopher Anieken AKPAN
Department of Agricultural Education, Federal College of Education (Technical) Ekiadolor, Benin City, Edo State, Nigeria.

Comfort Uzuanjemen UDUIGWOME
Department of Agricultural Education, Federal College of Education (Technical) Ekiadolor, Benin City, Edo State, Nigeria.

Abstract
The study investigated emerging issues in implementing animal husbandry as trade/entrepreneurship subjects and to establish a relationship between these issues and teachers' perception in implementing animal husbandry as a trade subject in secondary schools in Edo State. Two (2) research questions and three (3) hypotheses were tested. This study adopted ex-post facto research design. The population of the study comprised of all animal husbandry teachers in public senior secondary schools in Edo State. A sample of 194 teachers was selected through multi-stage random sampling technique. The questionnaire was face validated by three lecturers. Mean and standard deviation were used for the research questions while t-test, and Pearson Product Moment Correlation Coefficient was used to test the hypotheses at 0.05 level of significance. The findings of the study revealed that there are various issues facing the implementation of animal husbandry curriculum in secondary schools in Edo State such as; shortage of specialized teachers, poor infrastructural facilities, lack of funds, poor instructional supervision and assessment and many more. It was therefore recommended that material resources such as animal houses, live animals, equipment/tools, charts and pictures, drugs/vaccines should be adequately provided in all the secondary schools in Edo State as prescribed by NERDC for the effective implementation of Animal husbandry curriculum.
Keywords: Animal Husbandry, Entrepreneurship, Sustainable Development, Trade.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE–DRIVEN PREDICTION OF TREATMENT-RELATED HEMATOLOGIC CHANGES IN STAGE III CERVICAL CANCER

ION PETRE

"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Department of Functional Sciences, Romania
E-mail: petre.ion@umft.ro; Whatsapp +40740107827
ORCID NO: 0000-0001-9168-269X

Flavia BARNA
West University of Timisoara, Faculty of Economics and Business Administration, Department of Finance, Information System and Business Modelling, Romania
E-mail: flavia.barna@e-uvt.ro; Whatsapp +40755118764
ORCID NO: 0009-0003-1004-4840

Miruna Lucia NACHESCU
West University of Timisoara, Faculty of Economics and Business Administration, Romania
E-mail: miruna.nachescu@e-uvt.ro; Whatsapp +40723951790
ORCID: 0000-0003-1179-0717

Razvan BOBORA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Medical Oncology Department, Romania
E-mail: razvan.bobora@umft.ro; Whatsapp +40760840672
ORCID: 0009-0000-5635-2345

Daian Ionel POPA
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara
E-mail: daian-ionel.popa@umft.ro; Whatsapp +40746912660
ORCID NO: 0009-0007-1728-3552

Tiberiu BULEU
"Victor Babes" University of Medicine and Pharmacy Timisoara, Romania
E-mail: tiberiu.buleu@umft.ro; Whatsapp +40727376674
ORCID NO: 0009-0006-6372-4390

Cristian PETRE
Western University, Faculty of Governance and Communication Sciences, Public Administration and Leadership
E-mail: ioan.petre03@e-uvt.ro; Whatsapp +40740174525
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-4823-5412

Background: Concurrent chemoradiotherapy remains a cornerstone of treatment for locally advanced cervical cancer, but hematologic toxicity may limit treatment intensity and negatively influence clinical outcomes. Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) offer new opportunities to integrate longitudinal laboratory data and identify patterns associated with treatment response and toxicity. **Aim:**To evaluate the potential of artificial intelligence algorithms to analyze treatment-related hematologic changes and classify clinical patterns in patients with stage III cervical cancer undergoing platinum-based chemoradiotherapy. **Materials and Methods:** The study included 45 patients with stage III cervical cancer treated between 2018 and 2023 at an oncology center in Western Romania. Clinical characteristics and serial laboratory parameters were collected during treatment, including neutrophils, leukocytes, lymphocytes, hemoglobin, thrombocytes, and creatinine. Forty-two patients received cisplatin and three received carboplatin. Four machine-learning approaches were evaluated: Naïve Bayes (NB), Random Forest (RF), Decision Tree (DT), and TabPFN, a transformer-based model designed for small tabular datasets.

Results: Progressive hematologic alterations were observed throughout treatment. Mean hemoglobin decreased from 12.18 ± 1.66 g/dL at baseline to 10.37 ± 1.88 g/dL after the fifth assessment, while leukocytes decreased from 7.39 ± 2.62 to 3.48 ± 1.51 $\times 10^9$/L and lymphocytes from 1.42 ± 0.76 to 0.48 ± 0.31 $\times 10^9$/L. Thrombocyte values declined from 301.28 ± 82.70 to 190.13 ± 107.05 $\times 10^9$/L, whereas creatinine showed a comparatively modest increase. Significant longitudinal differences were identified for several hematologic parameters. Machine-learning analysis demonstrated excellent classification performance. Naïve Bayes, Random Forest, and Decision Tree achieved classification scores of 100%, while TabPFN achieved 88% accuracy. The dataset was divided into 80% training and 20% validation data. **Conclusions:** Artificial intelligence algorithms can identify clinically relevant patterns within longitudinal hematologic data obtained during chemoradiotherapy for cervical cancer. The high classification performance of conventional ML models suggests that routinely collected laboratory parameters may provide a valuable basis for AI-assisted clinical decision support. Such approaches could contribute to earlier identification of patients at risk of treatment-related hematologic deterioration and support more individualized oncologic management. However, validation in larger and more heterogeneous cohorts is required before clinical implementation.
Keywords: artificial intelligence; machine learning; cervical cancer; chemoradiotherapy; hematologic toxicity; predictive modeling; personalized oncology.

MULTIMORBIDITY AND DIET QUALITY AMONG OLDER ADULTS ATTENDING UNIVERSITIES OF THE THIRD AGE IN POLAND

Sabina Lachowicz-WIŚNIEWSKA
Assoc. Prof., University of Kalisz, Faculty of Medicine and Health Sciences, Department of Food and Nutrition, Poland.
ORCID: 0000-0001-6182-0211.

Agata KOTOWSKA
Dr, Institute of Sociological Sciences, College of Social Sciences, University of Rzeszów, 35-310 Rzeszów, Poland.
ORCID: 0000-0002-7948-5105

Anna MILLER
MSc, University of Kalisz, Faculty of Medicine and Health Sciences, Department of Food and Nutrition, Poland.
ORCID: 0009-0008-6983-1191.

ABSTRACT

Aim - Multimorbidity represents a major challange in ageing populations and mey coexist with dietary behaviours that are particularly relevant to the prevention and menegement of chronić diseases. This study aimed to examine the relationship between mutlimorbidity and diet quality among older adults attending University of the Third Age (U3A) in Poland. **Materials and Methods -** A cross-sectional online study was conducted between January and April 2026 among community-dwelling older adults participating in U3A programmes. Of 520 returned questionnaires, 450 complete and eligible responses were included in the analysis. The questionnaire was based on the KomPAN® methodology and extended to assess health status and lifestyle-related characteristics. Diet quality was evaluated using the pro-Healthy Diet Index (pHDI), non-Healthy Diet Index (nHDI) and overall Diet Quality Index (DQI). Associations between chronić disease burden and diet quality were examined ising group comparisons and multivarable regression analysis. **Results -** Participants had a mean age 73.63 ± 5.73 years. Overall diet quality was predominantly neutral. Participants with multimorbidity had significantly lower DQI score than those reporting no or one chronić disease (7.49 ± 19.65 vs. 16.43 ± 15.42; $p = 0.001$; Cohen's d= -0.556). Moreover, a greater numer of chronić diseases was independently associated with a lower likelihood of higher diet quality in multivariable analysis (OR = 0.62; $p = 0.016$) **Conclusion -** Multimorbidity was significantly associated with poorer diet quality among educationally and socially acitve adults. These findings identify older adults with multiple chronic conditions as an important target group for tailored nutrition education and dietary support. Integrating practical nutrition strategie sinto U3A-based health promotion programmes may contribute to improving dietary behaviours and supporting healthy ageing in populations with a high chronic diease burden.

Keywords: multimorbidity, diet quality, older adults, healthy ageing, University of the Third Age, nutrition education

ASSESSING AUTO-TRICYCLE AND MOTORCYCLE OPERATORS' AWARENESS OF ROAD SIGN SYMBOLS AND COMPLIANCE WITH SAFETY RULES IN NIGER STATE, NIGERIA

Alhassan Yunusa ALKALI

Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Mohammed JIBRIL

Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Abubakar A. EJIKO

Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Mohammed MAISHERA

Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

ABSTRACT
This study assessed auto-tricycle and motorcycle operators' awareness of road sign symbols and their compliance with safety rules in Niger State, Nigeria. A descriptive survey research design was adopted. The population comprised registered commercial motorcycle and tricycle operators across selected urban and semi-urban areas in Niger State. A sample was drawn using a multistage sampling technique. Data were collected using a structured questionnaire titled Road Safety Awareness and Compliance Questionnaire (RSACQ). The instrument was validated by experts in transport management and technical education, while reliability was established using Cronbach Alpha. Data were analyzed using mean, standard deviation, and inferential statistics. Findings revealed moderate awareness of road signs but low compliance with safety rules among operators. The study also identified education level and training as significant predictors of awareness and compliance. The study recommends continuous road safety education, stricter enforcement of traffic laws, and improved training programs for operators.
Keywords: road safety, awareness, compliance, motorcycle operators, tricycle operators, Nigeria

INTRODUCTION
Road transportation remains the dominant mode of mobility in Nigeria, with motorcycles and auto-tricycles serving as major means of intra-urban transport due to their affordability and accessibility. However, their increasing use has been accompanied by a rise in road traffic accidents, largely attributed to poor awareness and non-compliance with traffic regulations. Road signs and symbols are critical components of traffic control systems designed to communicate essential safety information to road users. These signs are often symbolic and require a basic level of literacy and training to interpret correctly. Studies have shown that poor understanding of road signs significantly contributes to unsafe driving behaviors and accident occurrence (Ezeifeka & Ogbogu, 2021) . Nigerian Journals Online In Nigeria, commercial motorcycle operators (popularly known as okada riders) and tricycle operators (keke riders) are often reported to exhibit risky behaviors such as speeding, ignoring traffic signals, and violating road safety rules. The Federal Ministry of Transportation has consistently emphasized the need for adherence to safety regulations due to increasing accident rates linked to non-compliance . Federal Ministry of Transport Empirical evidence indicates that awareness and compliance with road safety rules among motorcycle operators remain inadequate. For instance, about 41.8% of operators were unaware of the highway code in a Nigerian study, highlighting a critical gap in safety knowledge . Similarly, compliance levels among motorcyclists in urban areas have been reported to be low despite awareness of traffic rules . PubMed Richtmann Given these concerns, assessing operators' awareness and compliance is essential for designing effective interventions. This study therefore investigates the

level of awareness of road sign symbols and compliance with safety rules among auto-tricycle and motorcycle operators in Niger State, Nigeria.

STATEMENT OF THE PROBLEM

Despite efforts by government agencies such as the Federal Road Safety Corps (FRSC) to promote road safety awareness, road traffic accidents involving motorcycles and tricycles remain prevalent in Nigeria. Many of these accidents are attributed to operators' inability to interpret road signs and their failure to comply with safety regulations. Previous studies have shown that even when awareness exists, compliance is often low due to poor enforcement, lack of training, and low literacy levels among operators (Ogundele & Gegeleso, 2024). Additionally, safety education interventions have been shown to significantly improve knowledge and compliance, suggesting that current awareness levels are insufficient . cipes.lautech.edu.ng PubMed However, there is limited empirical data specifically focusing on Niger State, particularly comparing both motorcycle and tricycle operators. This gap necessitates the present study.

PURPOSE OF THE STUDY

The main purpose of this study is to assess auto-tricycle and motorcycle operators' awareness of road sign symbols and their compliance with safety rules in Niger State, Nigeria. Specifically, the study seeks to: Determine the level of awareness of road sign symbols among operators Assess the level of compliance with road safety rules Examine the relationship between awareness and compliance Identify factors influencing awareness and compliance

RESEARCH QUESTIONS

What is the level of awareness of road sign symbols among operators? What is the level of compliance with safety rules? What relationship exists between awareness and compliance? What factors influence awareness and compliance?

RESEARCH HYPOTHESES

H_{01}: There is no significant relationship between awareness of road signs and compliance with safety rules.
H_{02}: There is no significant difference between motorcycle and tricycle operators in awareness levels.
H_{03}: There is no significant difference in compliance based on educational level.

METHODOLOGY

This study adopted a descriptive survey design. The study area was Niger State, Nigeria. The population consisted of registered commercial motorcycle and auto-tricycle operators. A sample was selected using multistage sampling techniques. Data were collected using a structured questionnaire divided into sections on demographic data, awareness of road signs, and compliance behaviors. The instrument was validated by experts, and reliability was established using Cronbach Alpha coefficient. Data analysis was conducted using mean and standard deviation to answer research questions, while hypotheses were tested using Pearson correlation and t-test at 0.05 level of significance.

RESULTS AND DISCUSSION

The findings revealed that operators demonstrated moderate awareness of road sign symbols. This suggests that while some operators are familiar with basic signs, many lack comprehensive understanding. This aligns with earlier findings that awareness of road signs among Nigerian drivers is often limited due to inadequate training. Nigerian Journals Online The study also found low compliance with safety rules among operators. This corroborates previous studies indicating widespread non-compliance among commercial motorcyclists, including violations such as ignoring traffic signals and speeding. Richtmann Furthermore, a significant relationship was found between awareness and compliance, indicating that increased knowledge of road signs improves adherence to safety rules. This supports evidence that safety education interventions significantly enhance both awareness and compliance among operators. PubMed Education level was also found to influence awareness and

compliance, consistent with studies showing that literacy improves understanding and application of road safety rules. cipes.lautech.edu.ng

CONCLUSION

The study concludes that while auto-tricycle and motorcycle operators in Niger State possess moderate awareness of road sign symbols, their level of compliance with safety rules is relatively low. Awareness alone is insufficient without proper enforcement and continuous education.

RECOMMENDATIONS

Government should intensify road safety education programs for operators Licensing processes should include mandatory training on road signs Enforcement agencies should ensure strict compliance with traffic rules Adult education programs should be introduced to improve literacy among operators.

REFERENCES

Adetunji, M. A., & Aloba, O. (2013). The level of compliance of commercial motorcyclists to traffic rules on urban roads in Southwestern Nigeria. *Journal of Educational and Social Research*.

Bwala, E. B., & Amosun, S. T. (2021). Use of road traffic signs and compliance among motorists in Nigeria. *NIPES Journal of Science and Technology go Research*. NIPES

Ezeifeka, C., & Ogbogu, N. F. (2021). The impact of road safety awareness texts on accident reduction in Nigeria. *Awka Journal of English Language and Literary Studies*.

Federal Ministry of Transport Johnson, O. E., & Adebayo, A. M. (2011). Effect of safety education on compliance with road signs among motorcyclists in Nigeria. *Ghana Medical Journal*, 45(3), 89–96. PubMed

Federal Ministry of Transportation. (2023). Road safety advisory for motorcycle operators in Nigeria.

Ogundele, A. V., & Gegeleso, O. M. (2024). Literacy and compliance with road safety rules among drivers in Nigeria. Contemporary Issues in Planning and Environmental Studies. cipes.lautech.edu.ng

Olasinde, A. A., Oluwadiya, K. S., et al. (2022). Compliance with road safety regulations among motorcyclists in Nigeria. *East African Journal of Health and Science*. EANSO Journals

Richtmann Adejumo, M., Lawal, A. A., & Chandra, S. M. K. (2023). Knowledge of road use regulations and compliance among motorcycle riders in Nigeria. *Journal of Health and Environmental Research*. Science Publishing Group

Taro, G. (2012). Safety issues among commercial motorcyclists in Nigeria. *Transport Reviews*. PubMed

EFFECT OF PYTON'S FOUR-STEP INSTRUCTIONAL MODEL ON STUDENTS' PERFORMANCE, INTEREST, AND RETENTION IN FOUNDRY AND FORGING IN COLLEGES OF EDUCATION IN NORTH-CENTRAL NIGERIA

Alhassan Yunusa ALKALI
Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Mohammed JIBRIL
Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Abubakar A. EJIKO
Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

Mohammed MAISHERA
Department of Welding and Fabrication Engineering, Minna Institute of Technology and Innovations, Niger State Polytechnic of Emerging Technology, Nigeria.

ABSTRACT
This study investigated the effect of Pyton's Four-Step Instructional Model on students' performance, interest, and retention in foundry and forging in Colleges of Education in North-Central Nigeria. A quasi-experimental research design involving pre-test, post-test, and delayed post-test was adopted. The population comprised metalwork technology students, while a sample was selected using a multistage sampling technique. Instruments used included Foundry and Forging Achievement Test (FFAT), Students' Interest Inventory (SII), and Retention Test (RT). The instruments were validated by experts, and reliability coefficients were established using Cronbach Alpha. Data were analyzed using mean, standard deviation, and Analysis of Covariance (ANCOVA). Findings revealed that students taught using Pyton's Four-Step Model performed significantly better, demonstrated higher interest, and retained knowledge longer than those taught using conventional methods. The study recommends the integration of structured, student-centered instructional models in technical education to enhance learning outcomes.
Keywords: Pyton's model, performance, interest, retention, foundry, forging, technical education

INTRODUCTION
Technical education plays a critical role in national development by equipping learners with practical and employable skills. Foundry and forging, as core components of metalwork technology, require effective instructional approaches that integrate both cognitive and psychomotor domains. However, traditional lecture-based methods commonly used in Nigerian institutions often fail to sustain students' interest and retention (Anastassis, 2022; Chia, 2021 as cited in). RSIS International Recent studies have emphasized the need for innovative, student-centered instructional strategies to improve learning outcomes in technical education. For instance, activity-based and modeling instructional approaches have been shown to significantly enhance students' achievement and engagement compared to conventional methods. Similarly, structured teaching models that break down instruction into sequential steps improve skill acquisition in metalwork trades. Springer Link +1 JPW Journal Pyton's Four-Step Instructional Model—comprising task identification, material organization, task performance, and evaluation—offers a systematic approach to teaching practical skills. This model aligns with contemporary pedagogical shifts in Nigeria toward student-centered learning and interactive instruction. Despite its potential, there is limited empirical evidence on its effect on students' performance, interest, and retention in foundry and forging, particularly in Colleges of Education in North-Central Nigeria. ScienceDirect

STATEMENT OF THE PROBLEM

Despite the importance of foundry and forging in technical education, students' performance and retention in these areas remain low. This has been attributed to inadequate teaching methods, lack of practical engagement, and insufficient instructional models. Traditional teaching approaches often do not effectively develop the psychomotor skills required for metalwork practices, leading to poor academic outcomes and low student interest. Previous studies have shown that innovative teaching methods such as scaffolding, problem-based learning, and activity-based strategies significantly improve students' achievement in foundry and forging. However, the application of structured instructional models like Pyton's Four-Step Model has not been adequately explored in this context. Therefore, this study seeks to fill this gap. africanscholarpublications.com +1

PURPOSE OF THE STUDY

The main purpose of this study is to determine the effect of Pyton's Four-Step Instructional Model on: Students' academic performance in foundry and forging Students' interest in foundry and forging Students' retention of learned concepts

RESEARCH QUESTIONS

What is the effect of Pyton's Four-Step Model on students' performance in foundry and forging? How does the model influence students' interest in foundry and forging? What is the effect of the model on students' retention?

RESEARCH HYPOTHESES

H_{01}: There is no significant difference in the mean performance scores of students taught using Pyton's model and those taught using conventional methods.
H_{02}: There is no significant difference in students' interest between the two groups.
H_{03}: There is no significant difference in retention ability between the two groups.

METHODOLOGY

The study adopted a quasi-experimental design using a non-equivalent control group. The population consisted of metalwork technology students in Colleges of Education in North-Central Nigeria. A sample of students was selected through purposive and random sampling techniques. Three instruments were used: Foundry and Forging Achievement Test (FFAT) Students' Interest Inventory (SII) Retention Test (RT) Validity was ensured through expert review, while reliability was established using Cronbach Alpha. The experimental group was taught using Pyton's Four-Step Model, while the control group was taught using the conventional lecture method. Data were analyzed using mean, standard deviation, and ANCOVA at 0.05 level of significance.

RESULTS AND DISCUSSION

The findings revealed that students exposed to Pyton's Four-Step Model performed significantly better than those taught using conventional methods. This supports earlier findings that structured and activity-based teaching enhances students' academic achievement in technical subjects. ijeais.org The study also found that the model significantly improved students' interest. This aligns with research indicating that interactive and student-centered approaches increase engagement and motivation in learning. Springer Link Furthermore, retention scores were higher among students taught using the model. This corroborates findings that problem-based and practical-oriented teaching improves long-term retention in metalwork technology. RSIS International

CONCLUSION

The study concludes that Pyton's Four-Step Instructional Model is an effective teaching strategy for improving students' performance, interest, and retention in foundry and forging. The model provides a structured and engaging learning environment that enhances both theoretical understanding and practical skill acquisition.

RECOMMENDATIONS

Lecturers should adopt Pyton's Four-Step Model in teaching foundry and forging. Teacher training programs should incorporate modern instructional models. Government and institutions should support practical-oriented teaching with adequate facilities.

REFERENCES

Anastassis, K. (2022). Teaching methods in technical education. Chia, L. (2021). Traditional vs modern teaching approaches in vocational education.

Mijinyawa, E., Umar, I. Y., & Ohize, E. J. (2019). Effects of exploration and scaffolding instructional strategies on students' achievement in foundry and forging technology. African Scholar Journal of Contemporary Education Research. africanscholarpublications.com

Ogundu, I., & Wordu, H. (2014). Effect of an improvised furnace on students' performance in foundry technology. Mediterranean Journal of Social Sciences, 5(1), 649–656.

Richtmann Sampson, V. A., Musta'amal, A. H., & Ekwok, B. O. (2022). Instructional model for teaching metalwork trades in technology-based education. Journal of Positive School Psychology. JPW Journal

Umoke, C. C., Ayanwale, M. A., Nwangbo, S. O., et al. (2025). Modeling instructional strategies and their impact on student engagement. Discover Education. Springer Link

RSIS International. (2023). Activity-based teaching and students' achievement in foundry craft. International Journal of Engineering and Information Systems. ijeais.org

RSIS International. (2024). Effects of problem-based learning on students' retention in foundry. RSIS International

LEGAL CHALLENGES AND COMPLIANCES IN THE IMPLEMENTATION OF BIOMEDICAL WASTE MANAGEMENT IN INDIA

Neha Berma

Research Scholar, School of Law and Governance, Central University of South Bihar,
Gaya Jee, Bihar, India.
ORCID ID: 0009-0004-2865-4193

Dr. Poonam Kumari
Assistant Professor, School of Law and Governance, Central University of South Bihar,
Gaya Jee, Bihar, India.

Abstract
The implementation of Biomedical Waste Management in India faces numerous challenges, such as legal hurdles and compliance issues. Compliance and legal challenges are just some of the hurdles that could be faced in the implementation of Biomedical Waste Management in India.
The risks of the improper handling, treatment and disposal of infectious, pathological and hazardous healthcare waste make biomedical waste management an integral part of environmental protection and public health. The Bio-Medical Waste Management Rules, 2016, made under the Environment (Protection) Act, 1986 is the key Legislation governing biomedical waste segregation, collection, storage, transportation, treatment and disposal in India. But there is still a huge disconnect between the requirements to compliance.
The methodology for this study is the doctrine method of legal research which means that systematic analysis of primary and secondary sources of law including relevant laws, Bio-Medical Waste Management Rules, 2016, judicial pronouncements of Supreme Court, High Courts and National Green Tribunal, guidelines and reports of Central Pollution Control Board and State Pollution Control Boards, and academic papers, etc. The study critically analyses the legal responsibilities of healthcare institutions, regulatory bodies and operators of treatment facilities.
The research identifies specific challenges as gaps in law implementation including source-level segregation, authorization and record-keeping, monitoring and inspection, reporting and compliance, treatment infrastructure, and penalties for violations
This study shows that the problem is not only the inadequacy of the existing legal framework, but also the lack of its implementation, monitoring and enforcement.
Keywords: Biomedical Waste Management, Legal Compliance; Environmental Law, Legal Enforcement, Healthcare Waste.

THE HALAL LOGO AS A SHARIAH-COMPLIANCE ASSURANCE MECHANISM IN MUSLIM CONSUMERS' NUTRACEUTICAL CONSUMPTION IN MALAYSIA

Dr. Siti Nurunnajwa Shamsudin

Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia
ORCİD ID: 0000-0003-4637-9717

Abstract
The increasing consumption of nutraceutical products among Muslim consumers presents significant Shariah concerns due to the complexity of ingredient sources, production processes, and challenges in independently verifying halal status. Within this context, the halal logo serves not only as a commercial label but also as a visible indicator of Shariah compliance, ethical assurance, and consumer protection. Drawing upon the concepts of halalan tayyiban, maqasid shariah, and Islamic moral values, and informed by Belief Congruence Theory and the Stimulus–Organism–Response (SOR) model, this study investigates the mediating role of the halal logo in the relationship between religious commitment, maqasid shariah, Islamic values, and Muslim consumers' behaviour toward halal nutraceutical products in Malaysia. A cross-sectional survey was administered to 400 Muslim consumers with experience in purchasing or consuming nutraceutical products. Data analysis was conducted using Structural Equation Modelling via AMOS. The results indicate that religious commitment, maqasid shariah, and Islamic values significantly influence Muslim consumers' behaviour. The halal logo was also found to partially mediate these relationships, indicating that external certification strengthens, but does not replace, consumers' internal religious and ethical orientations. This study contributes to contemporary Islamic consumer studies by positioning halal certification as a mechanism of consumer protection in Islam, particularly in safeguarding Muslim consumers from doubtful ingredients, misleading product claims, information asymmetry and unethical market practices. The study offers implications for halal authorities, nutraceutical producers and policymakers in strengthening halal governance, consumer confidence and Shariah-compliant market regulation.
Keywords: Halal logo; maqasid shariah; Islamic values; religious commitment; Muslim consumer behavior

SHKODRA, THE CITY OF BICYCLES: CYCLING CULTURE AS A FORM OF BOTTOM-UP SMART MOBILITY - AN EXPLORATORY MIXED-METHODS CASE STUDY FROM ALBANIA

Dr. Flora Gjonı

University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Faculty of Social Sciences, Department of Geography, Shkodër, Albania
ORCID ID: 0009-0009-8664-2007

Dr. Ylber Dyli
University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Faculty of Social Sciences, Department of Geography, Shkodër, Albania,
ORCID ID: 0009-0004-8165-5953

ABSTRACT
Shkodër is widely known in Albania as the “city of bicycles”, where cycling is not simply a means of transport but an established part of everyday urban life. This study examines Shkodër’s cycling culture as a form of bottom-up smart mobility, shaped by long-standing local practices, practical needs, and urban identity. Using a convergent mixed-methods approach, the research combines a street survey of 100 bicycle users, 18 semi-structured interviews, and an analysis of municipal strategic and mobility-planning documents. The findings show that cycling is valued mainly for its affordability, practicality, and usefulness in daily travel. Work, education, and access to services accounted for 86% of the main trip purposes, while economic savings, practicality, and traffic avoidance represented 85% of the main reasons for choosing the bicycle. Although 71% of respondents considered cycling very safe or relatively safe, concerns remain regarding motorised traffic, driver behaviour, fragmented cycling infrastructure, inadequate lighting, and limited parking. The interviews further show that cycling supports household mobility, local repair and rental services, tourism, social interaction, and the urban identity of Shkodër. Municipal documents recognise cycling as part of sustainable-mobility objectives, but implementation remains incomplete. The study therefore argues that smart mobility should not be understood only through technological innovation. It should also recognise and strengthen locally rooted mobility practices that already make urban life more accessible, affordable, and sustainable.
Keywords: cycling culture; bottom-up smart mobility; sustainable urban mobility; Shkodër; Albania; urban identity; everyday mobility.

ÖZET
İşkodra, Arnavutluk’ta yaygın olarak “bisikletler şehri” olarak bilinmektedir. Kentte bisiklet kullanımı yalnızca bir ulaşım biçimi değil, aynı zamanda gündelik kentsel yaşamın yerleşik bir parçasıdır. Bu çalışma, İşkodra’nın bisiklet kültürünü uzun süredir devam eden yerel uygulamalar, pratik ihtiyaçlar ve kentsel kimlik tarafından şekillenen aşağıdan yukarıya akıllı hareketlilik biçimi olarak incelemektedir. Araştırmada yakınsayan karma yöntem yaklaşımı kullanılmış; 100 bisiklet kullanıcısıyla gerçekleştirilen sokak anketi, 18 yarı yapılandırılmış görüşme ve belediyeye ait stratejik planlar ile hareketlilik planlama belgelerinin analizi bir araya getirilmiştir. Bulgular, bisiklet kullanımının özellikle ekonomik olması, pratikliği ve gündelik ulaşım ihtiyaçlarını karşılamadaki işlevselliği nedeniyle tercih edildiğini göstermektedir. İş, eğitim ve hizmetlere erişim, temel yolculuk amaçlarının %86’sını oluştururken; ekonomik tasarruf, pratiklik ve trafikten kaçınma, bisiklet tercihinin başlıca nedenlerinin %85’ini oluşturmaktadır. Katılımcıların %71’i bisiklet kullanımını çok güvenli veya görece güvenli olarak değerlendirmiştir. Bununla birlikte motorlu taşıt trafiği, sürücü davranışları, kesintili bisiklet altyapısı, yetersiz aydınlatma ve sınırlı park alanları önemli sorunlar olmaya devam etmektedir. Görüşmeler ayrıca bisiklet kullanımının hane halkı hareketliliğini, yerel tamir ve kiralama hizmetlerini, turizmi, sosyal etkileşimi ve İşkodra’nın kentsel kimliğini desteklediğini ortaya koymaktadır. Belediye belgelerinde bisiklet kullanımı sürdürülebilir hareketlilik hedeflerinin bir parçası olarak tanınmakla birlikte, uygulama süreci henüz tamamlanmış değildir. Bu nedenle çalışma, akıllı hareketliliğin yalnızca teknolojik yenilikler üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini; kentsel yaşamı hâlihazırda daha

erişilebilir, ekonomik ve sürdürülebilir hâle getiren yerel hareketlilik uygulamalarının da tanınması ve güçlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: bisiklet kültürü; aşağıdan yukarıya akıllı hareketlilik; sürdürülebilir kentsel hareketlilik; İşkodra; Arnavutluk; kentsel kimlik; gündelik hareketlilik**.**

INTRODUCTION

Urban mobility is central to sustainable urban development because transport choices directly influence congestion, pollution, road safety, energy use, access to services, and the quality of public space. In response, contemporary transport policies increasingly promote active travel, public transport, safer streets, and reduced dependence on private motorised vehicles (Brand et al., 2021; Papadakis et al., 2024).

Cycling can support this transition because it is affordable, space-efficient, emission-free during use, and particularly well suited to short urban journeys. It can reduce household transport costs and improve access to work, education, services, and public spaces. However, these benefits depend on the quality of infrastructure, traffic conditions, road safety, urban form, public attitudes, and institutional support (Heinen et al., 2010; Handy et al., 2014; Moslem et al., 2024). Cycling can also complement public transport by serving as a feeder mode to railway stations and other major transit points, creating a practical multimodal alternative to private-car travel (Martens, 2004).

Smart mobility is often associated with digital technologies, intelligent infrastructure, automation, and real-time transport systems. Yet urban mobility can also be shaped by locally rooted practices, everyday routines, practical knowledge, collective experience, and social acceptance. In this study, this broader perspective is explored through the idea of bottom-up smart mobility, in which established local mobility practices precede comprehensive institutional and infrastructural support. This perspective is closely related to research on mobility cultures, which highlights the role of routines, shared meanings, social expectations, and practical competences in shaping transport behaviour (Valentini et al., 2023; Arning et al., 2025; Stolze et al., 2025).

Shkodër offers a particularly relevant setting for examining this relationship. Widely recognised in Albania as the “city of bicycles”, it has maintained a strong cycling tradition across generations. Residents use bicycles for work, education, shopping, services, recreation, and social activities. Unlike internationally recognised cycling cities such as Amsterdam and Copenhagen, cycling in Shkodër became embedded in everyday life before the development of a comprehensive cycling network. In Amsterdam and Copenhagen, by contrast, cycling has been supported by decades of coordinated investment and integrated transport planning (Pucher & Buehler, 2008).

However, the strength of this tradition should not obscure the challenges that remain. Increasing car use, fragmented bicycle lanes, unsafe intersections, limited parking, inadequate lighting, and conflicts with motorised traffic may gradually weaken the city’s cycling culture. A visible presence of cyclists does not necessarily mean that conditions are equally safe or accessible for children, older residents, tourists, and less-confident users. Cultural familiarity may help sustain bicycle use, but it cannot replace connected infrastructure, traffic calming, secure parking, regular maintenance, and effective road-safety measures.

Although Shkodër is strongly associated with cycling, relatively little empirical research has examined how bicycle use functions simultaneously as an everyday mobility practice, a household resource, a source of local economic activity, an element of urban identity, and an object of municipal planning. Evidence also remains limited regarding residents’ perceptions of cycling infrastructure, accessibility, traffic conditions, and road safety, as well as the extent to which local policy recognises and supports the city’s cycling culture.

This exploratory study therefore examines Shkodër’s cycling culture as a form of bottom-up smart mobility and addresses four research questions:

- How is cycling integrated into residents’ everyday mobility practices?
- What economic and social value do residents and local actors associate with cycling, and how does it contribute to urban identity and tourism?
- How do residents perceive cycling infrastructure, accessibility, traffic conditions, and road safety?
- To what extent do municipal strategies recognise and support Shkodër’s cycling culture?

The study uses a mixed-methods case-study design combining a street survey, semi-structured interviews, and an analysis of municipal strategic and mobility-planning documents. It develops the idea of bottom-up smart mobility by examining how an established social practice can precede comprehensive institutional and infrastructural support. The study also adds evidence from a medium-sized Balkan city that remains underrepresented in mobility research and considers how public institutions can strengthen a cycling culture that is already part of everyday urban life.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

This conceptual framework brings together mobility culture, everyday practice, bottom-up smart mobility, and institutionalisation to explain how a mobility practice can become socially embedded, acquire practical and cultural meaning, and interact with formal planning and public policy. It is used to examine not only how cycling is practised, but also how it is sustained, understood, and gradually incorporated into institutional structures.

2.1 Mobility Culture and Everyday Practice

Mobility culture refers to the shared meanings, routines, expectations, and practical knowledge that influence how people move through urban space. Transport behaviour is shaped not only by infrastructure and individual preference, but also by local history, social norms, collective experience, and place-specific conditions (Sheller & Urry, 2006; Valentini et al., 2023; Stolze et al., 2025).

Social-practice theory provides a useful basis for understanding how such mobility patterns persist over time. Practices depend on the interaction of materials, competences, and meanings (Shove et al., 2012). In relation to cycling, materials include bicycles, streets, lighting, parking, repair services, and infrastructure; competences include riding skills, route knowledge, traffic awareness, and maintenance; while meanings include affordability, familiarity, independence, convenience, and urban identity. These elements are not experienced equally by all users. Differences in age, confidence, experience, and familiarity with urban traffic may affect how safely and comfortably people are able to participate in cycling practices (Stehlin, 2014; Ravensbergen et al., 2024).

The historical continuity represented in Figure 1 provides a visual example of how cycling became part of Shkodër's social and cultural life over time.

Figure 1. Early photographic representations of cycling in Shkodër: (a) Two men with bicycles in formal dress; **(b)** Two men with bicycles in traditional Shkodran dress. *Source: Marubi National Museum of Photography, Shkodër, Albania.*

2.2 Bottom-Up Smart Mobility

Smart mobility is commonly associated with digital technologies, automation, intelligent infrastructure, and data-driven transport management. However, technological innovation alone does not necessarily produce mobility that is affordable, inclusive, sustainable, or well adapted to local conditions (Butler et al., 2020).

In this study, bottom-up smart mobility refers to a mobility practice that becomes established through everyday use, local knowledge, and social acceptance before receiving comprehensive institutional, infrastructural, or technological support.

The "smart" dimension lies less in the presence of technology and more in the capacity of a locally rooted practice to respond effectively to everyday mobility needs. The "bottom-up" dimension concerns the sequence through which that practice develops: social use and practical adaptation emerge first, while formal planning and institutional support follow later.

This interpretation is consistent with research showing that mobility practices may become socially embedded before they are fully institutionalised (Valentini et al., 2023; Werschmöller et al., 2024).

2.3 Institutionalisation

Institutionalisation refers to the process through which an established mobility practice becomes consistently incorporated into planning, regulation, infrastructure, budgets, administrative responsibilities, monitoring systems, and long-term policy.

Formal recognition does not necessarily lead to effective implementation. A mobility practice may be acknowledged in strategic documents while institutional support remains incomplete. This situation can be understood as partial institutionalisation, where policy recognition exists but is not yet fully translated into infrastructure, coordination, maintenance, or implementation (Canitez, 2019; Werschmöller et al., 2024).

Institutionalisation should therefore be understood as a gradual process rather than a simple distinction between policy presence and policy absence.

2.4 Scientific Gap and Contribution

Although research on cycling, sustainable mobility, and smart mobility has expanded considerably, comparatively less attention has been paid to the sequence through which mobility practices become established and later institutionalised (Valentini et al., 2023; Stolze et al., 2025; Werschmöller et al., 2024). In particular, less is known about contexts in which a socially embedded mobility practice develops before comprehensive formal planning, infrastructure, or technological intervention.

This study addresses that gap by examining the sequence "social practice first, institutionalisation later." Its conceptual contribution lies in interpreting this sequence through the idea of bottom-up smart mobility.

Rather than treating smart mobility mainly as a technology-led or policy-led process, the study examines how everyday practices and local knowledge can gain social legitimacy and gradually become institutionalised. This perspective helps explain mobility systems in which social legitimacy develops through everyday practice before formal institutions become fully involved.

2.5 Analytical Dimensions

The empirical analysis is organised around four closely connected dimensions: everyday mobility and accessibility; economic and social value, urban identity, and tourism; infrastructure, practical competences, and perceived safety; and institutional recognition and implementation.

The first dimension examines how cycling is incorporated into everyday mobility and access to urban destinations. The second considers its wider economic, social, cultural, and tourism-related value. The third focuses on the material and practical conditions that shape users' experience of cycling, including infrastructure, safety, and competences. The fourth examines the relationship between formal recognition and actual implementation in municipal planning and policy.

Together, these dimensions connect social practice, mobility culture, and institutionalisation within a single analytical framework (Shove et al., 2012; Stolze et al., 2025; Werschmöller et al., 2024).

2.6 Conceptual Proposition

The central proposition of the study is that Shkodër's cycling culture can be understood as a form of bottom-up smart mobility because it became socially embedded before receiving comprehensive institutional and infrastructural support.

This proposition suggests that sustainable mobility does not always emerge from technological innovation, large-scale infrastructure, or top-down intervention. In some contexts, mobility practices may first acquire practical value, social legitimacy, and continuity through everyday urban life and only later become more fully institutionalised (Butler et al., 2020; Stolze et al., 2025; Werschmöller et al., 2024).

In such contexts, public institutions may have less need to create new mobility behaviour and more responsibility to recognise, support, and strengthen practices that are already part of everyday urban life.

3. METHODOLOGY

3.1 Research Design and Case Selection

This study used an exploratory convergent mixed-methods case-study design to examine cycling culture in Shkodër as a form of bottom-up smart mobility. The research combined three sources of evidence: a street survey, semi-structured interviews, and an analysis of municipal planning documents. These sources offered complementary perspectives on patterns of bicycle use, lived and professional experience, and formal policy recognition. Mixed-methods research is particularly useful when numerical patterns need to be interpreted alongside participants' experiences and institutional context (Johnson et al., 2007; Creswell & Plano Clark, 2018).

The three sources of evidence were first examined separately and then brought together during interpretation. This made it possible to identify areas of convergence, points where one source added depth to another, and differences between everyday experience and formal policy (Fetters et al., 2013).

Shkodër was selected as a case because it provides a suitable setting for examining the relationship between everyday cycling practices, local experience, and formal mobility planning. A case-study approach allows these relationships to be explored within the social, spatial, and institutional context in which they occur (Yin, 2018).

Table 1. Overview of the Research Design

Evidence source	Participants/materials	Sampling/selection	Main purpose
Street survey	100 bicycle users, incl. 10 tourists	Convenience sampling	Use patterns, motivations, benefits, infrastructure, safety
Semi-structured interviews	18 residents and local stakeholders	Purposive sampling	Everyday mobility, economy, identity, tourism, policy
Document analysis	Territorial Strategy and Sustainable Urban Mobility Plan	Relevance-based selection	Policy recognition, infrastructure, safety, implementation

Source: Authors' research design.

3.2 Street Survey

The quantitative component consisted of a face-to-face street survey with 100 respondents who reported using bicycles. Participants were recruited in the city centre, inner urban neighbourhoods, and suburban areas of Shkodër to capture different travel conditions and varying levels of access to workplaces, educational institutions, services, and the city centre. Suburban areas were included because residents may travel longer distances to reach central services, making the bicycle particularly relevant as an affordable means of everyday mobility.

The sample also included 10 international tourists who were encountered while using rented bicycles to explore Shkodër. The questionnaire was administered to them in English, and all reported using bicycles

in their countries of residence. Their inclusion provided an additional perspective on route accessibility, rental services, signage, and the image of Shkodër as a cycling destination.

Participants were recruited through street-based convenience sampling. Individuals encountered at the selected locations were invited to participate if they met the study criteria and agreed voluntarily. Because convenience sampling does not provide each member of the wider population with a known probability of selection, the sample was not statistically representative of the population of Shkodër. The findings are therefore interpreted as descriptive patterns within the study group rather than as estimates for the city as a whole (Etikan et al., 2016). The questionnaire covered trip purposes, reasons for choosing the bicycle, perceived economic benefits, infrastructure conditions, interaction with motorised traffic, and road-safety perceptions. It included both single-response and multiple-response questions. For multiple-response items, each response option was calculated separately; consequently, the reported percentages were not expected to total 100%.

Before data collection, the questionnaire was reviewed by the authors to assess the clarity of the wording, the sequence of questions, the response categories, and the approximate completion time. Completed questionnaires were checked for missing responses. When an answer to an individual item was missing, it was excluded only from the calculation for that item rather than from the entire dataset.

The questionnaire required approximately 15 minutes to complete. Responses were coded and analysed using frequencies and percentages. Where the number of valid responses differed from the full sample, the relevant denominator was reported together with the percentage. Clear reporting of participants, sampling procedures, variables, and analytical methods supports the transparency of cross-sectional research (von Elm et al., 2007).

3.3 Semi-Structured Interviews

The qualitative component consisted of 18 semi-structured interviews. Participants were selected because they had direct experience of cycling, bicycle-related economic activity, tourism, or municipal planning. The interview group included bicycle users and local residents, bicycle repair-shop owners and retailers, tourism operators and local guides, and institutional representatives.

Participants were recruited through purposive sampling within the relevant stakeholder groups. Individuals with experience relevant to the research questions were approached during the fieldwork period and invited to participate. This approach made it possible to include participants with direct practical knowledge of the issues under study. Purposive sampling is appropriate when participants are selected for the relevance and depth of their experience rather than for statistical representation (Patton, 2015). The interviews lasted approximately 15 minutes and were conducted mainly in Albanian. English was used when a participant was more comfortable communicating in that language. Quotations included in the article were translated into English by the authors and lightly edited for readability without changing their meaning. The interview guide covered bicycle use in everyday life, household transport costs, repair and retail services, tourism, social interaction, urban identity, infrastructure, traffic conditions, road safety, and municipal support. The same broad topics were discussed with all participants, although the wording and order of questions were adapted to each participant's experience.

The interview material was analysed thematically. The authors first read the material repeatedly and identified relevant statements. Initial codes were then compared and grouped into broader themes. The final themes were reviewed against the original material and organised around the research questions and conceptual framework. Contrasting views were retained rather than selecting only statements that supported the main argument. Maintaining a clear relationship between the original material, coding, and interpretation strengthens the credibility of thematic analysis (Braun & Clarke, 2006; Nowell et al., 2017)

Table 2. Profile of Interview Participants

Participant category	Number
Bicycle users and local residents	10
Bicycle repair-shop owners and retailers	3
Tourism operators and local guides	3
Institutional representatives	2
Total	18

Source: Authors' fieldwork.

3.4 Municipal Document Analysis

The documentary component focused on the Territorial Strategy of the Municipality of Shkodër and the Sustainable Urban Mobility Plan. These documents were selected because they contain formal objectives related to cycling, active mobility, transport infrastructure, accessibility, road safety, and long-term urban development.

The documents were read systematically, and the sections dealing with cycling and mobility were identified. Relevant passages were then grouped according to the analytical dimensions established in the conceptual framework. Municipal documents were treated as evidence of formal policy objectives and planning intentions rather than as proof that all proposed measures had been fully implemented. This distinction is important because document analysis requires attention to the origin, purpose, formal status, and institutional context of each source (Bowen, 2009).

3.5 Data Analysis and Integration

Survey data were analysed using descriptive statistics, mainly frequencies and percentages. Interview data were examined through thematic analysis, while municipal documents were analysed through qualitative content analysis. The three sources of evidence were then compared using the four analytical dimensions established in the conceptual framework. This avoided treating the quantitative, qualitative, and documentary components as separate strands and allowed them to be interpreted in relation to the same research questions. Integration focused on convergence, complementarity, and disagreement. Convergence was identified when different sources supported a similar interpretation. Complementarity occurred when one source added explanation or detail to another. Disagreement was retained when residents' experiences differed from the position expressed in municipal documents. For example, survey perceptions of safety were compared with interview accounts of traffic conditions and with municipal commitments concerning cycling infrastructure. Reported economic benefits were examined alongside evidence from repair businesses, retailers, tourism actors, and local guides. This form of integration makes the relationship between quantitative, qualitative, and documentary evidence explicit (Fetters et al., 2013).

3.6 Research Quality and Ethical Considerations

The credibility of the study was supported through the use of multiple sources of evidence and the inclusion of different participant groups. Survey findings were interpreted cautiously because the sample was non-representative. Interview themes were checked against the original material, and municipal policy objectives were clearly distinguished from evidence of implementation. The use of multiple sources strengthens case-study research when the chain of evidence remains transparent (Yin, 2018).

Participation was voluntary. Respondents were informed about the purpose of the research and the academic use of the information they provided. Survey responses were anonymous, while interview participants were identified only by stakeholder category or interview number.

Participants younger than 18 years were included only with the permission of a parent or legal guardian. These participants were also informed about the purpose of the study and could decline participation or leave questions unanswered. Research materials were stored securely and used only for the purposes of this study.

4. RESULTS

4.1 Overview of the Empirical Evidence

The results are based on three sources of evidence: a street survey of 100 bicycle users, 18 semi-structured interviews, and an analysis of municipal strategic and mobility-planning documents. The survey sample included local residents and 10 international tourists encountered while using rented bicycles in Shkodër.

Because participants were recruited through convenience sampling, the survey findings describe the study sample and should not be interpreted as representative estimates for the whole city. Single-response questions are reported as mutually exclusive percentages, while multiple-response questions

allowed respondents to select more than one option; therefore, percentages for these items do not necessarily total 100%.
Interview material recorded the experiences of residents, bicycle-related businesses, tourism actors, and institutional representatives. Municipal documents provided evidence of formal policy objectives and planning priorities.

4.2 Patterns and Purposes of Bicycle Use

Survey respondents reported using bicycles for a range of everyday purposes and identified several reasons for choosing this mode of travel. The distribution of trip purposes, motivations, and age groups is presented in Table 3.

Table 3. Trip Purposes, Reasons for Cycling, and Age Profile of Survey Participants

Indicator	Category	Percentage
Principal trip purpose	Work	41%
	Education	28%
	Everyday services	17%
	Recreation	9%
	Tourism	5%
Main reason for cycling	Economic savings	36%
	Practicality	31%
	Traffic avoidance	18%
	Urban tradition	10%
	Environmental considerations	5%
Age group	15–24 years	34%
	25–44 years	39%
	45–64 years	20%
	65 years and above	7%

Note: *Percentages within each indicator total 100%. Source: Authors' survey.*

The age profile indicates that the survey included bicycle users across several age groups. These figures describe the composition of the study sample rather than cycling prevalence within the wider population of Shkodër.
Interview participants also described bicycle use as part of their everyday routines, including travel to work, education, shopping, markets, healthcare services, public institutions, and social visits.
"The bicycle is part of our daily life. I use it for work, shopping, and short trips because it is practical and inexpensive." *(Bicycle user, Interview 3)*.

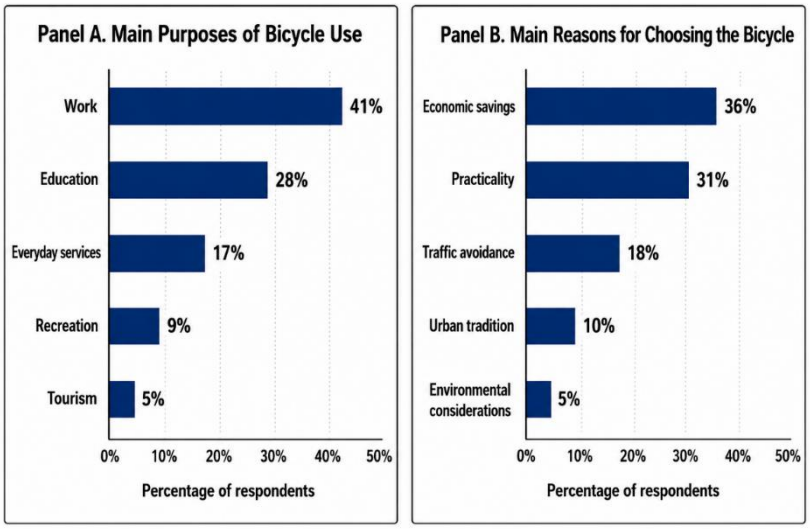


Figure 2. Main purposes and reasons for bicycle use.

4.3 Economic and Household Value

Respondents were asked to identify the economic benefits they associated with bicycle use, with more than one response permitted. The results are presented in Table 4.

Table 4. Perceived economic benefits of bicycle use

Benefit	Percentage of respondents
More economical mobility	87%
Fuel savings	82%
Low maintenance costs	74%
Traffic avoidance	69%
Reduced car use	58%

Note: Multiple responses were permitted; percentages do not sum to 100%. Source: Authors' survey.

Residents referred to the absence of fuel expenses, low repair costs, easier parking, and reduced dependence on paid transport. Participants from households with several bicycles reported that different family members used them independently for work, education, shopping, and access to services. Bicycle repair-shop owners and retailers also reported recurring demand for tyres, brakes, spare parts, and basic accessories.

"There is regular demand for tyres, brakes, spare parts, and small repairs because many residents use bicycles every day." *(Repair-shop owner, Interview 11).*

"Most customers look for affordable repairs and basic accessories rather than expensive bicycles." *(Bicycle retailer, Interview 12).*

The interviews also recorded demand for bicycle rental services and guided cycling activities. The study did not measure the total financial value of these activities.

4.4 Safety and Infrastructure

Respondents were asked to assess how safe they considered cycling in Shkodër and to identify the factors that influenced their perceptions of safety. The results are presented in Table 5.

Table 5. Safety perceptions and influencing factors

Indicator	Category	Percentage
Safety assessment	Very safe	22%
	Relatively safe	49%
	Not very safe	21%
	Unsafe	8%
Influencing factor	Cycling tradition	71%
	Bicycle lanes	67%
	Motorised traffic	63%
	Driver behaviour	59%
	Urban lighting	41%

Note: Multiple responses were permitted for influencing factors. Source: Authors' survey.

Interview participants referred to fragmented cycling routes, unsafe intersections, limited parking, traffic pressure, driver behaviour, and inadequate lighting. Institutional representatives also mentioned infrastructure continuity and road safety. "Cycling is recognised in local planning, but infrastructure continuity, parking, and road safety still require more attention." *(Institutional representative, Interview 17).*

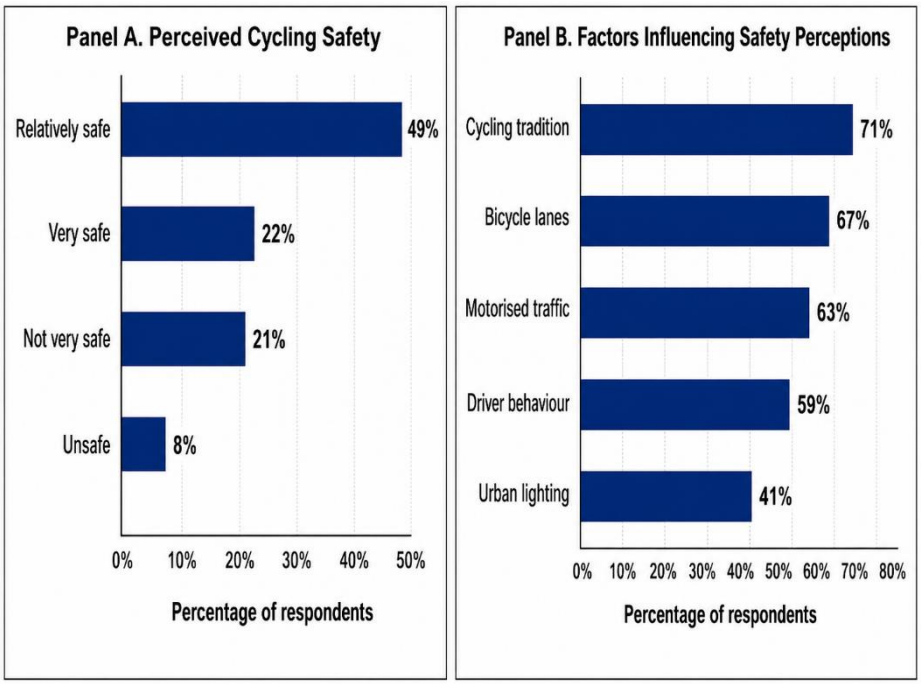


Figure 3. Perceived cycling safety and factors influencing safety perceptions.

4.5 Social Meaning, Urban Identity, and Tourism

The thematic analysis identified recurring references to family experience, childhood, social interaction, urban identity, tourism, and visitor mobility. Residents described the bicycle as a familiar part of ordinary life and linked it to the identity of Shkodër.

"In Shkodër, the bicycle is more than transport. It is part of the city's identity and something many of us learn to use from childhood." *(Local resident, Interview 7)*

Participants also referred to interaction with neighbourhood streets, shops, markets, and public spaces. These accounts were recorded as experiences of everyday social contact rather than as a quantitative measure of social capital. Tourism operators and local guides reported that visitors frequently asked about bicycle rentals and cycling routes.

"Visitors often associate Shkodër with bicycles and ask where they can rent one or which routes they can follow." *(Tourism operator, Interview 14)*

Participants also reported limited signage and weak connections between urban routes and nearby cultural and natural attractions.

"Cycling could be better connected with the city's cultural sites and nearby natural attractions, but clearer routes and signage are still needed." *(Local guide, Interview 16).*

Contemporary expressions of cycling culture are also visible in Shkodër's public and everyday urban spaces (Figure 4).

Figure 4. Contemporary expressions of cycling culture in Shkodër: (a) bicycle-themed public mural by artist Nermin Shurdha; **(b)** bicycles in everyday urban use. *Sources: (a) ATSH, "Shkodra dhe biçikleta një dashni e përjetshme"; (b) Koha Jonë.*

The 10 international tourists included in the survey were encountered while using rented bicycles to explore Shkodër. They also reported using bicycles in their countries of residence. Their responses provided additional evidence on route legibility, access to rental services, and the visibility of cycling within the city.

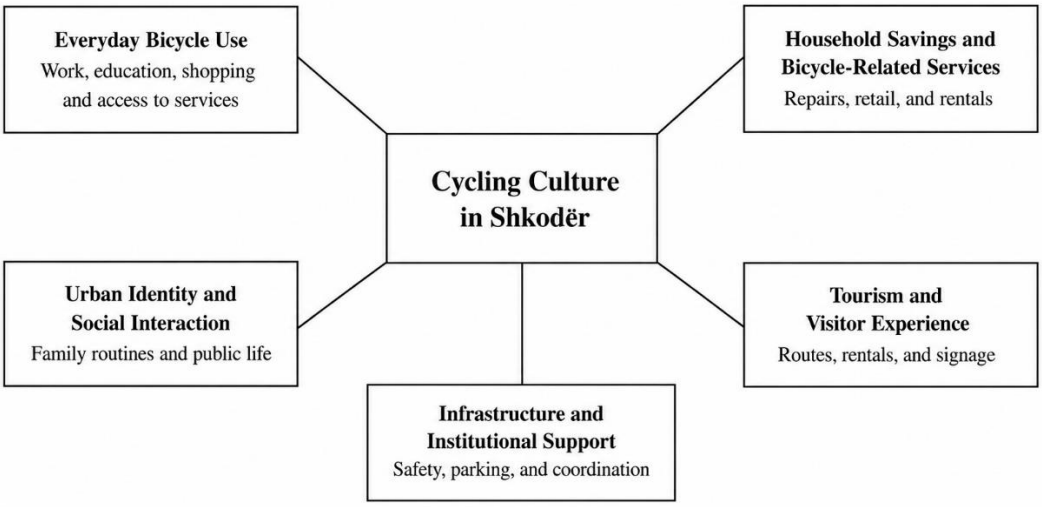


Figure 5. Main themes identified across the survey, interviews, and municipal document analysis. Source: Authors' synthesis.

Figure 5 summarises the main dimensions identified across the survey, interviews, and municipal document analysis: everyday mobility, household value, urban identity, tourism, and institutional support.

4.6 Municipal Recognition and Integrated Findings

The municipal documents reviewed included cycling within the city's sustainable-mobility objectives. The Municipal Territorial Strategy established a target modal distribution for 2030, while more recent municipal planning documents also identify active mobility, infrastructure, and road safety as policy priorities (Bashkia Shkodër, 2017, 2025). The target modal shares are presented in Table 6.

Table 6. Target modal split for Shkodër by 2030

Transport mode	Target share
Cycling	30%
Public transport	25%
Walking	25%
Individual cars	20%
Total	100%

Source: Bashkia Shkodër (2017).

A recent and directly comparable measurement of the current modal split was not identified; consequently, the gap between current conditions and the 2030 target could not be calculated.
The main findings from the three evidence sources are summarised in Table 7.

Table 7. Integrated summary of the empirical findings

Dimension	Survey evidence	Interview evidence	Documentary evidence
Everyday mobility	86% reported work, education, and services as main trip purposes	Cycling formed part of household routines	Active mobility was included in municipal planning
Economic value	Respondents reported savings, low maintenance costs, and reduced car use	Local businesses and tourism actors reported regular demand	Cycling was linked to sustainable mobility and tourism objectives
Safety and infrastructure	29% rated cycling as not very safe or unsafe	Participants reported route gaps, traffic pressure, parking problems, and poor lighting	Road safety and infrastructure were policy priorities
Urban identity and tourism	Cycling tradition was selected by 71% as a factor influencing safety perceptions.	Cycling was linked to identity, childhood experience, and visitor interest	Cycling appeared within municipal mobility and tourism objectives
Institutional support	Respondents reported infrastructure and traffic concerns	Institutional participants identified coordination and implementation needs	Cycling was formally included in strategic documents

Source: Authors' integration of survey, interview, and documentary evidence.

This section reports the empirical findings from the survey, interviews, and municipal documents. Their theoretical significance and relationship with previous research are examined in the Discussion.

5. DISCUSSION

The findings show that cycling in Shkodër is closely tied to everyday needs. Work, education, access to services, economic savings, practicality, and traffic avoidance were more prominent motivations than environmental concerns. This suggests that sustainable mobility can be sustained by ordinary routines and practical needs, not only by environmental awareness or formal transport policy (Heinen et al., 2010; Handy et al., 2014).

Cycling also has a clear household and local economic role. Participants described reduced dependence on fuel, paid transport, and private cars, while repair shops, retailers, rental services, guides, and tourism actors reported regular demand linked to bicycle use. Although the study did not measure the total monetary value of these activities, the findings indicate that cycling contributes to a local cycling-related economy (Blondiau et al., 2016; Pucher & Buehler, 2017).

Shkodër follows a different pathway from well-known cycling cities such as Amsterdam and Copenhagen. In those cities, cycling has been reinforced through long-term investment, connected infrastructure, traffic calming, and coordinated planning (Pucher & Buehler, 2008). In Shkodër, by contrast, cycling became socially established before comprehensive infrastructure and institutional support were in place. The difference is therefore not simply one of infrastructure quality, but of development sequence: social practice came first, while institutionalisation followed later.

At the same time, a strong cycling tradition does not guarantee safe or inclusive conditions. Respondents and interview participants reported fragmented routes, unsafe intersections, inadequate lighting, limited parking, and conflicts with motorised traffic. These conditions may be manageable for experienced cyclists but more difficult for children, older adults, visitors, and less-confident users. Research from other contexts similarly shows that connected routes, physical protection, safe intersections, traffic calming, and secure parking are important for inclusive cycling (Buehler & Dill, 2016; Delclòs-Alió & den Hoed, 2024).

The findings also show that cycling is closely connected to Shkodër's urban identity. Participants linked it with childhood, family life, neighbourhoods, and the public image of the city. This supports the view that mobility practices are sustained not only by infrastructure, but also by shared habits, practical knowledge, and social acceptance (Sheller & Urry, 2006; Stolze et al., 2025).

Municipal documents formally recognise cycling, but the evidence points to a gap between recognition and implementation. This is better understood as partial institutionalisation rather than an absence of policy. Cycling is already present in strategic planning, but stronger support is still needed through safer streets, connected routes, secure parking, lighting, maintenance, monitoring, and coordination across relevant institutions (Canitez, 2019; Werschmöller et al., 2024).

The case therefore supports the idea of bottom-up smart mobility. In a conventional top-down model, institutions introduce infrastructure, technology, or incentives and then encourage behavioural adoption. In Shkodër, the sequence is different: everyday practice and social legitimacy developed first, while formal institutional support came later. These pathways are not mutually exclusive. A locally rooted mobility culture may still depend on stronger public intervention to remain safe, inclusive, and sustainable over time (Butler et al., 2020; Valentini et al., 2023; Werschmöller et al., 2024).

The findings should be interpreted with caution. The survey used convenience sampling, the interview group was limited in size, and the study did not directly measure bicycle ownership, current modal share, crash rates, emissions, or the total financial value of bicycle-related activities. Future research could combine representative household surveys, travel diaries, traffic and crash data, network analysis, and long-term monitoring of municipal mobility targets.

6. CONCLUSIONS

Cycling remains an important part of everyday life in Shkodër because it continues to meet practical mobility needs. It provides an affordable and convenient way to reach work, education, shops, services, and other daily destinations. Its significance, however, extends beyond transport. Cycling is also connected to household routines, local memory, social familiarity, and the identity of the city.

The Shkodër case offers a different perspective on smart mobility. Cycling became established through daily use, local knowledge, and social acceptance before comprehensive infrastructure, technological intervention, or strong institutional support were in place. In this sense, Shkodër can be understood as

an example of bottom-up smart mobility, where an existing social practice precedes fuller institutionalisation.

The findings also show that a strong cycling culture cannot be sustained by tradition alone. Safer intersections, better connected routes, improved lighting, secure parking, regular maintenance, and clearer institutional responsibilities are needed to make cycling more accessible to children, older adults, visitors, and less-confident users.

Shkodër does not need to create a cycling culture from the beginning; that culture is already part of everyday urban life. The challenge is to recognise its value, protect what has developed over time, and strengthen the conditions that will allow cycling to remain a safe, inclusive, and lasting part of the city's future.

REFERENCES

Arning, L., Paulsen, M., Rich, J., & Kaths, H. (2025). Is it cycling culture? Explaining regional bicycle use in Denmark and Germany using a joint trip-level mode choice model. *Journal of Cycling and Micromobility Research, 6*, Article 100096. https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2025.100096

Bashkia Shkodër. (2017). *Strategjia territoriale, vizioni strategjik, objektivat e zhvillimit dhe Plani i Përgjithshëm Vendor i Bashkisë Shkodër 2015–2030* [Territorial strategy, strategic vision, development objectives, and the General Local Plan of the Municipality of Shkodër 2015–2030]. https://bashkiashkoder.gov.al/plani-strategjik-i-zhvillimit-te-bashkise/

Bashkia Shkodër. (2025). *Plani i lëvizshmërisë së qëndrueshme urbane për Shkodrën* [Sustainable Urban Mobility Plan for Shkodër] (Vols. 1–3). https://bashkiashkoder.gov.al/k%C3%ABshillim_m_publikun/njoftim-per-keshillim-me-publikun-nga-keshilli-bashkiak-11/

Blondiau, T., Van Zeebroeck, B., & Haubold, H. (2016). Economic benefits of increased cycling. *Transportation Research Procedia, 14*, 2306–2313. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.247

Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. *Qualitative Research Journal, 9*(2), 27–40. https://doi.org/10.3316/QRJ0902027

Brand, C., Götschi, T., Dons, E., Gerike, R., Anaya-Boig, E., Avila-Palencia, I., de Nazelle, A., Gascon, M., Gaupp-Berghausen, M., Iacorossi, F., Kahlmeier, S., Int Panis, L., Racioppi, F., Rojas-Rueda, D., Standaert, A., Stigell, E., Sulikova, S., Wegener, S., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2021). The climate change mitigation impacts of active travel: Evidence from a longitudinal panel study in seven European cities. *Global Environmental Change, 67*, 102224. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102224

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Buehler, R., & Dill, J. (2016). Bikeway networks: A review of effects on cycling. *Transport Reviews, 36*(1), 9–27. https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069908

Butler, L., Yigitcanlar, T., & Paz, A. (2020). How can smart mobility innovations alleviate transportation disadvantage? Assembling a conceptual framework through a systematic review. *Applied Sciences, 10*(18), Article 6306. https://doi.org/10.3390/app10186306

Canitez, F. (2019). Pathways to sustainable urban mobility in developing megacities: A socio-technical transition perspective. *Technological Forecasting and Social Change, 141*, 319–329. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.01.008

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE Publications.

Delclòs-Alió, X., & den Hoed, W. (2024). Perceptions of potential cycling infrastructure in a low-cycling context: Evidence from a medium-sized urban area. *International Journal of Sustainable Transportation, 18*(12), 999–1011.
https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2424420

Etikan, I., Musa, S. A., & Alkassim, R. S. (2016). Comparison of convenience sampling and purposive sampling. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics, 5*(1), 1–4.

Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs—Principles and practices. *Health Services Research, 48*(6, Part 2), 2134–2156. https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117

Handy, S., van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting cycling for transport: Research needs and challenges. *Transport Reviews, 34*(1), 4–24. https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204

Heinen, E., van Wee, B., & Maat, K. (2010). Commuting by bicycle: An overview of the literature. *Transport Reviews, 30*(1), 59–96. https://doi.org/10.1080/01441640903187001

Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research, 1*(2), 112–133. https://doi.org/10.1177/1558689806298224

Martens, K. (2004). The bicycle as a feedering mode: Experiences from three European countries. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 9*(4), 281–294. https://doi.org/10.1016/j.trd.2004.02.005

Moslem, S., Campisi, T., Al-Rashid, M. A., Simic, V., Esztergár-Kiss, D., & Pilla, F. (2024). Greening urban mobility: Assessing environmental and functional characteristics of bicycle infrastructure in the post-pandemic era. *Habitat International, 153*, Article 103200. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2024.103200

Nowell, L. S., Norris, J. M., White, D. E., & Moules, N. J. (2017). Thematic analysis: Striving to meet the trustworthiness criteria. *International Journal of Qualitative Methods, 16*, 1–13. https://doi.org/10.1177/1609406917733847

Papadakis, D. M., Savvides, A., Michael, A., & Michopoulos, A. (2024). Advancing sustainable urban mobility: Insights from best practices and case studies. *Fuel Communications, 20*, Article 100125. https://doi.org/10.1016/j.jfueco.2024.100125

Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.

Pucher, J., & Buehler, R. (2008). Making cycling irresistible: Lessons from the Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews, 28*(4), 495–528. https://doi.org/10.1080/01441640701806612

Pucher, J., & Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport Reviews, 37*(6), 689–694. https://doi.org/10.1080/01441647.2017.1340234

Ravensbergen, L., Ilunga-Kapinga, J., Ismail, S., Patel, A., Khachatryan, A., & Wong, K. (2024). Cycling as social practice: A collective autoethnography on power and vélomobility in the city. *Mobilities, 19*(2), 329–343. https://doi.org/10.1080/17450101.2023.2211238

Sheller, M., & Urry, J. (2006). The new mobilities paradigm. *Environment and Planning A: Economy and Space, 38*(2), 207–226. https://doi.org/10.1068/a37268

Shove, E., Pantzar, M., & Watson, M. (2012). *The dynamics of social practice: Everyday life and how it changes*. SAGE Publications. https://doi.org/10.4135/9781446250655

Stehlin, J. (2014). Regulating inclusion: Spatial form, social process, and the normalization of cycling practice in the USA. *Mobilities, 9*(1), 21–41. https://doi.org/10.1080/17450101.2013.784527

Stolze, D., Klinger, T., & Haustein, S. (2025). Unpacking mobility cultures: A review of conceptual definitions and empirical approaches. *Transport Reviews, 45*(3), 301–332. https://doi.org/10.1080/01441647.2025.2454414

Valentini, D., Wangel, J., & Holmgren, S. (2023). Representations of urban cycling in sustainability transitions research: A review. *European Transport Research Review, 15*, Article 28. https://doi.org/10.1186/s12544-023-00603-3

von Elm, E., Altman, D. G., Egger, M., Pocock, S. J., Gøtzsche, P. C., & Vandenbroucke, J. P. (2007). The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology statement: Guidelines for reporting observational studies. *PLoS Medicine, 4*(10), Article e296. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0040296

Werschmöller, S., Blitz, A., Lanzendorf, M., & Arranz-López, A. (2024). The cycling boom in German cities: The role of grassroots movements in institutionalizing cycling. *International Journal of Sustainable Transportation, 18*(6), 534–545. https://doi.org/10.1080/15568318.2024.2368717

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.

THE CHANGING GEOGRAPHY OF PROTECTED AREAS IN ALBANIA

Dr. Dritan RUSTJA
Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Shkodër "Luigj Gurakuqi", Shkodër, Albania.
ORCID ID: 0000-0002-1972-5170

Dr. Flora GJONI
Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Shkodër "Luigj Gurakuqi", Shkodër, Albania.
ORCID ID: 0009-0009-8664-2007

ABSTRACT
This paper examines the changing geography of protected areas in Albania across time and space. Although Albania is a relatively small country, it possesses a remarkable diversity of natural and cultural heritage, including mountains and beaches, hills and rivers, lowlands and lagoons, estuaries and rocky coasts. This environmental diversity has supported the establishment and expansion of a national protected-area network that today covers approximately one-fifth of the country's territory.
Using available primary and secondary data, document analysis, and fieldwork, the study traces the historical evolution of protected areas in Albania, assesses their current status and development, identifies major pressures, and considers possible future trends.
Particular attention is given to the Albanian Alps National Park as a case study through which broader national dynamics can be examined more closely. The results indicate that the geography of protected areas in Albania is dynamic and has been strongly shaped by the country's political, institutional, and socio-economic transformations during different historical periods.
At present, protected areas face a combination of natural and human-induced pressures, including climate change, erosion, deforestation, insufficient management capacity and law enforcement, informal development, overtourism, and pollution. These pressures vary spatially but increasingly affect both ecological integrity and the sustainable use of protected landscapes.
The paper concludes by identifying key priorities for improved governance, stronger implementation of protection measures, and more sustainable forms of territorial and tourism development. The findings underline the need to understand protected areas not as static conservation spaces, but as evolving geographical systems shaped by changing environmental conditions, governance arrangements, and human pressures.
Keywords: *protected areas, Albania, transformation, issues, sustainability*

I. INTRODUCTION
Protected areas are among the principal instruments used to conserve biodiversity, ecosystems and landscapes. At the same time, they increasingly perform wider functions related to environmental education, recreation, tourism and sustainable local development. Their geography is therefore shaped not only by natural characteristics, but also by political decisions, institutional arrangements, economic activities and changing relationships between people and the environment.
Albania represents an interesting case in this respect. Despite its relatively small territorial size, the country is characterized by considerable physical and biological diversity. Mountains, hills, river valleys, lakes, wetlands, coastal plains, lagoons and rocky coastlines occur within relatively short distances. A complex geological structure, highly differentiated relief, climatic diversity, abundant water resources and rich flora and fauna contribute to the country's natural heritage.
The protected-area system has changed substantially over time. During much of the twentieth century the network remained relatively limited. Following the political and socio-economic transition after 1990, Albania gradually expanded its protected territory, reformed environmental legislation and aligned conservation policy more closely with international standards. More recently, tourism growth, infrastructure development, climate change and changing land-use pressures have created new challenges within and around protected areas.

The aim of this paper is to examine the changing geography of protected areas in Albania from a historical and spatial perspective. It focuses on the evolution and present configuration of the protected-area network, the main environmental and human pressures affecting it, and the Albanian Alps National Park as a case study illustrating some of the opportunities and challenges associated with contemporary conservation.

II. GEOGRAPHICAL CONTEXT AND BASIS FOR PROTECTION

The development of the protected-area network is closely related to Albania's physical geography. The literature analysis identifies geographical location and geology, relief, climate, forest resources, water resources and biodiversity as the main natural factors that explain the diversity of potential conservation areas. Their combination over a small territory produces strong contrasts between high mountains, interior valleys, lowlands, wetlands and the Adriatic and Ionian coastal zones.

Relief is especially important. Albania has a mean altitude of about 708 m above sea level, while mountain areas occupy a large part of the country. This altitudinal variation supports a wide range of landscapes and habitats and helps explain why many protected areas are concentrated in mountain regions. At the same time, the western lowlands and coastline contain lagoons, estuaries, wetlands and marine environments that require different forms of conservation and management.

Climatic and hydrological diversity further strengthen this geographical differentiation. Albania has a predominantly Mediterranean climate, but with important regional and altitudinal variations. The country is also characterized by abundant water resources, including seas, major lakes, rivers and groundwater. River valleys, wetlands and coastal ecosystems therefore complement the mountain and forest landscapes that historically dominated the national conservation system.

Forest areas account for roughly 30% of the national territory, while the country also supports a rich flora and fauna with important endemic and subendemic elements. These characteristics help explain the large number of natural monuments and the wide ecological range represented within the protected-area network. In geographical terms, Albania's system therefore protects not one dominant landscape type, but a compact mosaic of mountain, forest, freshwater, wetland, coastal and marine environments.

This diversity is important for interpreting the changing geography of protection. Expansion of the network has increasingly involved not only the addition of new areas, but also the inclusion of new ecosystem types and the consolidation of previously separate protected territories into larger landscape units. The national system thus reflects both Albania's natural diversity and changing conservation priorities over time.

III. MATERIALS AND METHODS

The study adopts a descriptive and interpretative geographical approach based on scientific literature, official statistics and legislation, institutional reports, cartographic information and field observations. Historical information was drawn mainly from previous assessments of protected areas and Albania's natural heritage (Porej & Diku, 2009; Avramoski et al., 2016; Qiriazi, 2017; Kromidha et al., 2019). Contemporary information was complemented by data from the National Agency of Protected Areas (AKZM), the Albanian Institute of Statistics (INSTAT), the State Authority for Geospatial Information (ASIG), and relevant government and European Commission documents.

Field observations by the authors in different protected landscapes were used to contextualize information on landscape characteristics, tourism development and environmental pressures. Particular attention was given to the Albanian Alps National Park because of its high natural value and the increasing interaction between conservation, tourism, settlement and infrastructure in the region.

For analytical purposes, the evolution of the system was considered in three broad periods: the initial development of protected areas before 1990, the post-socialist transition and legal harmonization after 1990, and the more recent phase of expansion and territorial reconfiguration. The maps and field photographs are used primarily as geographical evidence to illustrate spatial distribution, landscape diversity and visible pressures; the study does not attempt a quantitative GIS-based assessment of management effectiveness.

IV. EVOLUTION AND CURRENT GEOGRAPHY OF PROTECTED AREAS

The formal development of protected areas in Albania began relatively late. The Kune–Vain–Tale territory, designated as a hunting reserve in 1940, is generally considered one of the earliest protected territories in the country (Porej & Diku, 2009). The decree "On Forests", adopted in 1952, provided an early legal basis for nature and forest protection. In 1960, Dajti Mountain was declared Albania's first national park. Five additional national parks followed in 1966: Lura, Pisha e Divjakës, Llogaraja, Bredhi i Drenovës and Theth.

By the early 1980s, Albania had six national forest parks, twenty hunting reserves and approximately 315 natural monuments. Nevertheless, the total protected surface remained small and accounted for only about 1.83% of the national territory around 1990. The political transition after 1990 marked a major change in conservation policy. Albania increasingly adapted its legislation to international environmental standards and expanded the national protected-area system.

The pre-1990 system was therefore selective in both scale and function. Protection concentrated on a limited number of prominent forests, mountain landscapes, hunting reserves and individual natural features, while the overall territorial share remained very low. After 1990, the meaning of protection gradually broadened from the conservation of particular sites toward a more extensive network linked to biodiversity, landscape protection and international environmental standards.

The Law on Protected Areas adopted in 2002 introduced a classification more closely aligned with international conservation principles and contributed to a new phase of territorial expansion. In 2010, Karaburun–Sazan became Albania's first marine national park, extending conservation more explicitly to coastal and marine ecosystems. By 2016, protected areas covered approximately 16% of the country's territory (Qiriazi, 2017). Institutional reform continued with the establishment of the National Agency of Protected Areas in 2015 and the adoption of Law No. 81/2017 "On Protected Areas" (Kromidha et al., 2019).

These changes also altered the geographical scope of conservation. The addition of a marine national park represented a significant shift beyond the traditionally dominant terrestrial areas, while later decisions increasingly emphasized larger ecological units. The creation of the National Agency of Protected Areas provided a dedicated national institution for administration, but the effectiveness of the system continued to depend on management plans, local implementation, monitoring and coordination with other development policies. Further amendments to the protected-area law in 2024 confirm that the legal framework itself remains part of this continuing transformation.

Official INSTAT statistics indicate that in 2024 Albania had 777 protected areas covering 624,611 ha, equivalent to 21.7% of the national territory. The network included 12 national parks, 724 natural monuments, 28 managed nature reserves/nature parks, 11 protected landscapes and 2 managed resource areas (INSTAT, 2025). Compared with 2023, the number of protected areas increased slightly while total protected surface decreased from 626,045 ha to 624,611 ha. This illustrates that recent change involves not only expansion, but also boundary adjustment, recategorization and territorial reconfiguration.

The spatial distribution of protected areas reflects Albania's strong physical-geographical diversity. Mountain protected areas are particularly important in northern, northeastern and southeastern Albania, while wetlands, lagoons and coastal protected landscapes are concentrated mainly along the Adriatic and Ionian coasts. River systems, forests and numerous natural monuments further diversify the national network.

The national maps (Figure 1) make this diversity visible. Larger protected units occur mainly where extensive mountain, forest, wetland or coastal ecosystems can be managed as connected landscapes, whereas natural monuments form a much more dispersed pattern. The latter include many localized geomorphological, hydrological and biological features and therefore create a fine-grained conservation geography that complements the larger parks and landscapes.

Two recent developments illustrate the continuing transformation of this system. In 2022, the previously separate protected areas of Valbona Valley, Theth and Lumi i Gashit were consolidated within the Albanian Alps National Park. In 2023, the Vjosa River was declared a Category II national park covering 12,727 ha, extending the geography of protection to an integrated river ecosystem (Council of Ministers, 2022; 2023).

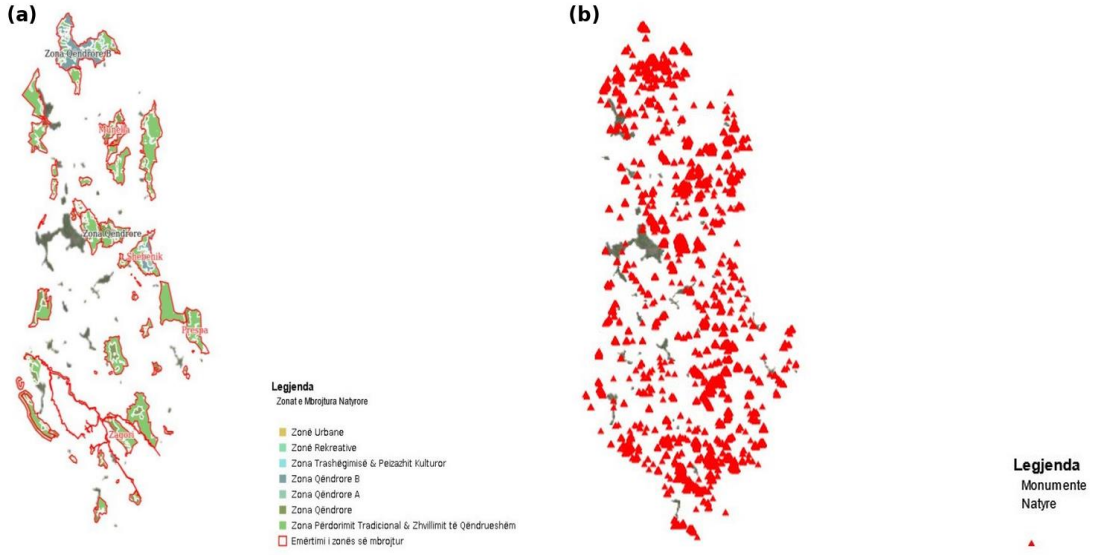


Figure 1. Protected areas in Albania (a) and geographical distribution of natural monuments (b). Source: ASIG, 2024.

Together with Karaburun–Sazan, these examples show that recent conservation policy has progressively incorporated three very different geographical environments: marine and coastal space, high-mountain landscapes and a major river corridor. This diversification is an important part of the changing geography of protected areas because it reflects a shift from protecting isolated sites toward larger and more connected ecological systems.

The Vjosa case is especially illustrative because protection follows the river and its tributaries rather than a conventional compact terrestrial block. In spatial terms, this creates a longitudinal protected area whose ecological functioning depends on connectivity along the river system. The Albanian Alps case, by contrast, demonstrates territorial consolidation, bringing previously separate protected units into a single national park. The two examples therefore represent different but complementary directions of recent change.

V. ALBANIAN ALPS NATIONAL PARK: A CASE STUDY

The Albanian Alps constitute one of Albania's most distinctive physical-geographical regions. The wider mountain area covers approximately 2,020 km² and contains many of the country's highest mountains, together with important glacial, karst, fluvial and forest landscapes. The Albanian Alps National Park was established by Council of Ministers Decision No. 59 of 26 January 2022 (Figure 2). It brought together Valbona Valley and Theth national parks and the Lumi i Gashit strict nature reserve into a single Category II national park covering 82,844.65 ha (Council of Ministers, 2022; AKZM, 2022).

The park contains numerous peaks above 2,000 m. Jezerca reaches 2,694 m and is the highest summit of the Albanian Alps. Glacial and karst forms are particularly important features of the landscape, while rivers including the Shala, Valbona, Cemi, Curraj-Nikaj, Kiri and Gashi contribute to hydrological and ecological diversity. Vegetation varies considerably according to altitude and local environmental conditions and includes important endemic and subendemic species (AKZM, 2022).

The wider Albanian Alps also contain around thirty glacial lakes, while deeply incised valleys and narrow gorges provide evidence of both glacial and fluvial landscape development. The combination of high relief, abundant surface water and forest cover creates strong ecological gradients over short distances. This concentration of geomorphological and biological values is one of the main reasons why the area has long held a central place in Albania's protected-area network.

The 2022 reorganization is significant not only because of the large surface of the new park, but because it changes the spatial logic of protection. Valbona, Theth and Lumi i Gashit had previously been managed as separate protected units with different characteristics.

Their inclusion within one park creates the possibility of considering ecological connectivity and development pressures at a broader mountain-region scale, although it also increases the complexity of management across settlements and valleys.

As shown in Figure 3, field photographs illustrate the strong relief and hydrographic contrasts of the park, from deeply incised gorges and fast-flowing rivers to high-mountain landscapes.

These features contribute simultaneously to the ecological value of the area and to its increasing attractiveness for nature-based recreation and tourism.

At the same time, the Albanian Alps have become one of the country's most important areas for mountain and nature-based tourism. Theth and Valbona in particular illustrate how protected landscapes can support local services and income while also generating pressure through construction, traffic, waste production, water demand and landscape modification. Field observations suggest that these interactions are increasingly important for the future management of the park.

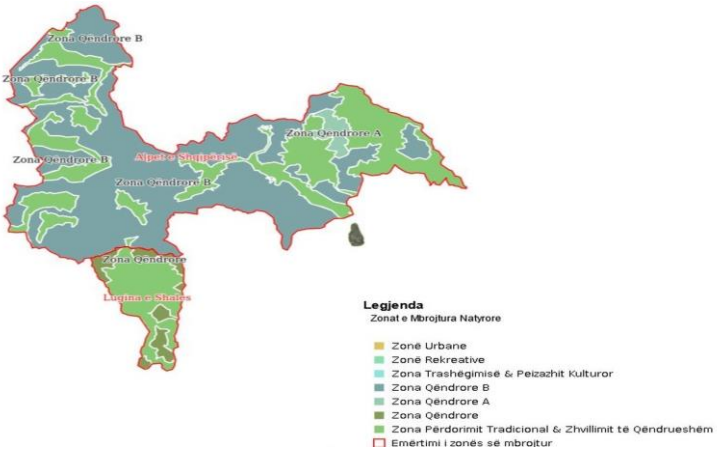


Figure 2. Albanian Alps National Park and internal protection zones. *Source: ASIG, 2024.*

Tourism growth has therefore become part of the conservation geography itself. Field observations suggest that visitor activity and development pressures are concentrated mainly along accessible valleys, settlements, roads and hiking routes, while many high-altitude areas remain less intensively used. This produces an uneven geography of pressure inside the park: the most visible development conflicts tend to occur around gateways and tourism centers rather than uniformly across the protected territory. Such spatial differences need to be considered when management measures are designed.

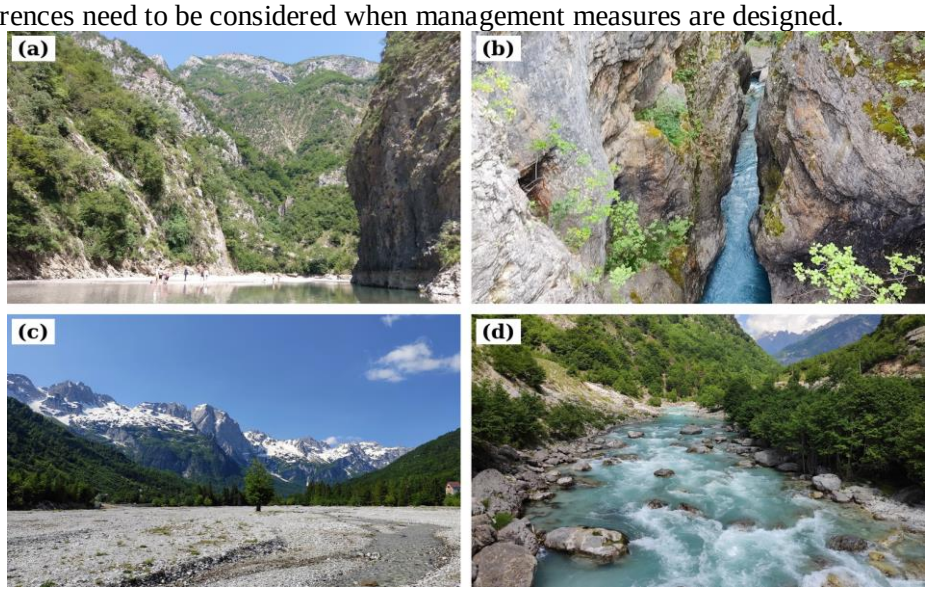


Figure 3. Representative landscapes of the Albanian Alps National Park: mountain gorge and river landscape (a), narrow fluvial gorge (b), high-mountain landscape (c), and mountain river valley (d). *Photos: D. Rustja.*

The field photographs used in this paper also help explain the strong tourism appeal of the region. Rivers, gorges, waterfalls, high peaks and contrasting valley landscapes provide a concentrated set of natural attractions. The same features, however, are sensitive to construction, road works, waste accumulation and excessive visitor pressure. The case study thus demonstrates the need to link tourism planning directly with landscape protection rather than treating the two as separate policy fields.

The Albanian Alps therefore illustrate a broader characteristic of contemporary protected areas: they are not simply natural territories separated from society, but socio-environmental spaces where conservation, settlement, tourism and local development interact. Their effectiveness depends not only on the size of the protected surface, but on how these relationships are managed within and around park

VI. MAIN PRESSURES AND DISCUSSION

Despite the considerable expansion of Albania's protected-area network, important environmental and management problems remain. Environmental pressures include soil erosion, deforestation, biodiversity loss, habitat fragmentation, invasive species, inadequate waste management and different forms of pollution (Avramoski et al., 2016). The degradation experienced in areas such as Lura after 1990 demonstrates that legal designation alone does not guarantee effective ecosystem protection.

Environmental degradation and land-use pressure. The main environmental problems do not occur with the same intensity in every protected area. Mountain forests are especially exposed to cutting, fire and erosion; coastal and wetland areas may face development and pollution pressures; and tourism centers may experience localized waste, traffic and construction impacts. This spatial variation is important because national statistics on protected surface can obscure very different conditions on the ground.

Climate change and natural hazards. The interaction between climate-related hazards and existing environmental degradation is particularly relevant. Drought and high temperatures can increase fire susceptibility, while intense rainfall and flooding can accelerate erosion or damage infrastructure in sensitive landscapes. Protected-area management therefore increasingly needs to combine biodiversity conservation with risk reduction, ecosystem resilience and adaptation to changing climatic conditions.

The photographic evidence emphasizes that many pressures are spatially localized but can become cumulatively significant. Forest cutting and earthworks directly modify vegetation and slope conditions, while wildfire can rapidly affect larger areas and reinforce erosion and habitat degradation. Such field evidence helps connect national-level conservation statistics with the practical management problems visible on the ground.

Tourism creates both opportunities and tensions. Nature-based tourism can support rural employment and strengthen the economic value of landscape conservation. If poorly regulated, however, rapid development can lead to excessive construction, waste, traffic, pollution and landscape transformation. The Albanian Alps provide a clear example of this dual relationship between protection and development.

Tourism and development pressures. The same dilemma is relevant to several other Albanian protected landscapes where conservation values overlap with attractive locations for tourism, recreation or infrastructure. The issue is not development in itself, but whether its location, scale and form are compatible with the ecological and landscape objectives of the protected area. Stronger coordination between protected-area management and local territorial planning is therefore essential.

Governance is therefore central to the changing geography of protected areas. Albania has substantially strengthened its legal and institutional framework since the beginning of the 2000s, but implementation, monitoring and enforcement remain uneven. Law No. 21/2024 amended the 2017 Protected Areas Law and generated debate about the balance between conservation and development. The European Commission (2025) considered the 2024 amendments as weakening nature protection and also highlighted problems of inspection, enforcement, staffing, expertise and environmental monitoring.

Figure 4. Examples of pressures affecting protected areas in Albania: forest disturbance and cutting (a, d), earthworks in forested terrain (b), and wildfire (c). *Photos: D. Rustja and R. Hasja.*

Governance and integration with development policy. The literature analyses also identifies insufficient integration of protected-area objectives into national and local development policies as a persistent concern. This matters because decisions on roads, settlements, tourism facilities, energy and other investments may affect protected landscapes even when they are taken outside the conservation administration. Effective protection therefore requires coordination across institutions and levels of government, not only the existence of a legal designation.

Local communities, NGOs, scientific institutions and international organizations also have an important role. Protected areas are more likely to remain socially sustainable when local populations participate in decisions and when conservation generates visible benefits through compatible tourism, ecosystem services and local economic activity. Conversely, weak participation can increase conflict between protection rules and development expectations.

These issues underline the difference between formal protection and effective protection. The central challenge is no longer simply to increase the percentage of national territory under protected status, but to ensure that conservation objectives are implemented in practice and integrated with local and national development policies. The "changing geography" of protected areas therefore refers not only to boundaries and surface area, but also to changing legal categories, management arrangements, economic uses and human pressures.

VII. CONCLUSIONS

The geography of protected areas in Albania has changed substantially over the last several decades. From a relatively limited system covering less than 2% of national territory around 1990, the protected-area network reached 624,611 ha, or 21.7% of Albania, in 2024 (INSTAT, 2025). This transformation has been accompanied by legislative and institutional reforms and by the establishment or consolidation of important protected areas, including Karaburun–Sazan Marine National Park, Albanian Alps National Park and Vjosa Wild River National Park.

Recent changes also demonstrate that protected-area geography is not characterized only by expansion. Boundaries, categories and total protected surfaces continue to be adjusted, reflecting both conservation priorities and wider political and socio-economic processes. The Albanian Alps National Park illustrates this interaction particularly clearly: the creation of a large unified protected area strengthens recognition of one of Albania's most valuable natural regions, while tourism and infrastructure pressures require increasingly effective planning and management.

The evidence considered in this paper suggests that the most important contemporary shift is from a simple concern with how much territory is protected toward a broader question of how protected territory functions. The national network is geographically more extensive and ecologically more diverse than in the past, but its long-term effectiveness depends on management quality, ecological connectivity, enforcement and the compatibility of surrounding development with conservation goals.

For Albania, this is particularly important because many of the landscapes with the highest conservation value are also among those with the strongest tourism and development potential. The future of the protected-area system will therefore be determined by the ability to maintain ecological integrity while allowing forms of local development that depend on, rather than erode, the environmental quality of these territories.

Future policy should therefore focus not only on the extent of protected territory, but also on effective implementation, monitoring, institutional capacity, sustainable tourism, community participation and better integration of conservation into territorial development. Protected areas should ultimately be understood not as static spaces secured only through legal boundaries, but as evolving geographical systems shaped by environmental change, governance and human activity.

REFERENCES

AKZM (National Agency of Protected Areas). (2022). Albanian Alps National Park. Tirana, Albania.

Avramoski, O., et al. (2016). Initial Assessment of Protected Areas in Albania Using the Management Effectiveness Tracking Tool. NaturAL, Tirana.

Council of Ministers of the Republic of Albania. (2022). Decision No. 59, dated 26 January 2022, on the change of status and surface of protected natural ecosystems and the Albanian Alps National Park.

Council of Ministers of the Republic of Albania. (2023). Decision No. 155, dated 13 March 2023, on the declaration of the natural ecosystem of the Vjosa River as a Category II National Park.

European Commission. (2025). Albania Report 2025. Directorate-General for Enlargement and Eastern Neighbourhood, Brussels.

INSTAT. (2025). Forestry and Biodiversity Statistics, 2024. Institute of Statistics, Tirana.

Kromidha, G., Dragoti, N., & Dedej, Z. (2019). An Assessment of the Protected Areas System in Albania. National Parks Association of Albania, Tirana.

Porej, D., & Diku, A. (2009). Final Report: Implementation of the Rapid Assessment and Prioritization of Protected Areas Management Methodology for Assessing the Protected Area System in Albania.

Qiriazi, P. (2017). Trashëgimia natyrore e Shqipërisë. Akademia e Shkencave, Tirana.

Republic of Albania. (2024). Law No. 21/2024, dated 22 February 2024, on additions and amendments to Law No. 81/2017 “On Protected Areas”. Official Gazette No. 50.

State Authority for Geospatial Information (ASIG). (2024). National Geoportal, protected-area cartographic layers. Tirana.

APPLICATIONS OF PROPHETIC ARCHAEOLOGY BETWEEN NORTHERN HIJAZ AND SOUTHERN LEVANT: THE MILITARY EXPEDITIONS OF THE PROPHET CASE STUDY

Mohammed Waheeb
The Hashemite University, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism
Orcid:0000-0001-9795-5935

Abstract
Since the inception of the Islamic call and its expansion following the Conquest of Mecca and the stabilization of Muslim rule, the Prophet ﷺ began directing military detachments (*Saraya*), expeditions (*Ghazawat*), and armies toward northern Arabia and the southern Levant home to numerous Arab tribal encampments—reaching as far as southern Jordan in the regions known as the Marashif al-Sham (outskirts of the Levant), as documented in historical sources, references, and manuscripts. Within the framework of research originating from the Prophetic Archaeology Strategy (2026–2031), the historical and field trajectories of these preparatory campaigns and conquests can be traced as follows:
Direct Prophetic movements toward the north began during the Era of the Prophet with the Expedition of Dumat al-Jandal in Rabi' al-Awwal 5 AH (August/September 626 CE), followed by the Expedition of Hisma in Jumada al-Thani 6 AH (October/November 627 CE). With the widening scope of confrontation and influence, the assassination of Al-Harith al-Azdi emissary of the Messenger of Allah la adamuJ ni derrucco ﷺ-Awwal 7 AH (September/October 628 CE), marking a pivotal turning point in relations with the ruling powers in the southern Levant.
By the eighth year of the Hijra, military campaigns intensified: the Expedition of Dhat Atlah was dispatched in Rabi' al-Awwal 8 AH (July/August 629 CE), followed in the summer of the same year by the Expedition of Zayd ibn Harithah to Madyan as a field preparation preceding the Great Battle of Mu'tah in Jumada al-Awwal 8 AH (September 629 CE) the first major military confrontation with the Romans and their allies on Jordanian soil. This was followed in Jumada al-Thani 8 AH (October/November 629 CE) by the Expedition of Dhat al-Salasil to secure tribal alliances in the region.
The Islamic state continued its expansionist strategy and the securing of its northern borders in 9 AH, launching the Expedition of Khalid ibn al-Walid to Ukaydir in Rajab 9 AH (October 630 CE) in conjunction with the Expedition of Tabuk. In late 9 AH / 10 AH (March/April 631 CE), the execution of Farwah ibn 'Amr al-Judah the Roman governor who had embraced Islam—took place. At the conclusion of the Prophetic era, the Expedition of Usama ibn Zayd (to Ubna) was prepared in Rabi' al-Awwal 11 AH (May/June 632 CE); organized during the final days of the Prophet ﷺ, it was executed at the beginning of Caliph Abu Bakr al-Siddiq's reign.
These comprehensive Prophetic campaigns laid the foundation for the final Islamic conquest of the Levant during the Rashidun Caliphate under Caliph 'Umar ibn al-Khattab. These historical efforts culminated in the Battle of Fahl (Pella) - Beisan in Dhu al-Qi'dah 13 AH (January 635 CE), followed by the decisive Battle of Yarmouk in Rajab 15 AH (August 636 CE), which effectively ended the Byzantine presence in the region and established Islamic heritage and archaeological landmarks across the southern Levant.
These successive expeditions constituted the core foundation upon which the new faith's strategy was built in confronting the Roman-Byzantine presence in the southern Levant, particularly in the outskirts of the Levant (*Marashif al-Sham*), located in modern-day Jordan.
Perhaps the most critical dimension of Prophetic Archaeology applications lies in pinpointing the precise sites of these expeditions and their associated context (both tangible and intangible heritage). This involves rigorously mapping the route pathways of these campaigns and utilizing modern archaeological technologies most notably Geographical Information Systems (GIS) to document these historic sites.
Keywords: Cultural Heritage, South Levant, Archaeology, prophet, Development.

THE IMPACT OF RELATIONSHIP BETWEEN COMMUNICATION STYLES AND MARITAL DISHARMONY AMONG SECONDARY SCHOOL TEACHERS IN WAMAKKO LOCAL GOVERNMENT AREA SOKOTO

Mulikat Folashade USMAN
Department of Business Administration, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria.
ORCID ID: 0009-0007-7710-3533

Jameelah USMAN
Department of Business Administration, Usmanu Danfodiyo University, Sokoto, Nigeria.

ABSTRACT
This study investigated the relationship between communication styles and marital disharmony among secondary school teachers in Wamakko Local Government Area, Sokoto State. The main objectives were to identify the predominant communication styles used by married teachers, examine how these styles affect marital relationships, and recommend strategies for improving communication and reducing disharmony. The study adopted a descriptive survey design of correlational type, with a sample of 220 married teachers selected from a population of 510 using the Krejcie and Morgan sample size determination table. Data were collected using a structured questionnaire titled *Communication Style and Marital Disharmony Questionnaire (CSMDQ)*, which consisted of three sections: demographic information, communication style inventory, and marital disharmony scale. The instrument was validated by experts in Educational Psychology and Guidance and Counselling, and its reliability was confirmed with a Cronbach Alpha coefficient of 0.86. Data were analyzed using descriptive statistics such as mean, standard deviation, frequency, and percentage. Findings revealed that assertive communication was the most predominant style among respondents, followed by passive and passive–aggressive styles, while aggressive communication was the least practiced. The results further indicated that aggressive, passive, and passive–aggressive communication styles significantly contribute to marital tension, misunderstanding, and emotional distance, whereas assertive communication enhances marital harmony, conflict resolution, and mutual understanding. The study concluded that effective communication is central to marital stability among teachers in Wamakko LGA. It recommended the promotion of assertive communication, emotional regulation, marital counseling workshops, and integration of interpersonal communication training into teacher development programs to strengthen marital and emotional well-being.
***Keywords**:* Communication Styles , Marital Disharmony, Secondary School Teachers , Impact , Relationship, Sokoto.

ONLINE INTERVENTIONS FOR PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN CANCER SURVIVORS: A NARRATIVE REVIEW

Assoc. Prof. Manijeh FIROOZY
Department of Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Mehrnoosh KHAKI
Department of Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract
Advances in cancer diagnosis and treatment have substantially increased survival rates; however, successful treatment does not necessarily mark the end of cancer-related psychological challenges. A considerable proportion of cancer survivors continue to experience anxiety, depression, fear of cancer recurrence, emotional distress, and impaired quality of life. Psychological resilience is considered an important protective factor that may facilitate adaptation to cancer survivorship and promote psychological well-being. Psychological interventions, particularly cognitive-behavioral approaches, have demonstrated potential for strengthening adaptive coping and resilience-related capacities. Nevertheless, access to conventional face-to-face psychological services may be limited by geographical, financial, physical, or healthcare-related barriers. In this context, online psychological interventions have emerged as accessible and potentially scalable alternatives. This narrative review synthesizes and critically examines the available evidence on online interventions aimed at enhancing psychological resilience among cancer survivors. The reviewed literature indicates that this field remains relatively underdeveloped. Much of the existing evidence regarding resilience-enhancing interventions has been derived from face-to-face programs or studies involving non-cancer-specific populations. In contrast, currently available online interventions for cancer survivors have predominantly focused on reducing anxiety, depression, and psychological distress or improving well-being, sleep quality, and overall quality of life, while psychological resilience itself has rarely been investigated as a primary intervention target or outcome. This evidence gap highlights the need for more targeted, theoretically informed, and methodologically rigorous studies examining the effectiveness of online resilience-focused interventions specifically designed for cancer survivors.
Keywords: Psychological resilience; Online intervention; Cancer survivors; Internet-based cognitive behavioral therapy; Mental health

ENDOCRINE THERAPY-INDUCED MOOD AND COGNITIVE DYSFUNCTION IN BREAST CANCER: FROM NEUROBIOLOGICAL MECHANISMS TO PSYCHOSOCIAL CARE

Assoc. Prof. Manijeh FIROOZY
Department of Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Hasti MOHAMMADPOUR
Department of Psychology, Faculty of Psychology and Educational Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract
Breast cancer is the most prevalent malignancy among women worldwide, with approximately 70–75% of cases being hormone receptor-positive. Endocrine therapy, including selective estrogen receptor modulators, aromatase inhibitors, and ovarian function suppression, forms the backbone of treatment for these patients and is now recommended for up to 10 years in early-stage disease. While endocrine therapy significantly improves survival outcomes, the resulting hypoestrogenic state produces a broad spectrum of neuropsychiatric adverse effects that profoundly impact patients' quality of life, daily functioning, and treatment adherence. This review examines the nature, frequency, and clinical presentation of both mood disorders—particularly depression and anxiety—and cognitive dysfunction associated with endocrine therapy in breast cancer patients.
We explore the neurobiological mechanisms underlying these sequelae, including estrogen withdrawal-induced neuroinflammation via microglial activation and NLRP3 inflammasome pathways, hypothalamic-pituitary-adrenal axis dysregulation with consequent glucocorticoid resistance, and disruption of neuroplasticity through reduced dendritic spine density, impaired long-term potentiation, and decreased brain-derived neurotrophic factor signaling. Additionally, we discuss how these hormonal disturbances compromise blood-brain barrier integrity and neurotransmitter systems, including serotonergic, noradrenergic, and glutamatergic pathways.
Finally, we evaluate evidence-based psychological interventions, including cognitive-behavioral therapy, which demonstrates moderate to large effect sizes for depressive symptoms; mindfulness-based stress reduction, which reduces inflammatory markers and improves menopausal symptom burden; psycho-oncological supportive care; and emerging approaches such as acceptance and commitment therapy, couple-based interventions, and exercise programs.
Keywords: Breast cancer, endocrine therapy, mood disorders, cognitive dysfunction, psychological interventions, supportive care

GENOMIC PREDICTION MODELS FOR TREES

Anas HAMDANI
Regional Agricultural Research Center of Settat, National Institute of Agricultural Research, Morocco.

Abdellatif BOUTAGAYOUT
Regional Agricultural Research Center of Rabat, National Institute of Agricultural Research, Rabat, Morocco.

Atman ADIBA
Regional Agricultural Research Center of Tadla, National Institute of Agricultural Research, Morocco.

Abstract
Genomic prediction of trees, an essential branch of plant breeding, focuses on predicting phenotypic traits such as growth, wood quality, and disease resistance. By leveraging genomic data and integrating genetics, molecular biology, and data science, this method transforms genetic improvement through early and accurate selection, bypassing lengthy phenotypic evaluations while enhancing tree species' performance. Tree breeding poses significant challenges because of the long lifespans of trees. However, genomic advancements have demonstrated the potential of using genetic information to optimize desirable traits. Various statistical models, often based on linear regression with predefined assumptions, have been developed for genomic predictions. Studies have indicated that while differences in predictive accuracy among genomic prediction models are minor, they consistently outperform traditional pedigree-based methods. This chapter explores the core principles of genomic prediction in trees, emphasizing modern statistical and algorithmic models while advocating for their integration as a cornerstone strategy in tree breeding programs.
Keywords : Genomic prediction, Genotyping, Phenotyping, Statistical models, Tree improvement

UNVEILING THE POTENTIAL OF EPIDEMIC-RESILIENT ARCHITECTURE THROUGH CULTURAL INTEGRATION & RESPONSIVENESS FOR DEVELOPING COUNTRIES: A VIRTUAL REALITY EXPLORATION IN PAKISTAN WITH FOCUS ON ENDUSER PARTICIPATION IN HEALTHCARE FACILITIES SUSTAINABILITY

Assoc. Prof. Dr. Omer Shujat BHATTI
Department of Architecture, School of Architecture & Planning, University of Management and Technology (UMT), Lahore, Pakistan.

Prof. Dr. M. Asad GHUFRAN
Department of Environmental Science, International Islamic University, Islamabad, Pakistan.

Prof. Dr. Atta Ullah SHAH
Karakoram International University, Gilgit-Baltistan, Pakistan.

Muzaffar Aziz IQBAL
Environmentalist & Civil Engineer, Islamabad, Pakistan.

ABSTRACT
COVID19 pandemic acted as the icebreaker by jolting the healthcare infrastructure of Pakistan towards its capacity to cope with transformation challenges for healthcare facilities, raising concerns for future epidemics as well as highlighting how cultural influences can hinder or facilitate transformation challenges. Hence there existed a need to explore how transformative healthcare architectural design with integration of cultural values may contribute to the future challenges. Based on the previous exploration from medical teams in COVID19 centers, Virtual Reality (VR) based design interventions were modeled and later evaluated using endusers participation from diversified cultural perspectives for better design evolution to meet transformation endeavors during future epidemics while keeping the existing physical infrastructure operational for allied usages in non-epidemic times. Hence it lead to adaptable, resilient and sustainable healthcare design interventions. Using VR models, VR headsets and animations, endusers feedback was gathered and proposed design interventions were developed for two explored sites. Results showed positive responses as well as future directions based on integrating cultural prospects into the design of healthcare facilities and transformation strategies to meet the future epidemic challenges in Pakistan.
Keywords: Epidemic management, Hospital transformation, Cultural challenges, Virtual Reality, Healthcare design.

NORTH HEJAZ AND SOUTHERN LEVANT: DEEP HISTORICAL INTERSECTION, TRADE NETWORKS, AND FUTURE PROSPECTS IN LIGHT OF REGIONAL DEVELOPMENT VISION

Prof. Mohammed WAHEEB
Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage and Tourism, The Hashemite University, Jordan.
ORCID ID: 0000-0001-9795-5935

Abstract
The region extending between the North Hejaz and the Southern Levant has historically constituted a unified geographical and cultural realm. Transcending physical boundaries, it served as a strategic lifeline linking the Arabian Peninsula with Africa, Europe, and Asia Minor. This territory functioned as a pivotal node for ancient global trade networks, as well as religious and cultural routes. In light of contemporary transformations, this geographic domain is re-emerging at the forefront of the global strategic landscape through cross-border mega-projects such as "NEOM," effectively reshaping the future roadmap of the Middle East.

1. Historical Geography and Ancient Caravan Routes

The geography stretching from northern Hejaz (Tabuk, Al-Ula, and Midian) to the Southern Levant served as the primary nexus in the trade network of the ancient Near East:

- **The Meccan *Ilaf* Alliance and the Incense Route:**

This region was the core arterial route for major commercial traffic, beginning with the "Incense Route"—which transported frankincense and aromatics from southern Arabia to Mediterranean ports—and extending to the Quraish *Ilaf* trade agreement that seasonally linked Mecca with the marches of the Levant (*Masharif al-Sham*).

- **The Silk Road and Secondary Routes:**

The region was not merely a transit corridor, but a dynamic crossroads connecting the Maritime Silk Road and secondary feeder networks. These secondary routes linked coastal seaports (such as Aqaba and Al-Wajh) to the inland urban centers of Ma'an, Tafilah, and Kerak, transforming them into vital hubs for caravan security, logistics, and intensive commercial and cultural exchange.

2. The Marches of Levant (*Masharif Al-Sham* / Southern Jordan) as an Extension of North Hejaz

Historical and archaeological studies demonstrate that the cities of southern Jordan (Ma'an, Tafilah, Kerak, and Aqaba) historically represented the "Marches of Levant" (*Masharif al-Sham*) and the southern gateway to the region:

- **Demographic and Social Interconnection:**

This region experienced profound tribal and cultural integration. Familial and tribal lineages extended across these frontiers, dissolving rigid geographical barriers in favor of an integrated social and economic belt.

- **Military and Geostrategic Significance:**

From the Nabataean kingdom through the early Islamic eras and into the Ottoman period (marked by the construction of the Hejaz Railway), this strategic axis remained the key gateway for military maneuvers, trade flows, and security administration between the Hejaz and the Levant.

3. History of Exploration and Archaeology (17th Century to Modern Era)

The region attracted significant interest from Western travelers and explorers from the 17th and 18th centuries onward, laying the groundwork for modern academic field investigations:

- **Travelers and Explorers:**

The expeditions of travelers such as Doughty, Burckhardt, Musil, and others highlighted the archaeological wealth of northern Hejaz and southern Jordan, documenting Lihyanite, Nabataean, Safaitic, and early Islamic inscriptions.

- **Field Research:**

Contemporary archaeological surveys confirm unbroken cultural continuity. Excavations have uncovered ancient water management systems, caravan stations, and fortresses, illustrating the deep-rooted historical ties between the Hejaz and Levantine centers over the millennia.

4. Future Prospects: "NEOM" and the Re-shaping of the Region

Today, this region is shifting from historical memory to the forefront of the future global economy:

- **The NEOM Project:**

Situated in the heart of northern Hejaz, NEOM revitalizes this historical geographical node using 21st-century innovation—leveraging artificial intelligence, clean energy, and advanced global logistics.

- **Regional Integration and Synergies:**

Saudi Vision 2030, alongside complementary development frameworks in southern Jordan (such as the Aqaba Special Economic Zone and logistical linkages with Ma'an), opens broad horizons for economic integration, cross-border cultural and heritage tourism, and the creation of a global trade hub bridging Asia, Africa, and Europe.

The North Hejaz and Southern Levant are not merely defined by their shared geography and history; they represent the foundational pillar for shaping the geo-economic future of the region. Re-evaluating the historical legacy of the ancient caravan routes and the Meccan *Ilaf* provides a solid academic framework for understanding the significance of modern mega-developments like NEOM. Such initiatives do not merely construct a new future; they reinvest in the enduring comparative advantages bestowed upon the Marches of Levant and North Hejaz since the dawn of history.

Keywords: Heritage, History, North Hejaz, Archaeology, Southern Jordan, Development.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTERNATIONAL SECURITY: EMERGING THREATS, STRATEGIC OPPORTUNITIES AND GLOBAL CHALLENGES

PhD Roxana Mihaela MOISOIU
U.S.P.E.E. "C. Stere", Chișinău, Moldova; German "Goethe" College, Bucharest, Romania.
ORCID ID: 0009-0005-0515-0432

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is rapidly transforming the international security environment, becoming a strategic factor with profound implications for states, international organizations, and global governance. The accelerated development of AI technologies is reshaping traditional concepts of security by creating new capabilities for intelligence analysis, cyber defense, strategic forecasting, military planning, crisis management, and the prevention of transnational threats. At the same time, the global diffusion of AI creates unprecedented vulnerabilities that may significantly alter the balance of power among states.

This paper examines the impact of Artificial Intelligence on international security, focusing on the dual-use nature of emerging technologies and their potential to generate both strategic opportunities and new forms of insecurity. AI-assisted cyberattacks, autonomous weapons systems, deepfakes, large-scale disinformation campaigns, algorithmic manipulation, and the exploitation of AI for political and military purposes represent increasingly complex challenges for the international community. These developments may contribute to the escalation of conflicts, undermine strategic stability, affect democratic institutions, and intensify competition between states.

Particular attention is given to the challenges posed by the absence of universally accepted international standards governing the development and use of AI in security and defense. The paper argues that technological competition without adequate mechanisms of transparency, accountability, human oversight, and international cooperation may increase global instability. Consequently, the responsible governance of AI requires coordinated efforts at national, regional, and international levels, including the development of common principles, legal frameworks, risk-management mechanisms, and confidence-building measures.

The study concludes that Artificial Intelligence should no longer be considered exclusively a technological innovation, but rather a strategic instrument capable of redefining the architecture of international security. In this context, the future of global security will increasingly depend on the capacity of states and international organizations to balance technological innovation with responsible governance, respect for fundamental rights, strategic stability, and effective international cooperation.

Keywords: Artificial Intelligence; international security; global governance; cybersecurity; autonomous weapons; geopolitical competition; disinformation; strategic stability; emerging threats; AI governance.

YENİLENEBİLİR ENERJİ ENTEGRASYONU İÇİN YEŞİL SENTEZLENMİŞ NANOPARÇACIKLAR: HİDROJEN DEPOLAMA VE BATARYA TEKNOLOJİLERİNDE İLERLEMELER VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

GREEN-SYNTHESIZED NANOPARTICLES FOR RENEWABLE ENERGY INTEGRATION: ADVANCES AND FUTURE PERSPECTIVES IN HYDROGEN STORAGE AND BATTERY TECHNOLOGIES

Ayşegül YÜKSEK
Department of Chemistry, Institute of Graduate Studies, Batman University, Batman, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0002-3721-577X

Hadice DİLMAÇ
Department of Chemistry, Institute of Graduate Studies, Batman University, Batman, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0003-4612-2687

Abdulkadir LEVENT
Department of Chemistry, Faculty of Arts and Sciences, Batman University, Batman, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-5792-419X

Mehmet Fırat BARAN
Department of Food Technologies, Vocational School of Technical Sciences, Batman University, Batman, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-8133-6670

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarının küresel ölçekte artan kullanımı, kesintili enerji üretiminin dengelenmesi ve düşük karbonlu enerji sistemlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için yüksek verimli, düşük maliyetli ve çevre dostu enerji dönüşüm ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, yeşil nanoteknoloji; nanopartiküllerin sentezinde toksik indirgeme ve stabilizasyon ajanlarının kullanımını azaltması, biyolojik olarak yenilenebilir kaynaklardan yararlanması ve malzeme yüzey kimyasının kontrol edilebilmesine olanak sağlaması nedeniyle sürdürülebilir enerji teknolojileri için önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Özellikle bitki ekstraktlarında bulunan polifenoller, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler, proteinler ve diğer fitokimyasal bileşenler, metal iyonlarının indirgenmesinde ve oluşan nanopartiküllerin çekirdeklenme, büyüme ve yüzey stabilizasyon süreçlerinde aktif rol oynayarak farklı boyut, morfoloji, kristal yapı ve yüzey özelliklerine sahip metal ve metal oksit nanopartiküllerinin çevre dostu biçimde sentezlenmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışmada, bitki aracılı yeşil sentez yöntemiyle hazırlanan metal nanopartiküllerin yenilenebilir enerji sistemlerindeki rolü elektrokimya ve analitik kimya perspektifinden kapsamlı olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle bitki türü, fitokimyasal bileşim, ekstraksiyon koşulları, metal öncülünün yapısı, pH, sıcaklık, reaksiyon süresi ve öncül konsantrasyonu gibi sentez parametrelerinin nanopartiküllerin boyutu, yüzey alanı, morfolojisi, yüzey fonksiyonel grupları ve elektronik özellikleri üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. Ardından, bu özelliklerin hidrojen üretimi ve depolamasındaki elektrokatalitik davranışla ilişkisi incelenmektedir. Nanopartiküllerin yüksek özgül yüzey alanı, aktif yüzey bölgeleri, değişken oksidasyon basamakları ve hızlandırılmış elektron/iyon transfer özelliklerinin hidrojen oluşum ve yükseltgenme reaksiyonlarının kinetiğine katkısı; elektrokimyasal aktivite, aşırı potansiyel, Tafel eğimi, yük transfer direnci, elektrokimyasal aktif yüzey alanı ve çevrim kararlılığı gibi temel parametreler üzerinden tartışılmaktadır. Hidrojen depolama açısından ise yüzey adsorpsiyonu, metal–hidrojen etkileşimleri, nanoyapılı yüzeylerin hidrojen tutma kapasitesine etkisi ve hidrojenin geri dönüşümlü salım mekanizmaları değerlendirilmektedir.

Bunun yanında, yeşil sentezlenmiş metal nanopartiküllerin lityum- ve sodyum- iyon bataryalarında anot, katot, elektrot katkı maddesi veya kompozit yapı bileşeni olarak kullanımları incelenmektedir.

Elektrokimyasal performans; özgül kapasite, enerji ve güç yoğunluğu, çevrim ömrü, coulombic verim, iyon difüzyon kinetiği, yük transfer direnci ve reaksiyon mekanizmaları açısından karşılaştırılmaktadır. Özellikle nanopartikül boyutunun küçültülmesi, yüzey aktif bölgelerinin artırılması, iletken karbon yapılarla hibritleştirme ve heteroatom katkılama gibi stratejilerin elektron/iyon taşınımını ve elektrot–elektrolit ara yüzeyindeki elektrokimyasal reaksiyonları nasıl geliştirdiği tartışılmaktadır. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi, çevrimsel voltametri, galvanostatik şarj/deşarj ve kinetik analizlerden elde edilen parametrelerin malzeme yapısı ile enerji depolama performansı arasındaki ilişkinin ortaya konulmasındaki rolü ayrıca ele alınmaktadır.
Son olarak, bitki aracılı nanopartikül sentezinin tekrarlanabilirliği, aktif fitokimyasal bileşenlerin standardizasyonu, ölçeklenebilirlik, nanopartikül boyut ve morfoloji kontrolü, uzun dönem elektrokimyasal kararlılık ve gerçek enerji sistemlerine entegrasyon gibi mevcut sorunlar kritik olarak değerlendirilmektedir. Böylece yeşil sentez–nanopartikül yüzey kimyası–elektron/iyon transferi–elektrokimyasal reaksiyon kinetiği–enerji depolama performansı arasındaki çok aşamalı ilişki ortaya konularak, bitki aracılı nanoteknolojinin yenilenebilir enerji kaynağı için sürdürülebilir hidrojen ve yeni nesil batarya teknolojilerinin geliştirilmesindeki potansiyeli ve gelecekteki araştırma yönelimleri ortaya koyulmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Yeşil Sentez, Hidrojen Depolama, Batarya.

Abstract
The increasing global use of renewable energy sources necessitates the development of high-efficiency, low-cost, and eco-friendly energy conversion and storage technologies to balance intermittent energy generation and ensure the sustainability of low-carbon energy systems. In this context, green nanotechnology has emerged as a significant research area for sustainable energy technologies, as it reduces the use of toxic reducing and stabilizing agents in nanoparticle synthesis, utilizes renewable biological sources, and enables control over material surface chemistry. In particular, phytochemical constituents found in plant extracts—such as polyphenols, flavonoids, terpenoids, alkaloids, and proteins—play an active role in the reduction of metal ions and the processes of nucleation, growth, and surface stabilization of the resulting nanoparticles, thereby enabling the eco-friendly synthesis of metal and metal oxide nanoparticles with diverse sizes, morphologies, crystal structures, and surface properties.
This study comprehensively evaluates the role of metal nanoparticles—prepared via plant-mediated green synthesis—in renewable energy systems from the perspectives of electrochemistry and analytical chemistry. First, the study addresses the effects of synthesis parameters—such as plant species, phytochemical composition, extraction conditions, the nature of the metal precursor, pH, temperature, reaction time, and precursor concentration—on the size, surface area, morphology, surface functional groups, and electronic properties of the nanoparticles. Subsequently, the relationship between these properties and electrocatalytic behavior in hydrogen production and storage is examined. The contribution of nanoparticles' high specific surface area, active surface sites, variable oxidation states, and accelerated electron/ion transfer properties to the kinetics of hydrogen evolution and oxidation reactions is discussed in terms of key parameters such as electrochemical activity, overpotential, Tafel slope, charge transfer resistance, electrochemically active surface area, and cycling stability. Regarding hydrogen storage, surface adsorption, metal–hydrogen interactions, the impact of nanostructured surfaces on hydrogen retention capacity, and the mechanisms of reversible hydrogen release are evaluated.
Furthermore, the use of green-synthesized metal nanoparticles as anodes, cathodes, electrode additives, or composite structural components in lithium-ion and sodium-ion batteries is examined. Electrochemical performance is compared in terms of specific capacity, energy and power density, cycle life, coulombic efficiency, ion diffusion kinetics, charge transfer resistance, and reaction mechanisms. In particular, the discussion focuses on how strategies such as reducing nanoparticle size, increasing surface active sites, hybridizing with conductive carbon structures, and heteroatom doping enhance electron/ion transport and electrochemical reactions at the electrode–electrolyte interface. Additionally, the role of parameters derived from electrochemical impedance spectroscopy, cyclic voltammetry, galvanostatic charge/discharge, and kinetic analyses in elucidating the relationship between material

structure and energy storage performance is addressed. Finally, current challenges—such as the reproducibility of plant-mediated nanoparticle synthesis, the standardization of active phytochemical constituents, scalability, control over nanoparticle size and morphology, long-term electrochemical stability, and integration into real-world energy systems—are critically evaluated. By elucidating the multi-stage relationships among green synthesis, nanoparticle surface chemistry, electron/ion transfer, electrochemical reaction kinetics, and energy storage performance, the potential of plant-mediated nanotechnology in developing sustainable hydrogen and next-generation battery technologies for renewable energy applications is highlighted, alongside future research directions.
Keywords: Renewable Energy, Green Synthesis, Hydrogen Storage, Battery.

GRAFİK TASARIMDA YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ GÖRSEL ANLATI TASARIMI: TARİHÎ FOTOĞRAFLARDAN KISA FİLM ÜRETİMİ

AI-ASSISTED VISUAL NARRATIVE DESIGN IN GRAPHIC DESIGN: PRODUCING A SHORT FILM FROM HISTORICAL PHOTOGRAPHS

Meryem CİN
Sinop Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Grafik Tasarımı Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-6631-862X

Doç. Dr. Hatice BAHATTİN CEYLAN
Sinop Üniversitesi, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Grafik Tasarımı Bölümü
ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0002-4528-5180

Özet
Dijital teknolojinin gelişmesi, grafik tasarım disiplininde görsel anlatı üretim süreçlerini de yeniden şekillendirmiştir. Üretken yapay zekâ araçları, yaratıcı tasarım sürecinin önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle tarihi fotoğrafların bu teknikle hareketli anlatılara dönüştürülmesi, kültürel mirasın dijital ortamda yeniden yorumlanmasına olanak tanımaktadır. Bu çalışma, tarihi fotoğraflardan kısa film üretiminde izlenen yapay zekâ destekli tasarım sürecini, grafik tasarım çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır.
Araştırma, ÜNİDES kapsamında yürütülen "Sinop'un Görsel Hafızası: Yapay Zekâ ile Tarihi Fotoğraflardan Kısa Film Üretimi" başlıklı proje temelinde yapılandırılmıştır. Uygulama sürecinde ilk olarak Sinop'un toplumsal ve kültürel geçmişini yansıtan tarihi fotoğraflar belirlenmiştir. Seçilen fotoğraflar Adobe Photoshop marifetiyle iyileştirilmiş, Kling AI programında hareketlendirilmiş ve TopMediAI programı aracılığıyla da seslendirilmiştir. Elde edilen görseller ise CapCut üzerinden kurgulanmıştır. Çalışmada bu programların işlevleri ve sınırılıklarına da değinilmiştir. Proje kapsamında kısa filmin yanı sıra, filmin görsel kimliğini ve izleyiciyle iletişimini destekleyen afiş, film fragmanı ve dijital tanıtım içerikleri de hazırlanmıştır. Afiş tasarımında tipografi, renk, komposizyon ve görsel hiyerarşi filmin anlatı diliyle bütünlik olacak şekilde kurgulanmıştır. Fragmanda ise temel atmosferi yansıtacak, ses, kurgu ritmi kullanılmış olup, izleyicide filme dair merak ve farkındalık oluşturulması amaçlanmıştır. Böylelikle bütüncül bir grafik tasarım ve görsel iletişim süreci yürütülmüştür.
Çalışmanın bulguları ise, yapay zekanın sadece teknik bir araç olmadığını, görsel anlatını kurulması, atmosferin oluşturulması, proje kimliğinin oluşturulması, aşamalarında grafik tasarım sürecini destekleyen stratejik ve yaratıcı bir bileşen olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda görsel tutarlılığın sağlanması aşamasında ise tasarımcının denetleyici ve yönlendirici rolüne ihtiyaç duyulduğu farkedilmiştir.
Sonuç olarak araştırma, tarihi fotoğraflardan kısa film üretimini yalnızca teknik bir hareketlendirmeuygulaması olarak değil, film, afiş, fragman ve dijital tanıtım materyallerinden oluşan görsel anlatıu tasarımı olarak değerlendirmektedir. Çalışmanın, grafik tasarım alanında yapay zekâ destekli tasarım araçlarının kullanımına, yerel görsel hafızanın dijital ortamda yeniden yorumlanmasına, kültürel miras odaklı tasarım uygulamalarına yönelik örnek bir üretim süreci sunduğu düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Görsel anlatı tasarımı, görsel hafıza, grafik tasarım, kısa film, üretken yapay zekâ.

Abstract
Advances in digital technologies have reshaped the production of visual narratives within the field of graphic design. Generative artificial intelligence tools have increasingly become part of the creative design process. In particular, transforming historical photographs into moving visual narratives through these Technologies provides new opportunities for the digital reinterpretation of cultural heritage. This study aims to examine the AI-assisted design process employed in the production of a short film based on historical photographs from the perspective of graphic design.
The research was structured around the project entitled Sinop's Visual Memory; Producing a Short Film from Historical Photographs through Artificial Intelligence, carried out within the scope of the ÜNİDES programme. During the production process, historical photographs reflecting the social and cultural past

of Sinop were first selected. The chosen photographs were restored and enhanced using Adobe Photoshop, animated in Kling AI, and supplemented with voice-over content through TopMediAI. The resulting visual and audio materials were then edited in CapCut. The study also addresses the functions and limitations of these digital tools throughout the production process. In addition to the short film, a poster, a film trailer, and digital promotional materials were created to support the film's visual identity and communication with the audience. In the poster design, typography, colour, composition and visual hierarchy were organised in accordance with the visual language of the film. The trailer combined sound, editing rhythm and selected scenes reflecting the overall atmosphere of the film, with the aim of generating curiosity and raising awareness among viewers. In this way the project was developed as an integrated graphic design and visual communication process.

The findings indicate that artificial intelligence should not be regarded merely as a technical tool. Rather, it functions as a strategic and creative component that supports the construction of the visual narrative, the creation of atmosphere and the development of the project's identity. At the same time, the process revealed the continuing need for the designer's supervisory and directive role, particularly in maintaining visual consistency.

In conclusion, the study approaches the production of a short film from historical photographs not simply as a technical animation practice but as a form of visual narrative design encompassing the film, poster, trailer and digital promotional materials. The study is expected to provide an illustrative production model for the use of AI-assisted design tools in graphic design, the digital reinterpretation of local visual memory and design practices concerned with cultural heritage.

Keywords: Generative artificial intelligence, graphic design, short film, visual memory, visual narrative design.

TOKYO SUMMIT-XII

12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE STUDIES OF CONTEMPORARY SCIENCES

İLGİLİ MAKAMA

Tokyo Summit-XII (TOKYO 12. ULUSLARARASI YENİLİKÇİ ÇALIŞMALAR VE MODERN BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ) 27-30 Ağustos 2026 tarihleri arasında Japonya / Tokyo'da 27 farklı ülkeden (Türkiye'den 82, uluslararası alandan 100) akademisyen/araştırmacının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla

DR. FROILAN D. MOBO
On behalf of the Organizing Committee

LONDON SOVEREIGN SCHOOL

"A Legal Entity Incorporated under the Laws of the United Kingdom"

Institutional Authentication Code : VTBVP9
Reference No : LSS/SEN/2026/07

February 13, 2026

This Official Protocol Declaration is hereby issued by London Sovereign School (hereinafter referred to as "the Institution"), a duly constituted academic and research entity operating within the United Kingdom and possessing full legal personality under applicable UK law.

Pursuant to the Institutional Charter, Academic Regulations, and Internal Statutes, the Senate of the Institution, at its duly convened session held on **14 January 2026**, did hereby adopt and enact Resolution **No. 2026/7**, whereby it is formally decreed that the scientific event specified hereunder shall be organized under the official auspices and academic supervision of the Institution. The said event shall be deemed an official academic undertaking of London Sovereign School and shall be conducted in strict conformity with principles of academic integrity and all applicable legal and regulatory provisions in force.

By virtue of the aforesaid Resolution, the academicians and designated officials serving within the Organizing Committee, Scientific Committee, Advisory Board, and related academic bodies have been duly nominated and ratified by the Senate. The list of appointed members constitutes an integral and legally operative part of this Declaration.

This Declaration shall enter into force upon issuance and remain in full force and effect unless otherwise amended by Senate resolution.

Dr. Mariam S. OLSSON
Deputy President

LONDON SOVEREIGN SCHOOL
Unit 501 Leroy House, 434-436 Essex Road
London N1 3FY - United Kingdom
Institution No: 16871908

Official Professor Roster of the Organizing Committee Members Appointed Pursuant
Dr. WU Yicheng — Minzu University
Dr. Ly Dai HUNG — Vietnamese Institute of Economics
Dr. Ethem İlhan ŞAHİN — Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Xiangyi KONG — Chinese Academy of Medical Sciences
Dr. Pham Ngoc NHAN — University of Economics Ho Chi Minh City
Dr. Maria HOOKS — Methodist HospitalDr.
Minji YANG — Busan University
Dr. Mehmet TATOĞLU — Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi

Title and Venue of the Scientific Event: TOKYO SUMMIT - XII
TOKYO 12 TH INTERNATIONAL INNOVATIVE STUDIES & CONTEMPORARY SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

Official Date(s) of the Event: August 27-30, 2026 / Tokyo - Japan
Official Web Adresse: https://www.tokyosummit.org/