6.ULUSLARARASI

ANKARA

Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi

08-09 Ağustos 2026-Ankara



EDİTÖR;

Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK

Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA

www.isarconference.org

KONGRE KİTABI

INDEX

CONGRES ID		II-VI
PROGRAM		VII-XXIV
GALLERY		XXV-XXVII
ACADEMIC INCENTIVE		XXIX
NOTIFICATIONS		XXX-XXXVII

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

6th INTERNATIONAL ANKARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

DATE AND PLACE

08-09, AĞUSTOS 2026 ANKARA PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CONGRE COORDINATOR

Beyza KUŞKIRAN

EDITOR

Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK

Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Prof. Dr. Sancar BULUT
Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN
Prof. Dr. Tolga ULUSOY
Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Assoc. Prof. Dr. Deniz KARATAŞ
Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ
Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU
Assoc. Prof. Dr. Mehriban IMANOVA
Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK
Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI
Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ
Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ
Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK
Assoc. Prof. Dr. Shahla NURUZADE
Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI
Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN
Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU
Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Dr. Aziz İLGAZİ
Dr. Laleş USLU AZARAK
Dr. Mehmet ÇEVİK
Dr. Mine KIRKYOL
Dr. Sevil ÖZCAN
Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU
Dr. Şengül ŞENTÜRK
Dr. Rana BAYTİN ALACI
Arş. Gör. Sena ZENGİN

ISBN: '978-625-378-703-5'

KİTAP YAYIN TARİHİ: 20.08.2026

"COMPLIANCE WITH PUBLICATION ETHICS IS THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE AUTHORS; ACCORDINGLY, THEY BEAR BOTH ETHICAL AND LEGAL ACCOUNTABILITY"

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE

Prof.Dr.EMİNE NAS
Selçuk University

Prof. Dr. Jaın SADHNA
Unıversıty Of Delhı

Prof. Dr. Kübra KARAMAN
Yozgat Bozok University

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Mehmet ŞAHIN
Gaziantep University

Prof. Dr. Morakeng Edward
Kenneth LEBAKA University Of Zululand

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
Cumhuriyet University

Prof. Dr. Manole COJOCARU
Titu Maiorescu University

Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ
Osmaniye Korkut Ata University

Prof. Dr. Mustafa METE
Gaziantep University

Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ
Selçuk University

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Sivas Cumhuriyet University

Prof. Dr. Nurdan KALAYCI
Gazi University

Prof. Dr. Orhan ZEYBEK
Balıkesir University

Prof. Dr. Sancar BULUT
Kayseri University

Prof.Dr. Sedat İLHAN
Dicle University

Prof. Dr. Selahattin YAVUZ
Erzincan Binali Yıldırım University
Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI
Atatürk University

Prof.Dr.Vehbi GÜNEŞ
Selçuk University

Prof.Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University

Prof. Dr. Zharkynbıke SULEIMENOVA
Kazakh National Women's Pedagogical University

Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK
Fırat University

Assoc. Prof. Dr.Ahmet AYDIN
Ege University

Assoc. Prof. Dr. Armel MBON
Marien Ngouabi University

Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ
Nuh Naci Yazgan University

Assoc. Prof. Dr. Azimbaeva GULBAYRA
Kazakh National Women's Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Betül GÜZELDİR
Atatürk University

Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ
Karabük Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr.Elif Feyza TOPDAŞ
Atatürk University

Assoc. Prof. Dr.Gökhan UYANIK
Gazi University

Assoc. Prof. Dr. Hasan TELLİ
Mersin University

Assoc. Prof. Dr. Mehriban IMANOVA
Nakhchivan State University

Assoc. Prof. Dr.Murat TOPAL
Fırat University
Assoc. Prof. Dr. Oqtay QULİYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN
Batman University

Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk RENÇBER
Gaziantep University

Assoc. Prof. Dr. Onur ÇOMAKLI
Erzurum Teknik University

Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ
Dicle University

Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON
Shah Abdul Latif University

Assoc. Prof. Dr. Shahla NURUZADE
Baku Slavic University

Assoc. Prof. Dr. Sevcan YILDIZ
Harran University

Assoc. Prof. Dr. Seyhan Çankaya
Süleyman Demirel University

Assoc. Prof. Soufiane Ziani
Mohammed 1st University

Assoc. Prof. Dr. Syed Ali
Raza NAQVI Government College University Faisalabad

Assoc. Prof. Dr. Tamer TURGUT
Atatürk University

Assoc. Prof. Dr. Victoria POSTOLACHE
Alecu Russo Balti State University

Assoc. Prof. Dr. Yılmaz KÜÇÜK
Gazi University

Assoc. Prof. Dr. Yılmaz SEÇİM
Necmettin Erbakan University

Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Nahçıvan Dövlet Universiteti

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University

Dr. Aziz İLGAZİ
Harran University

Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou

Dr.Duong To Quoc THAI
Dong Thap University

Dr.Huma IKRAM
University Of Karachi

Dr.Melek ÖZ
Erciyes University

Meltem YANIK
Ordu University

Dr. Mine KIRKYOL
Artvin Çoruh University

Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education

Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

Dr. Muhammad Saleh FAISAL
Pmdc Registration

Dr. Müslüm ÖZTÜRK
Kilis 7 Aralık University

Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Rana BAYTİN ALACI
VAN YY University

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Taha Yasin ÖLMEZTOPRAK
Adıyaman University

Dr. Tatia DOLİDZE
European University

Dr. Yaşar SUBAŞI
Van Yüzüncü Yıl University

Dr. Yeşim BEDİR
Atatürk University

6th INTERNATIONAL ANKARA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
08-09 AUGUST 2026 ANKARA /TÜRKİYE

Congress Program

Participant Countries:

***TÜRKİYE*-ALBANIA-ALGERIA-AZERBAYCAN-BANGLADESH-BRASIL-CHINA-ETHIOPIA-GEORGIA-INDIA-IRAN-ITALY-JORDAN-KOSOVO-MOLDOVA-MOROCCO-NIGERIA-PAKISTAN**

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

To be able to make a meeting online, login via **https://zoom.us/join** site, enter ID instead of "Meeting ID or Personal Link Name" and solidify the session. The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers). The Zoom application is free and no need to create an account. The Zoom application can be used without registration. The application works on tablets, phones and PCs. Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time. All congress participants can connect live and listen to all sessions. During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

Make sure your computer has a microphone and is working. You should be able to use screen sharing feature in Zoom. Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session. **Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır. Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır. Online sunum yapabilmek için **https://zoom.us/join** sitesi üzerinden giriş yaparak "Meeting ID or Personal Link Name" yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz. Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur. Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir. Uygulama tablet, telefon ve PC'lerde çalışıyor. Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir. Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir. Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun. Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz. Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir. Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır. **Zoom'a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız, Örnek: Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

https://us06web.zoom.us/j/85822876422?pwd=7uLgis97BxtIWgkmJqvmOzRV80DEwT.1

08.08.2026 / Hall-1, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

EETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Assoc.Prof.Dr. Emine GÜVEN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Performance Analysis Of Tls 1.2 Handshake And Mqtt Secure Communication Times In Embedded Systems With An External Cryptographic Coprocessor	Erkan EGELİ Dr. Oğuzhan COŞKUN Gökhan MUTLU	Bursa Uludağ University TÜRKİYE
Control Of Phase-Shifted Full-Bridge (Psfb) Converter Using Lqi-Based State Feedback Method	Ensar Taha ÇELİK Assist.Prof.Dr.ONUR DEMİREL	Sakarya Applied Sciences University TÜRKİYE
Integrated Multi-Class Machine Learning And Transcriptomic Profiling Of A Conserved 30-Gene Signature For Distinguishing Alzheimer's Disease, Huntington's Disease, And Non-Demented Controls	Assoc.Prof.Dr. Emine GÜVEN	Düzce University TÜRKİYE
Experimental Investigation Of The Ballistic Behavior Of Glass Fiber And Carbon Fiber Plates	Oğultay UZUNCA Prof. Dr. RECEP GÜNEŞ	Erciyes University TÜRKİYE
Mobile Predictive Maintenance Application Based On Vibration Analysis For Industrial Equipment	Emin ÖZTÜRK Assist.Prof.Dr. Aziz Kubilay OVACIKLI	Namık Kemal University TÜRKİYE İstanbul Arel University TÜRKİYE
Coating Damage And Corrosion Behavior In Bolted Joints	Ali Berk TAVACI Taha Süreyya ÖZGÜ	Nurol Makina ve Sanayi A.Ş., Ar-Ge TÜRKİYE
Comparative Effects Of Cationic And Anionic Surfactants On The Morphology And Wettability Of Chemically Etched Aisi 304 And Aisi 316 Stainless Steels	Dr. Çiğdem OVACI BEJİ Assoc.Prof.Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	Kırklareli University TÜRKİYE Trakya University TÜRKİYE
Wettability And Mechanical Durability Of Pfdtes-Modified Chemically Etched Aisi 304 And Aisi 316 Stainless Steels	Dr. Çiğdem OVACI BEJİ Assoc.Prof. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	Kırklareli University TÜRKİYE Trakya University TÜRKİYE

08.08.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 858 2287 6422
10 00 : 12 00	PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Res.Assist.Dr. Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Data Security And Ethical Challenges In Digital Health: A Systematic Review From A Nursing Perspective	Prof.Dr.Merdiye ŞENDİR Assist.Prof.Dr.Hamiyet KIZIL	University of Health Sciences TÜRKİYE
Dynamics Of Transformation In Nursing: Innovations In Education, Clinical Practice And Research	Assist.Prof.Dr.Hamiyet KIZIL Prof.Dr.Merdiye ŞENDİR	University of Health Sciences TÜRKİYE
Coagulation And Floculation Methods, Principles, And Commonly Used Classic Coagulants	Lect.Dr. Selin YILMAZ Res.Assist.Dr. Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER	Cukurova University TÜRKİYE
Biological Importance Of Nitrogen, Environmental Risks And Removal Technologies	Res.Assist.Dr. Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ Assoc.Prof.Dr. Behzat BALCI	Cukurova University TÜRKİYE
Factors That Influence The Health Behaviours Of University Students	Assoc.Prof. Dr. Melek KURŞUNEL Assist.Prof.Dr.Öznur AKPINAR Assoc.Prof. Dr. Hande BABA KAYA Prof. Dr. Selahattin AKPINAR	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE Düzce University TÜRKİYE
A Study Of The Levels Of Health Literacy Knowledge İn Sports Among People Who Are Sedentary	Assoc.Prof. Dr. Melek KURŞUNEL Assist.Prof.Dr.Öznur AKPINAR Assoc.Prof. Dr. Hande BABA KAYA Prof. Dr. Selahattin AKPINAR	Karamanoğlu Mehmetbey University TÜRKİYE Düzce University TÜRKİYE
Evaluation Of Marine-Derived Bacteria For Bioconcrete Applications	Assoc. Prof. Dr. Ecren UZUN YAYLACI	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Occupational Accidents Associated With Smart Work Equipment: A Systematic Literature Review	Özlem Ayşen BAYTÖRE Prof. Dr. Osman YILDIRIM	Istanbul Aydın University TÜRKİYE

08.08.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 00

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Dr. Burcu Meliha KESER

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Baha Said Bey's Assessments Of The Nusayri Community In Anatolia, Specifically In The Turkish Homeland Magazine	Assoc.Prof.Dr. Süleyman ÇAM	Osmaniye Korkut Ata University TÜRKİYE
An Evaluation Of Economic Boycott From The Perspective Of Islamic Law In The Context Of The Palestinian Question	Kadriye ALUÇ Assoc.Prof.Dr. Ümmühan ARK	Bartın University TÜRKİYE
Personal Names In A Social Studies Textbook: An Analysis Of Etymological Origin, Islamic Context, And Gender	Assoc.Prof.Dr. Ahmed Emin OSMANOĞLU	Bingöl University TÜRKİYE
Diligence Is The Main Quality Of A Modern Teacher	Assoc. Prof. Dr. Anvar Abbasov	Baku Slavic University AZERBAYCAN
Superstitions: A Universal Study On Cultural Codes And Social Functions	Dr. Burcu Meliha KESER	Sokhumi Devlet University TÜRKİYE
Intervention To The Human Body In Islamic Law (Fiqh)	Mahir ŞİN	Hakkari University TÜRKİYE

08.08.2026 / Hall-4, Session-2

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 858 2287 6422
10 30 : 12 15	PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Assist.Prof.Dr.Hurigül EKEN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Place And Importance Of 3d Visualization In The Design Field In The Post-Truth Era	Assoc.Prof.Dr. Mehmet Sinan YUM	Fenerbahçe University TÜRKİYE
A Holıstıc Conservatıon Approach To Sustaınable Restoratıon: Integratıng Envıronmental, Socıal, And Cultural Dımensıons	Pınar SEZER	Independent Researcher
The Impact Of Reverse Rural Mıgratıon On Labor Markets And Intra-Famıly Relatıons After The February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes	Assist.Prof.Dr.Hurigül EKEN	Selçuk University TÜRKİYE
Oee-Based Performance Analysıs Of Cnc Machıne Tools In Constructıon And Heavy Machınery Manufacturıng	Dr. Hacı SARI	Pi Makina Automotive TÜRKİYE
The Relationship Between Technology Usage Attitudes And Digital Gaming Attitudes Of University Library Users	Assoc.Prof.Dr. Mehmet RAMAZANOĞLU Kübra KÖYLÜ	Kahramanmaraş İstiklal University TÜRKİYE
Classification And Evaluation Of Damage Types Observed In Historical Buildings	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University TÜRKİYE
Conceptual Classification And Evaluation Of Problems Encountered In The Conservation Process Of Historical Buildings	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University TÜRKİYE

08.08.2026 / Hall-5, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

11 00 : 13 00

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Dr Sarah Shahid

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Friends And Enemies In The Albanian Public Imagination: Mapping Perceptions Of Foreign States From The Euronews Albania Barometer (November 2023)	Blendi Çeka, PhD	University of Tirana
Temporal Variations In Sleep Quality, Somnolence, And Cognitive Performance During Ramadan: A Prospective Longitudinal Study	Dr Sarah Shahid	Khyber Girls Medical College PAKISTAN
Does Habitual Exercise Modulate Systemic Inflammation And Left Ventricular Function In Diabetic Patients With Ischemic Heart Disease?	Dr Sarah Shahid	Khyber Girls Medical College PAKISTAN
Digital Twin-Driven Multi-Objective Energy Management For Renewable Hydrogen- Based Microgrids Using Physics-Guided Artificial Intelligence	Sabtine Morakeb, Samira Boumous Zouhir Boumous	University of Souk Ahras ALGERIA
Resilience-Oriented Optimal Scheduling Of Distributed Energy Resources In Renewable Microgrids Using Multi-Agent Deep Reinforcement Learning	Rayane Yasmine Mahfoudi, Zouhir Boumous Samira Boumous	University of Souk Ahras ALGERIA
Public Investments And The Trend Of Economic Development İn Kosovo	dr.sc. Agim Berisha Kujtim Shala	College of Business, Economic Faculty KOSOVO
Human Factors In Next-Gen It Frameworks: Translating Cryptographic Security Metrics Into Accessible Organizational Communication Practices	Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Victor Oluwapelumi OGONGO	Lagos State University NIGERIA
Ai Driven Design Evolution: Catalyzing For Architectural Design Development And Unlocking Business Opportunities	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Ar. Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem, Muhammad Usman	University of Management and Technology PAKISTAN

08.08.2026 / Hall-6, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 ^{00} : 13 ^{00}		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: **Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Global Scientific Perspectives On Transforming Family Dentistry In Primary Oral Healthcare Through Evidence-Based Medicine:Clinical Innovation, Public Health Integration, Preventive Oral Healthcare, Healthcare Quality Improvement, And Future Strategic Directions	Nodar Sulashvili , Ia Egnatievi , Maia Jikia,Tamar Okropiridze, Nana Gorgaslidze,Irina Imerlishvili,Marina Giorgobiani, Maka Buleishvili,Magda Davitashvili, Lali Patsia,Marika Sulashvili,Igor Seniuk ,Vira Kravchenko, Olga Shapoval , Lela Grigolia, Kakhaber Robakidze,Manana Giorgobiani , David Aphkhazava	Grigol Robakidze University GEORGIA
Religion And Social Change In Muslim Societies: A Religious And Sociological Analysis	Associate Professor Dr. Naseem Akhter	Women University PAKISTAN
The Islamic Concept Of Global Peace: Foundations And Practical Implications	Associate Professor Dr. Naseem Akhter	Women University PAKISTAN
First-Principles Investigation Of The Electronic And Optical Properties Of $Tl_{1-x}B_xP$ Alloys Using The Mbj-GGA Method With Spin–Orbit Coupling	Abed zoulikha Lachabi Abdelhadi Laid Abdelali Malki Faiza Abid Hamza	Sidi Bel Abbes University ALGERIA University of Boumerdes ALGERIA
Challenges And Institutional–Structural Barriers To Individual Mastery In The Path Of Iran's Political Economy Underdevelopment	Vorya Shabrandi Dr. Sajjad Bahrami Moghadam	(The Gap Between Individual Capability and Institutional Structure in Iran)
E-Governance And Institutional Performance In Nigeria's Public Sector: A Study Of The Ogun State Ministry Of Education, Science And Technology	Stephen Oluwatosin KAZEEM	Department of Public Administration NIGERIA
Hepatocellular Carcinoma Mortality Trends In Albania: Investigating The Protective Effects Of The Mediterranean Diet In A Hyperendemic Hbv Region	Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD	University Hospital Center "Mother Teresa" ALBANIA
Growth Performance Of Rabbit Bucks Administered Aqueous Extract Of Ipomoea Batatas Leaves	OBINNA, Amarachi Linda MACHEBE, Ndubuisi Samuel	University of Nigeria

08.08.2026 / Hall-7, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 ^{00} : 13 ^{00}		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Prof. Jamila BOUCHGL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Legal Aid In Criminal Proceedings Adapting To Diggital Transformation In Contemporary Vietnam	Ms. Tran Thi Thanh Hang	Thu Dau Mot University, VIETNAM
Pathophysiological Mechanisms Of Synovial Inflammation, Cartilage Damage, And Bone Erosion In Rheumatoid Arthritis	Dr.Tasawar Iqbal Sidra Altaf	University of Agriculture PAKISTAN
Artificial Intelligence In Criminology: Between Innovation, Prevention, And Responsibility	PhD Roxana Mihaela Moisoiu Prof Colegiul German Goethe	U.S.P.E.E. „C. Stere” Chișinău, Moldova
Cfd Investigation Of Wind-Induced Kelvin–Helmholtz Instability At The Air–Sea Interface: Implications For Marine Hydrodynamics	Prof. Jamila BOUCHGL Prof. Khadija OUAISSA	Ibn Zohr University MOROCCO
Circular Pythagorean Fuzzy Aczel Alsina Heronian Mean Operators With Applications	Tayeb Ullah	Kohat University of Science & Technology PAKISTAN
Machine Learning-Driven Demand Forecasting For Supply Chain Optimization: Evidence From The UCI Daily Demand Forecasting Orders Dataset	Faisal Bala Garba Rayyan Yusuf Abdulrasheed Yusuf Aminu Adamu Ahmed	Nigeria Army University NIGERIA
Organic Amendments For Sustainable Soil Management And Barley Production In Semi-Arid Algeria	Abderrazak Mabrouki Fatima Hiouani Abdelouahad Ouali Djamila Madani	Mohamed Boudiaf University ALGERIA
Effect Of Initial Mixture Composition On The Composting Dynamics And Maturity Of Date Palm Waste	Abdelouahad Ouali Abderrazak Mabrouki Youcef Ouzani Houda Boutalbi Fatima Hiouani Djamila Madani	Mohamed Boudiaf University ALGERIA
Digital Financial Services And Consumer Financial Inclusion: A Comprehensive Systematic Review Of Global Trends, Opportunities, Barriers, And Future Research Directions	Seifeslasie Asmamaw	Bahir Dar University

08.08.2026 / Hall-9, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 ^{30} : 13 ^{30}		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Dr. Agwa Terzungwe

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Empowering For Peace: Mobilizing Business Education To Achieve Sdgs – 1 And 8 Through Youth Entrepreneurship In Insurgency-Prone Regions In Nigeria	Dr. Obeten Ukabi Dr. Agwa Terzungwe Dr. Patrick Oche Dr. Ogbe Ebam	University of Calabar NIGERIA
Mathematical Modelling On Drug Resistance In The Treatment Of Malaria	Elom E. C. Collins, O. C. Ochu, A. T. Akoma, U. C. Ayinde, A. M.	University of Abuja NIGERIA
Multipurpose Cspbi 2 Br Perovskite: From High-Efficiency Solar Cells To Spontaneous Photocatalytic Water-Splitting	M. Kmichou R. Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Employability Skills In The Era Of Generative Artificial Intelligence: Developing A Competency Framework For Higher Education	Natalia Bolgari	Academy of Economic Studies of MOLDOVA
Flavor Mitigation In Goat Milk Yogurt And Dairy Beverage Fortified With Strawberry Tree (Arbutus Unedo L.) Pulp	Yassine Zıne-Eddıne Zakaria Haddan Morad Oubouali Dlimi charaf Omar Ait El Alia Boutoıal Khalid	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Magnetocaloric Effect, Structural, Magnetic And Electronic Properties Of High-Entropy Alloys $Alco_xCr_{1-x}Feni$: First-Principles Calculations And Monte Carlo Simulations	A. Abjaou R. Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Computational And Experimental Approaches For The Development Of Novel Anti-Diabetic Phytotherapeutics	Sidra Altaf	University of Agriculture PAKISTAN
Novel Derivative of 1,3,4-Oxadiazole-Imine: Synthesis, Characterization and Theoretical Simulations	Assiya Atif Bendaoud Ahmed Salah Mohammed Zeroual abdellah ,Houssine Ait Sir	Chouaib Doukkali University MOROCCO

08.08.2026 / Hall-9, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 30 : 13 30		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Prof Dr Jovan BOJKOVSKI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A And Monte Carlo Study Of Pyrochlore	S. Belhamra R Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Thyroid Hormone Levels And Their Association With Plasma Zinc Levels Among Adolescent Afghan Refugees; A Cross-Sectional Study	Dr Saima Shaheen Dr Nabila Sher Dr. Kalsoom Tariq	Khyber Girls Medical College PAKISTAN
Women As Climate Agents And Gendered Responsibilisation In Indian Climate Policy Discourse	Anurag Singh	Sarojini Naidu Centre for Women's Studies INDIA
Strike Regulation In Transition: Lessons From India's Industrial Relations Reforms	Dr Richa Srivastava	Institute of Professional Studies-Technical INDIA
LLM-Powered Financial Advisory: Opportunities, Hallucination Risks, And Guardrails	Sadais Amjad	The Islamia University PAKISTAN
From Theory To Practice: A Roadmap For Quantum Finance In The Next Decade	Sadais Amjad	The Islamia University PAKISTAN
Density Functional Theory Study Of Activation Energy And Diffusion Coefficient Of Sodium-Substituted Lithium Sites In The Iron-Based Olivine Cathode Material	I. Khouakhi R. Masrour L. Xu A. Rezzouk	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO Huazhong University CHINA
The Importance Of Nourishment Of Pastures For Obtaining High-Quality Of Grass For Animal Nutrition	Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ Prof Dr Jovan BOJKOVSKI Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA MSc Ivanka HADŽIĆ	Faculty of Veterinary Medicine University SERBIA University "St. Kliment Ohridski" MACEDONIA

09.08.2026 / Hall-1, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 [00] : 12 [15]

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Ali AKDAĞLI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Multilevel Ldpc Coding Over Ofdm-Based Communication Channels	Assist. Prof. Dr. Aziz YILMAZ	Istanbul AREL University TÜRKİYE
Evaluatıon Of Charge Materıal Configuratıons Affectıng Energy Performance In Inductıon Coıl Meltıng Systems Usıng The Analytıc Network Process	Yunus Emre ANİGİ Mertcan YİRMİLİ Assoc.Prof. Dr. Yıldız ŞAHİN	Kocaeli University TÜRKİYE
A Decision Support Approach For Automotive Supplier Industry: Supplier Selection And Optimization Via Mixed-Integer Linear Programming	Ayşenur KESKİN Ayşe ŞEDİT Assoc.Prof. Dr. Yıldız ŞAHİN	Kocaeli University TÜRKİYE
Comparative Analysis Of Deep Learning-Based Segmentation Architectures For Maize And Weed Discrimination In An Autonomous Intra-Row Hoeing Agricultural Robot	Uğur GÜNEY Assoc.Prof.Dr. Ali YILDIZ Prof. Dr. Ali AKDAĞLI	Mersin University TÜRKİYE
Retrieval-Augmented Generation For Large Language Models: Architectural Approaches, Evaluation Frameworks, And Research Directions For Turkish Natural Language Processing Systems	Prof. Dr. Ali AKDAĞLI Assoc.Prof.Dr. Ali YILDIZ	Mersin University TÜRKİYE
A Comparative Review Of Machine-Learning- And Deep-Learning-Based Intelligent Forecasting Approaches Across Different Photovoltaic System Architectures	Prof. Dr. Ali AKDAĞLI Assoc.Prof.Dr. Ali YILDIZ Assist.Prof.Dr.Filiz KARAÖMERLİOĞLU Serkan Can ŞEKERCİ	Mersin University TÜRKİYE
An Investigation Of Capacitive Inrush Current Limiting Techniques In Electronic Devices	Bahadır GÜVEN	ME-GE Technical TÜRKİYE
Early Prediction Of Student Academic Success Through Note-Taking Analytics And Machine Learning	Lect.Dr. Olcay TOSUN	Sinop University TÜRKİYE

09.08.2026 / Hall-2, Session-1			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	10 00 : 12 15		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Bülent KIRKAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A Review Of Studies On The Synthesis, Characterization, And Biological Activity Of Zno Nanoparticles Using The Green Synthesis Method	Prof. Dr. Bülent KIRKAN Mehmet Ali ADIGÜZEL	Afyonkarahisar Health Sciences University TÜRKİYE
Determination Of The Antioxidant Activity Of Onosma Tauricum Var Tauricum	Prof. Dr. Bülent KIRKAN Esma Nur AKKUŞ	Afyonkarahisar Health Sciences University TÜRKİYE
Clinical Efficacy Of Cannabinoids In Managing Motor And Non-Motor Symptoms In Parkinson's Disease: A Systematic Review Of Current Clinical Evidence	Assist.Prof.Dr.Gökçe ÇALIŞKAN Assist.Prof.Dr.A. Süveyda TEZGELEN	Ankara Medipol University TÜRKİYE
Clinical And Radiographic Follow-Up Of Intrusive Luxation In Primary Teeth: Two Case Reports	Res. Assist. İrem DEMİR Res. Assist.Gizem Nur BAYKAN Lect. Sena SAKIN ULUBAY Lect. İrem OKUMUŞ	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Esthetic Rehabilitation Of Generalized Enamel Hypoplasia With Direct Composite Restorations: A One-Year Case Follow-Up	Uzm. Dt. Kübra BAHAR Lect.Tülay Tuğçe GÖKÇE	Bilecik Seyh Edebali University TÜRKİYE
Cfd-Based Performance Enhancement Methods For Solar Air Heaters	Assist.Prof.Dr.Murat ÇATALKAYA	Kahramanmaraş Sütçü İmam University TÜRKİYE
Three Basic Psychological Needs Of E-Sports Players And Factors Affecting Their Motivation Within The Framework Of Self-Determination Theory: A Literature Review	Murat BOZCA Assoc.Prof.Dr. Esra BAYRAK AYAŞ	Adıyaman University TÜRKİYE
Digital Education And Artificial Intelligence Approaches To Supporting Self-Management In Children With Type 1 Diabetes	Dr. Hümeyra DENER Assist.Prof.Dr. Bahise AYDIN	Hacettepe University TÜRKİYE İzmir University TÜRKİYE
Evaluation Of Children's Perceptions Of Play And Attitudes Toward Outdoor Play From The Perspective Of The Sociology Of Leisure	ABDULCEBBAR ÖZDEMİR ERDAL ÇETİN	Milli Eğitim Bakanlığı TÜRKİYE Batman University TÜRKİYE

09.08.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 [30] : 12 [45]

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Assit.Prof.Dr.Samed ÇETİNKAYA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Treatment Of Nazopalatine Canal Cyst Detected During Routine Examination With Enucleation: Case Report	Uzm. Dt. Mustafa Can GÜRBÜZ	Sahinbey Oral and Dental Health Hospital TÜRKİYE
Extraction Of A Displaced Lower Twenty-Year-Old Wisdom Tooth In The Submandibular Lodge Via Intraoral Approach: Case Report	Uzm. Dt. Mustafa Can GÜRBÜZ	Sahinbey Oral and Dental Health Hospital TÜRKİYE
Biofilm Formation Mechanisms And Control Strategies Of Listeria Monocytogenes In Food Processing Environments	Lect. Dr. Özge ÖZTUNA ARAS	Izmir Katip Celebi University TÜRKİYE
The Role Of Faecalibacterium Prausnitzii, Dominant Species In The Gut Microbiota, In Health And Disease	Lect. Dr. Özge ÖZTUNA ARAS	Izmir Katip Celebi University TÜRKİYE
In Silico Evaluation Of The Iron Chelator Deferoxamine As A Potential Acetylcholinesterase (Ache) Inhibitor For Alzheimer's Disease	Lect.Dr. Semiha KÖPRÜ	Erciyes University TÜRKİYE
The Effect Of An Amino Acid Profile-Optimized Vegan Diet On Muscle Hypertrophy In Vegan Strength Athletes	Sıdıka Nur AKSOY Assoc.Prof.Dr. Semra NAVRUZ VARLI	Gazi University TÜRKİYE
Optimization Of $CsPbI_3$ Perovskite Solar Cells Using Scaps-1d Simulation, Box-Behnken Design (Bbd) And Genetic Algorithm	Assit.Prof.Dr.Samed ÇETİNKAYA	Mersin University TÜRKİYE
Ultra-Processed Foods And Their Association With Eating Disorders	Res.Assist.Kübra PASLIOĞLU	Erciyes University TÜRKİYE
Nutritional Psychiatry And The Gut–Brain Axis: Nutritional Approaches In Psychiatric Care	Res.Assist.Kübra PASLIOĞLU	Erciyes University TÜRKİYE

09.08.2026 / Hall-4, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 858 2287 6422

PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Effects Of B-Radiation On Charge Trapping And Dual Conduction Mechanism In Nanoporous Zeolite Cathodes	Dr. Sevgül ÖZTÜRK Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV	Independent Researcher
Effect Of Sılver Nanopartıcle Modıfıcatıon On Electrıcal Conductıvıty And Lıght Emıssıon Intensıty In Mıcro-Dıscharge Devıces	Dr. Sevgül ÖZTÜRK Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV	Independent Researcher
A Comparison Of Work Motivation Levels Among Generation Y And Generation Z Shopping Center Employees	Esra BOZKURT Prof. Dr. Ozan BÜYÜKYILMAZ	Karabük University TÜRKİYE
An Investigation Of The Relationship Between Science Literacy Perceptions And Artificial Intelligence Literacy Among Pre- Service Science Teachers	Melisa TOPAL Prof. Dr. Salih ATEŞ	Gazi University TÜRKİYE
Leadership Experiences Of Female Managers In The Tourism And Hospitality Industry: A Meta-Ethnographic Synthesis	Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK Assoc. Prof. Dr. Eda Rukiye DÖNBAK	Adıyaman University TÜRKİYE
Adoption Of Artificial Intelligence-Backed Decision Support Systems: A Meta-Ethnographic Synthesis Of Qualitative Research	Asst. Prof. Dr. Berkant DULKADİR Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK	Adıyaman University TÜRKİYE
Zero Waste Perception, Thought And Action Of Female Restaurant Entrepreneurs Within The Context Of The Theory Of Planned Behavior	Assist.Prof.Dr.Berna Turak KAPLAN Assoc.Prof.Dr. Mehmet KAPLAN Prof. Dr. Aykut BEDÜK	Isparta University of Applied Sciences TÜRKİYE
Entrepreneurs Who Resigned Quietly: Thoughtful And Experiential Exploration	Assist.Prof.Dr.Berna Turak KAPLAN Assoc.Prof.Dr. Mehmet KAPLAN Prof. Dr. Aykut BEDÜK	Isparta University of Applied Sciences TÜRKİYE

09.08.2026 / Hall-5, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 ^{00} : 13 ^{00}		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: **Prof. Dr. Jorge Ferreira FRANCO**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Effects Of Early Marriage And Divorce: Implications For Counselling	Musa Mohammed Jimada Abdulrahman Ahmed Abdullahi Barkuta	Dr. Umaru Sanda Ahmadu College of Education
Investigating Platforms For Instigating And Sustaining Transdisciplinar And Digital Education In 3d	Prof. Dr. Jorge Ferreira FRANCO	Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho BRASIL
Better Survey Controls Using PPP And RTK Technique	Guma, Edward Pishikeni Olonilenbi Patience Haruna, Akoji Agustine Simpa, Aliyu Abdulaziz Usman, Abdulazeez A.	Kogi State Polytechnic NIGERIA
Fruit Waste Extract As A Green Corrosion Inhibitor For Stainless Steel Metal Corrosion In 1m Hcl	Rabaa ABORWAIS Maha EL HAWARY Youssef BOURD Israe AHMYIANE Amale BOUTAKIOUT ,Abdelkbir BELLAOUCHOU	Mohammed V University MOROCCO
Influence Marketing And Consumer Buying Behaviour Of Automobile Firms In Minna Metropolis, Niger State	Adeshina Nike Tosin Abdulwaheed Dauda (Ph.D) Ochepa A. A. (Ph.D) Rafatu Ozohu ONIMISI	Federal University of Technology NIGERIA
DFT Study Of Strain-Induced Optical Shift In Graphone, A 2D Wide-Bandgap Semiconductor: Perspectives For Photovoltaic And Optoelectronic Applications	Brahim Moustahssine Rachid Masrour	Sidi Mohammed Ben Abdellah University MOROCCO
International Hasankeyf Scientific Research And Innovation CongressGeopolitics Of The Global Energy Transition: Renewable Energy, Critical Dependencies, And The Emerging World Order	Dr. Navneet	-
Study Of The Optoelectronic And Magnetic Properties Of Gdcrwo 6 Oxide Using Ab Initio Methods.	Y. El-harrar R. Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
Assessment Of Urban Encroachment Impacts On Wetlands Area In Lokoja, Kogi State-Nigeria	Agada D.U. Dr. Zitta N. Prof. I.C Onuigbo Dr. E.A. Adesina	Federal University of Technology NIGERIA

09.08.2026 / Hall-6, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Dr. Poonam Kumari

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Assessing The Levels Of Awareness And Availability Of Assistive Technology Tools For Learning In Niger State School For Individuals With Special Needs.	James Stephen Tukura Charles Saidu (Prof.) James John	Federal University of Technology NIGERIA
The Use Of GIS For Geospatial Analysis Along Abuja Kaduna Highway	Vandefan John Adekwagh Vandefan James Ode Onyeche Ann	Veritas University NIGERIA Abuja University NIGERIA
The Effect Of Honey And Ginger On Staphylococcus Aureus And Bacillus Spp	Vandefan John Adekwagh Vandefan James Ode Onyeche Ann	Veritas University NIGERIA Abuja University NIGERIA
Computational Investigation Of Electronic Properties And Atomic Charge Distribution In Dna Nucleobases Using Rhf, Dft And Mp2 Methods	Salihu Abubakar Gidado A.S. Abdulazeez S.U.	Bayero University NIGERIA
Road Safety And Infrastructure Deficiencies On The Lokoja-Felele Expressway: Evidence-Based Recommendations For Accident Reduction	Guma, Edward Pishikeni, Olonilenbi Patience Haruna, Akoji Agustine Simpa, Aliyu Abdulaziz, Usman, Abdulazeez A.	Kogi State Polytechnic NIGERIA
Artificial Intelligence in Criminal Investigation: A Critical Analysis of Legal and Procedural Challenges	Neha Berma Abhishek Annad Dr. Poonam Kumari	Central University of South Bihar INDIA Central University of South Bihar INDIA
Assessment Of The Growth Performance And Hemato-Biochemical Responses Of Broiler Chickens Fed Diets Supplemented With Henna (Lawsonia Inermis L.) Leaf Powder	Shahariar Shazzad Tahera Yeasmin Md. Arafat Jaman Emon Ahamed Naimur Rahman Sharul Jebin Tasmin Abtahi Islam Tariq	Mohammad Danesh Science and Technology University BANGLADESH
Investigation Of The Electrochemical, Structural, And Thermoelectric Properties Of Linio 2 Cathode Material For Li-Ion Batteries: An Ab Initio Study.	A. Leknizi R. Masrour	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO
The Role Of Auditing In Enhancing Accountability In Public Sector Organizations In Gombe State: A Case Study Of Gombe State Ministry Of Finance	Murtala Mohammed Baba Ahmadi Abubakar Majidadi Aminu Adamu Ahmed	Federal Polytechnic Kaltungo NIGERIA

09.08.2026 / Hall-7, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 ^{30} : 13 ^{30}		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: **Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Time For Action: Redefining Tourism Education At Aleksandër Moisiu University To Meet Market Demands	Brunilda Licaj PhD Mirela Tase Prof. As. Dr Eli Vyshka Prof. As. Dr Marsida Abdyl PhD Arlind Kasa PhD	Unversity A. Moisiu Durres ALBANIA
Architectures Of Intelligent Dwelling	Dr. Alessia G. QUATTRONE	University of Reggio Calabria ITALY
Artificial Intelligence And Green-Blue Infrastructures: Adaptive Regeneration Of The Land-Water Edges Of The Strait	Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA Dr. Alessia G. QUATTRONE	University of Reggio Calabria ITALY
Ai And Architecture Between Land And Sea	Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA Dr. Alessia G. QUATTRONE	University of Reggio Calabria ITALY
Brownfields Areas Along The Waterfront: Design And Strategies For Reuse And Regeneration	Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA Dr. Alessia G. QUATTRONE	University of Reggio Calabria ITALY
The Relationship Between Architecture And Urban Planning:Developments And Dialogues	Prof. Dr. Celestina FAZIA Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA	University of Reggio Calabria ITALY
Interventions To Revitalize Abandoned Villages: A Project For Forza D'agrò	Dr. Maria Francesca FARO	University of Reggio Calabria ITALY
Spaces And Geometries Of Transit	Prof. Dr. Celestina FAZIA Dr. MARIA FRANCESCA FARO Dr. Alessia G. QUATTRONE Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA	University of Reggio Calabria ITALY

09.08.2026 / Hall-9, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 858 2287 6422
	11 30 : 13 30		PASSCODE: 416111

HEAD OF SESSION: Prof Dr Jovan BOJKOVSKI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A Re-examination of Archaeological Excavation Findings Tall el-Hammam Between the Villages of Lot and the Companions of al-Aykah	Prof Dr Mohammed Waheeb	Hashemite University JORDAN
The Discovery of the Oldest Known Cave Church at the Site ofesus' Baptism – Jordan River	Prof Dr Mohammed Waheeb	Hashemite University JORDAN
On a Class of Nonlinear Partial Differential Equations: Double Phase-Choquard Problems Involving the - Laplacian Operator in Generalized Hilfer Fractional Derivative Spaces	Youssef EDABAB Samira ZERBIB Ahmed KAJOUNI Khalid HILAL	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
The Role of Urban Tourism in Heritage Revival and Sustainable Development: Zarqa City as an Applied Model	Amal Kanani Amani Kamal	The Hashemite University JORDAN
Strategic Human Resource Management And Organizational Effectiveness	Seifeslasie Asmamaw	Bahir Dar University ETHIOPIA

PHOTO GALLERY

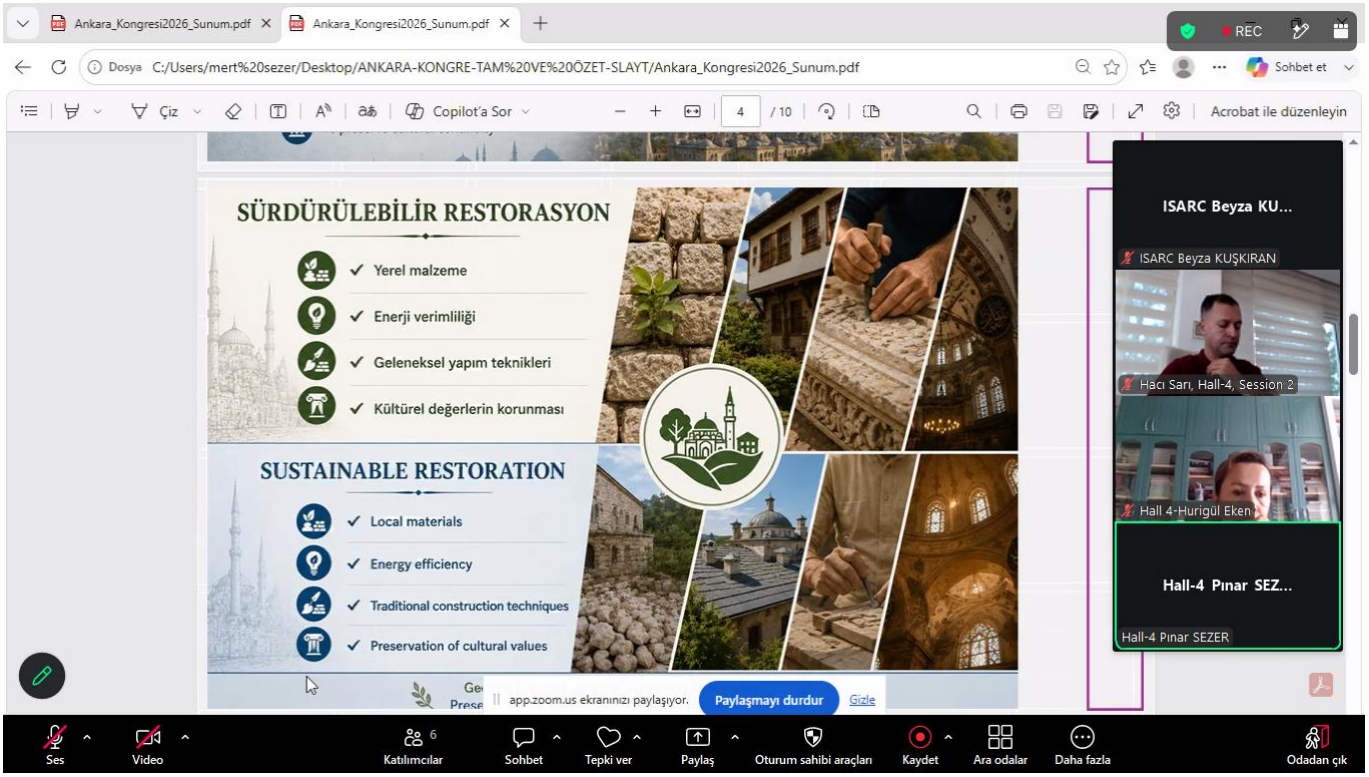




PHOTO GALLERY



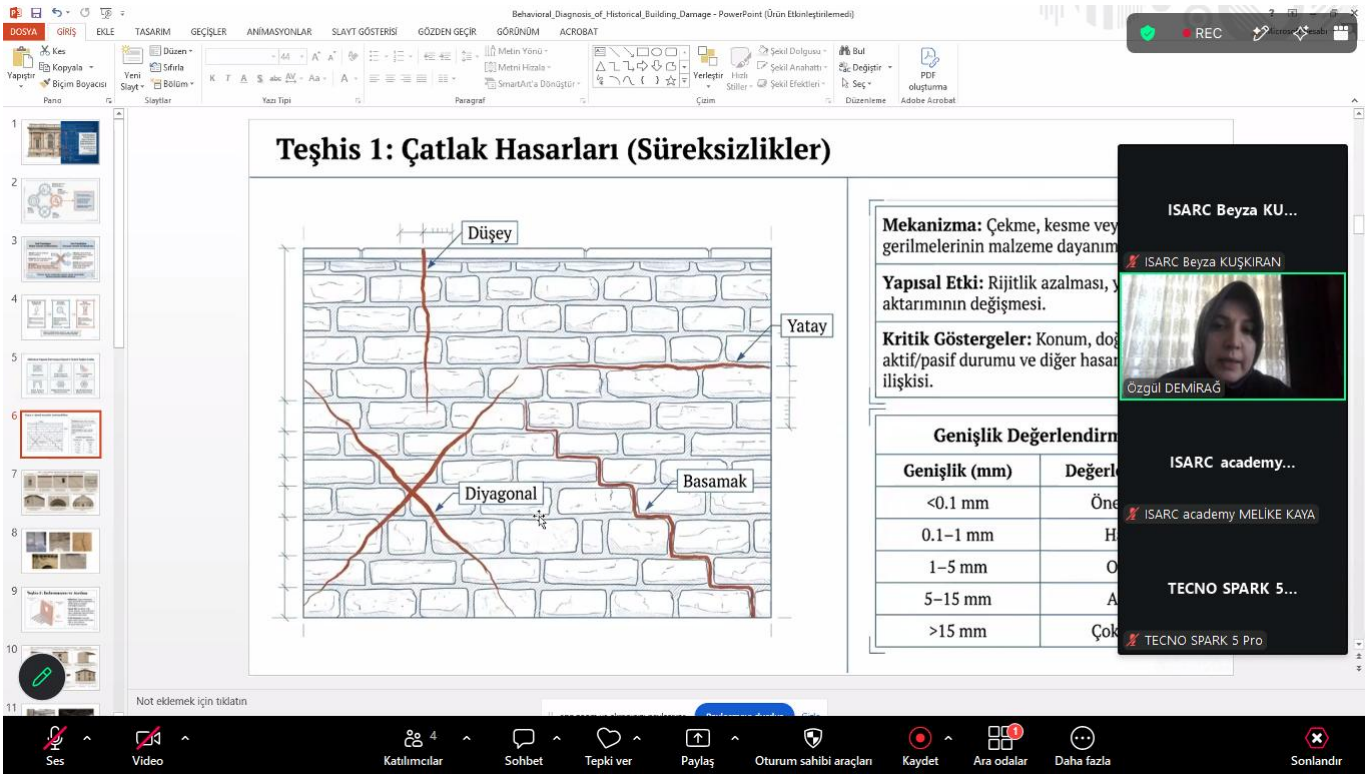
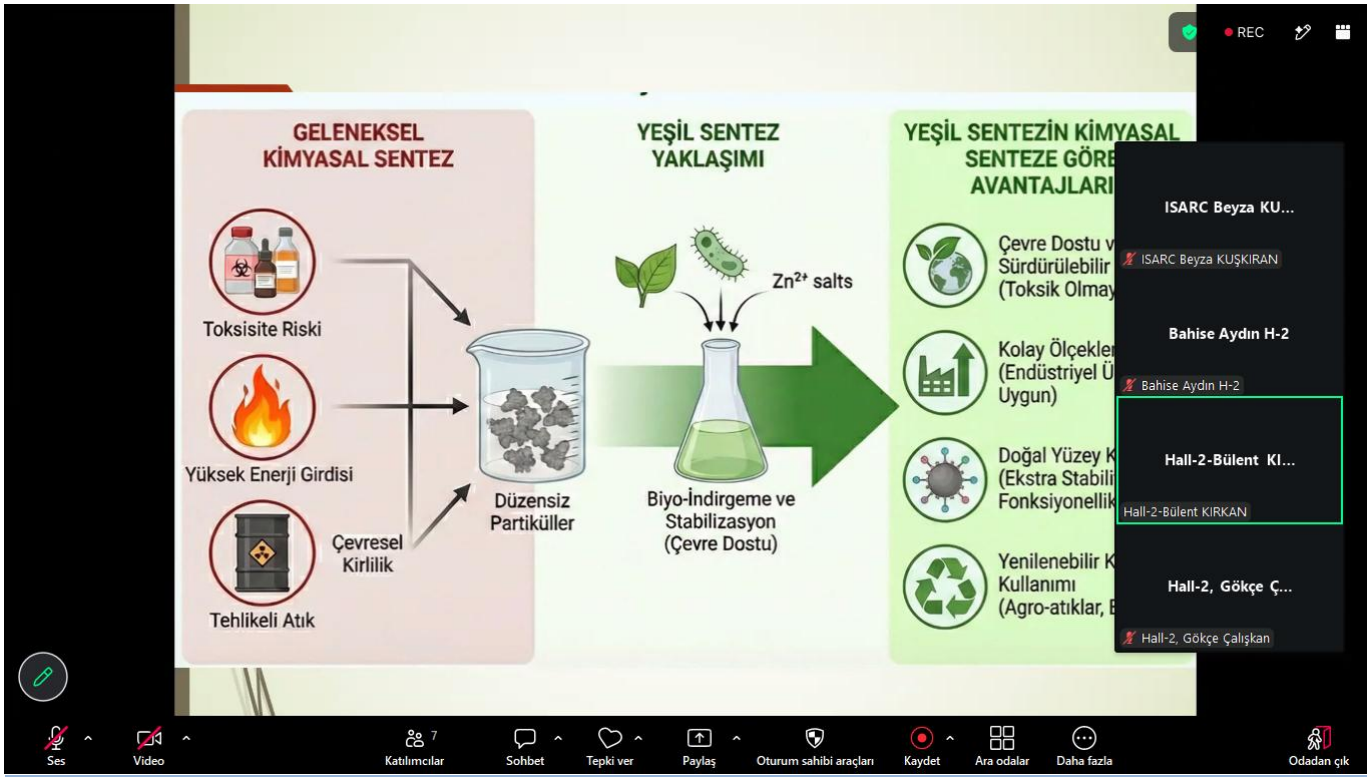


PHOTO GALLERY



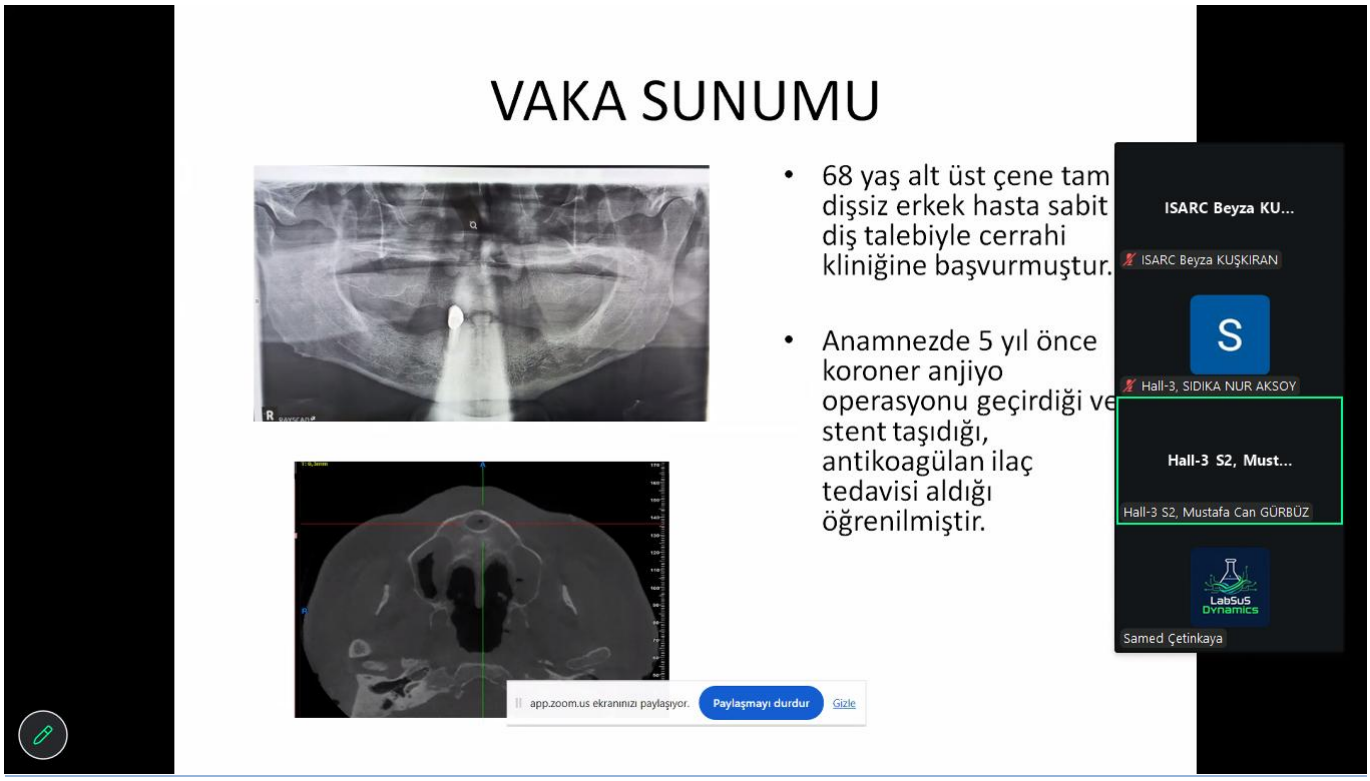
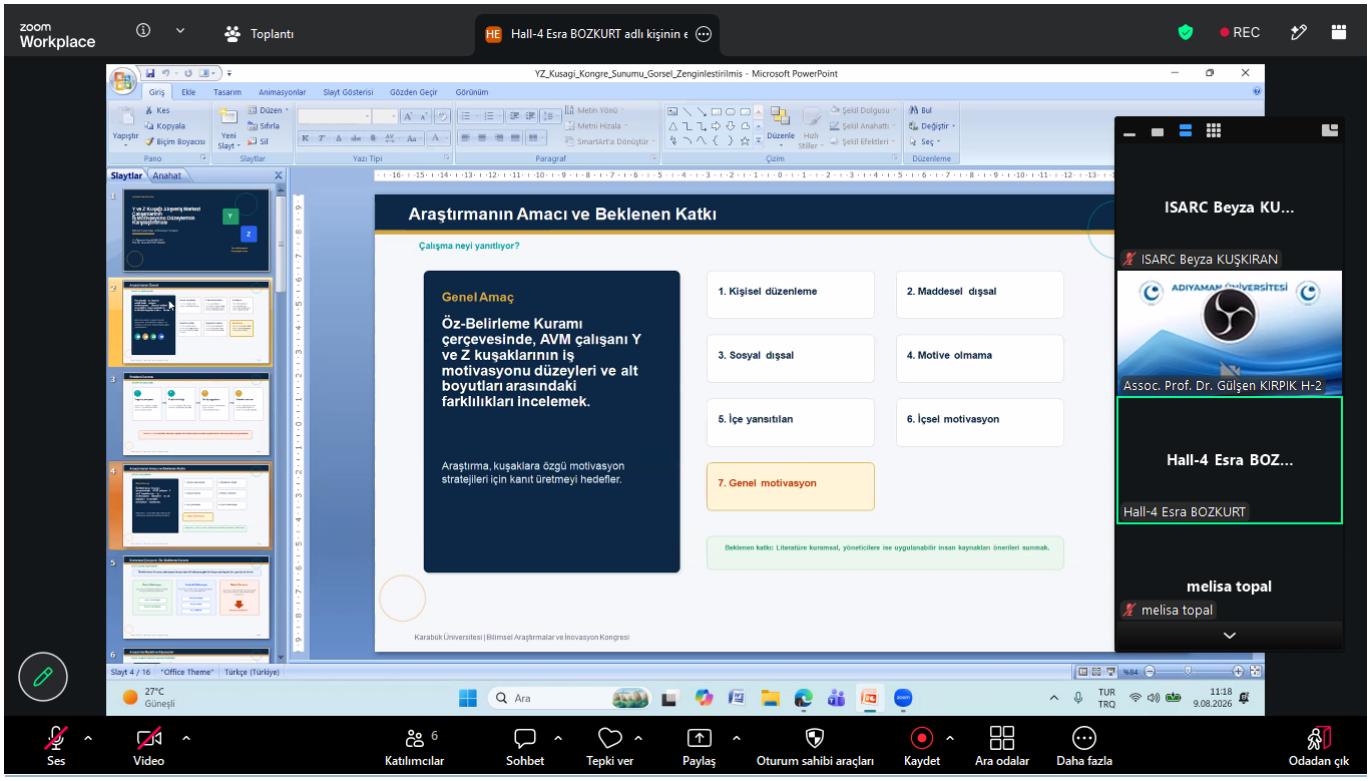


PHOTO GALLERY





INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU:KONGRE KATILIMCI BİLGİSİ **20.08.2026**

İLGİLİ MAKAMA

6. ULUSLARARASI ANKARA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ 08-09 AĞUSTOS 2026 tarihleri arasında ANKARA'da ve online olarak 17 farklı ülkeden (Türkiye:62 ve diğer Ülkeler:73; Toplam:135 akademisyen/araştırmacıların katılımı ile gerçekleşmiştir. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen '' Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurtdışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışından en az 5 ülkeden farklı tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır. '' Değişikliğine ve doçentlik kriterlerine uygun olarak düzenlenmiştir uygun düzenlenmiştir. Bilgilerinize arz edilir.

Saygılarımla

Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC

NOTIFICATIONS

AUTHOR	TITLE	No
Mahir ŞİN	INTERVENTION TO THE HUMAN BODY IN ISLAMIC LAW (FIQH)	1-9
Berna Turak KAPLAN Mehmet KAPLAN Aykut BEDÜK	ENTREPRENEURS WHO RESIGNED QUIETLY: THOUGHTFUL AND EXPERIENTIAL EXPLORATION	10-13
Berna Turak KAPLAN Mehmet KAPLAN Aykut BEDÜK	ZERO WASTE PERCEPTION, THOUGHT AND ACTION OF FEMALE RESTAURANT ENTREPRENEURS WITHIN THE CONTEXT OF THE THEORY OF PLANNED BEHAVIOR	14-18
Yunus Emre ANİGİ Mertcan YİRMİLİ Yıldız ŞAHİN	EVALUATION OF CHARGE MATERIAL CONFIGURATIONS AFFECTING ENERGY PERFORMANCE IN INDUCTION COIL MELTING SYSTEMS USING THE ANALYTIC NETWORK PROCESS	19-30
Ayşenur KESKİN Ayşe ŞEDİT Yıldız ŞAHİN	A DECISION SUPPORT APPROACH FOR AUTOMOTIVE SUPPLIER INDUSTRY: SUPPLIER SELECTION AND OPTIMIZATION VIA MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING	31-43
Semiha KÖPRÜ	IN SILICO EVALUATION OF THE IRON CHELATOR DEFEROXAMINE AS A POTENTIAL ACETYLCHOLINESTERASE (AChE) INHIBITOR FOR ALZHEIMER'S DISEASE	44-52
Selin YILMAZ Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ Güray KILINÇÇEKER	COAGULATION AND FLOCULATION METHODS, PRINCIPLES, AND COMMONLY USED CLASSIC COAGULANTS	53-59
Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ Behzat BALCI	BIOLOGICAL IMPORTANCE OF NITROGEN, ENVIRONMENTAL RISKS AND REMOVAL TECHNOLOGIES	60-65
Hurigül EKEN	THE IMPACT OF REVERSE RURAL MIGRATION ON LABOR MARKETS AND INTRA-FAMILY RELATIONS AFTER THE FEBRUARY 6, 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES	66-76
Uğur GÜNEY Ali YILDIZ Ali AKDAĞLI	COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING-BASED SEGMENTATION ARCHITECTURES FOR MAIZE AND WEED DISCRIMINATION IN AN AUTONOMOUS INTRA-ROW HOEING AGRICULTURAL ROBOT	77-92
Ali AKDAĞLI Ali YILDIZ Filiz KARAÖMERLİOĞLU Serkan Can ŞEKERCİ	A COMPARATIVE REVIEW OF MACHINE-LEARNING- AND DEEP-LEARNING-BASED INTELLIGENT FORECASTING APPROACHES ACROSS DIFFERENT PHOTOVOLTAIC SYSTEM ARCHITECTURES	93-108
Ali AKDAĞLI Ali YILDIZ	RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION FOR LARGE LANGUAGE MODELS: ARCHITECTURAL APPROACHES, EVALUATION FRAMEWORKS, AND RESEARCH DIRECTIONS FOR TURKISH NATURAL LANGUAGE PROCESSING SYSTEMS	109-125
Sevgül ÖZTÜRK Bahtiyar SALAMOV	EFFECT OF SILVER NANOPARTICLE MODIFICATION ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND LIGHT EMISSION INTENSITY IN MICRO-DISCHARGE DEVICES	126-132
Sevgül ÖZTÜRK Bahtiyar SALAMOV	EFFECTS OF B-RADIATION ON CHARGE TRAPPING AND DUAL CONDUCTION MECHANISM IN NANOPOROUS ZEOLITE CATHODES	132-139
Sıdıka Nur AKSOY Doç. Dr. Semra NAVRUZ VARLI	THE EFFECT OF AN AMINO ACID PROFILE-OPTIMIZED VEGAN DIET ON MUSCLE HYPERTROPHY IN VEGAN STRENGTH ATHLETES	140-147
Süleyman ÇAM	BAHA SAID BEY'S ASSESSMENTS OF THE NUSAYRI COMMUNITY IN ANATOLIA, SPECIFICALLY IN THE TURKISH HOMELAND MAGAZINE	148-163
Ali Berk TAVACI Taha Süreyya ÖZGÜ	COATING DAMAGE AND CORROSION BEHAVIOR IN BOLTED JOINTS	164-171

Pınar SEZER	A HOLISTIC CONSERVATION APPROACH IN SUSTAINABLE RESTORATION: INTEGRATION OF ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND CULTURAL DIMENSIONS	172-177
Melisa TOPAL Salih ATEŞ	INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SCIENCE TEACHER CANDIDATES' PERCEPTION OF SCIENCE LITERACY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY	178-183
Ensar Taha ÇELİK ONUR DEMİREL	CONTROL OF PHASE-SHIFTED FULL-BRIDGE (PSFB) CONVERTER USING LQI-BASED STATE FEEDBACK METHOD	184-190
Esra BOZKURT Ozan BÜYÜKYILMAZ	A COMPARISON OF WORK MOTIVATION LEVELS AMONG GENERATION Y AND GENERATION Z SHOPPING CENTER EMPLOYEES	191-200
Dr. Burcu Meliha KESER	SUPERSTITIONS: A UNIVERSAL STUDY ON CULTURAL CODES AND SOCIAL FUNCTIONS	201-216
Murat ÇATALKAYA	CFD-BASED PERFORMANCE ENHANCEMENT METHODS FOR SOLAR AIR HEATERS	217-229
Özge ÖZTUNA ARAS	THE ROLE OF THE MOST ABUNDANT GUT MICROBIOTA SPECIES, FAECALIBACTERIUM PRAUSNITZII, IN HEALTH AND DISEASE	230-234
Özge ÖZTUNA ARAS	BIOFILM FORMATION MECHANISMS AND CONTROL STRATEGIES OF LISTERIA MONOCYTOGENES IN FOOD PROCESSING ENVIRONMENTS	235-241
Murat BOZCA Esra BAYRAK AYAŞ	FACTORS AFFECTING THE THREE BASIC PSYCHOLOGICAL NEEDS AND MOTIVATION OF E-ATHLETES WITHIN THE FRAMEWORK OF SELF-DETERMINATION THEORY: A LITERATURE REVIEW	242-249
Bülent KIRKAN Mehmet Ali ADIGÜZEL	REVIEW OF ZnO NANOPARTICLE SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND BIOLOGICAL ACTIVITY STUDIES VIA GREEN SYNTHESIS	250-266
Bülent KIRKAN Esma Nur AKKUŞ	DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *Onosma tauricum var. tauricum*	267-278
Ahmed Emin OSMANOĞLU	PERSONAL NAMES IN A SOCIAL STUDIES TEXTBOOK: ETYMOLOGICAL ORIGIN, ISLAMIC CONTEXT, AND GENDER	279-287
Melek KURŞUNEL Öznur AKPINAR Hande BABA KAYA Selahattin AKPINAR	A STUDY OF THE LEVELS OF HEALTH LITERACY KNOWLEDGE IN SPORTS AMONG PEOPLE WHO ARE SEDENTARY	288-293
Melek KURŞUNEL Öznur AKPINAR Hande BABA KAYA Selahattin AKPINAR	FACTORS THAT INFLUENCE THE HEALTH BEHAVIOURS OF UNIVERSITY STUDENTS	294-299
Hamiyet KIZIL Merdiye ŞENDİR	DYNAMICS OF TRANSFORMATION IN NURSING: INNOVATIONS IN EDUCATION, CLINICAL PRACTICE AND RESEARCH	300-311
Merdiye ŞENDİR Hamiyet KIZIL	DATA SECURITY AND ETHICAL CHALLENGES IN DIGITAL HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW FROM A NURSING PERSPECTIVE	312-319
Kadriye ALUÇ Ümmühan ARK	AN EVALUATION OF ECONOMIC BOYCOTT FROM THE PERSPECTIVE OF ISLAMIC LAW IN THE CONTEXT OF THE PALESTINIAN QUESTION	320-328
Kübra BAHAR Tülay Tuğçe GÖKÇE	ESTHETIC REHABILITATION OF GENERALIZED ENAMEL HYPOPLASIA WITH DIRECT COMPOSITE RESTORATIONS: A ONE-YEAR CASE FOLLOW-UP	329-338
Erkan EGELİ Oğuzhan COŞKUN Gökhan MUTLU	PERFORMANCE ANALYSIS OF TLS 1.2 HANDSHAKE AND MQTT SECURE COMMUNICATION TIMES IN EMBEDDED SYSTEMS WITH AN EXTERNAL CRYPTOGRAPHIC COPROCESSOR	339-356

Gülşen KIRPIK Eda Rukiye DÖNBAK	LEADERSHIP EXPERIENCES OF FEMALE MANAGERS IN THE TOURISM AND HOSPITALITY INDUSTRY: A META-ETHNOGRAPHIC SYNTHESIS	357-368
Berkant DULKADİR Gülşen KIRPIK	ADOPTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BACKED DECISION SUPPORT SYSTEMS: A META-ETHNOGRAPHIC SYNTHESIS OF QUALITATIVE RESEARCH	369-385
Aziz YILMAZ	MULTILEVEL LDPC CODING OVER OFDM-BASED COMMUNICATION CHANNELS	386-398
Hümeyra DENER Bahise AYDIN	DIGITAL EDUCATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACHES TO SUPPORTING SELF-MANAGEMENT IN CHILDREN WITH TYPE 1 DIABETES	399-410
Mehmet Sinan YUM	THE PLACE AND IMPORTANCE OF 3D VISUALIZATION IN DESIGN IN THE POST-TRUTH ERA	411-429
Özlem Ayşen BAYTÖRE Osman YILDIRIM	TRANSFORMATION OF WORK EQUIPMENT THROUGH SMART SENSOR AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION: A MODEL PROPOSAL FOR REDUCING WORKPLACE ACCIDENTS	430-440
Bahadır GÜVEN	AN INVESTIGATION OF CAPACITIVE INRUSH CURRENT LIMITING TECHNIQUES IN ELECTRONIC DEVICES	441-442
Samed ÇETİNKAYA	OPTIMIZATION OF $CSPBI_3$ PEROVSKITE SOLAR CELLS USING SCAPS-1D SIMULATION, BOX-BEHNKEN DESIGN (BBD) AND GENETIC ALGORITHM	443-444
Mustafa Can GÜRBÜZ	EXTRACTION OF A DISPLACED LOWER TWENTY-YEAR-OLD WISDOM TOOTH IN THE SUBMANDIBULAR LODGE VIA INTRAORAL APPROACH: CASE REPORT	445
Mustafa Can GÜRBÜZ	TREATMENT OF NAZOPALATINE CANAL CYST DETECTED DURING ROUTINE EXAMINATION WITH ENUCLEATION: CASE REPORT	446-447
ABDULCEBBAR ÖZDEMİR ERDAL ÇETİN	EVALUATION OF CHILDREN'S PERCEPTIONS OF PLAY AND ATTITUDES TOWARD OUTDOOR PLAY FROM THE PERSPECTIVE OF THE SOCIOLOGY OF LEISURE	448-449
İrem Demir Gizem Nur Baykan Sena SAKIN ULUBAY İrem OKUMUŞ	CLINICAL AND RADIOGRAPHIC FOLLOW-UP OF INTRUSIVE LUXATION IN PRIMARY TEETH: TWO CASE REPORTS	450-451
Gökçe ÇALIŞKAN A. Süveyda TEZGELEN	CLINICAL EFFICACY OF CANNABINOIDS IN THE MANAGEMENT OF MOTOR AND NON-MOTOR SYMPTOMS IN PARKINSON'S DISEASE: A SYSTEMATIC REVIEW OF CURRENT CLINICAL EVIDENCE	452-453
Olcay TOSUN	EARLY PREDICTION OF STUDENT ACADEMIC SUCCESS THROUGH NOTE-TAKING ANALYTICS AND MACHINE LEARNING	454
Özgül DEMİRAĞ	CLASSIFICATION AND EVALUATION OF DAMAGE TYPES OBSERVED IN HISTORICAL BUILDINGS	455-456
Özgül DEMİRAĞ	CONCEPTUAL CLASSIFICATION AND EVALUATION OF PROBLEMS ENCOUNTERED IN THE CONSERVATION PROCESS OF HISTORICAL BUILDINGS	457-458
Mehmet RAMAZANOĞLU Kübra KÖYLÜ	THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGY USAGE ATTITUDES AND DIGITAL GAMING ATTITUDES OF UNIVERSITY LIBRARY USERS	459-460
Kübra PASLIOĞLU	NUTRITIONAL PSYCHIATRY AND THE GUT–BRAIN AXIS: NUTRITIONAL APPROACHES IN PSYCHIATRIC CARE	461-462
Kübra PASLIOĞLU	ULTRA-PROCESSED FOODS AND THEIR ASSOCIATION WITH EATING DISORDERS	463-464
Hacı SARI	OEE-BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF CNC MACHINE TOOLS IN CONSTRUCTION AND HEAVY MACHINERY MANUFACTURING	465-466

Ecren UZUN YAYLACI	EVALUATION OF MARINE-DERIVED BACTERIA FOR BIOCONCRETE APPLICATIONS	467-468
Çiğdem OVACI BEJİ Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	WETTABILITY AND MECHANICAL DURABILITY OF PFDTES-MODIFIED CHEMICALLY ETCHED AISI 304 AND AISI 316 STAINLESS STEELS	467
Çiğdem OVACI BEJİ Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN	COMPARATIVE EFFECTS OF CATIONIC AND ANIONIC SURFACTANTS ON THE MORPHOLOGY AND WETTABILITY OF CHEMICALLY ETCHED AISI 304 AND AISI 316 STAINLESS STEELS	470
OĞULTAY UZUNCA RECEP GÜNEŞ	EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BALLISTIC BEHAVIOR OF GLASS FIBER AND CARBON FIBER PLATES	471
Emine GÜVEN	INTEGRATED MULTI-CLASS MACHINE LEARNING AND TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF A CONSERVED 30-GENE SIGNATURE FOR DISTINGUISHING ALZHEIMER'S DISEASE, HUNTINGTON'S DISEASE, AND NON-DEMENTED CONTROLS	472-473
Anvar Abbasov	DILIGENCE IS THE MAIN QUALITY OF A MODERN TEACHER	474-484
Neha Berma Dr. Poonam Kumari Abhishek Annad	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CRIMINAL INVESTIGATION: A CRITICAL ANALYSIS OF LEGAL AND PROCEDURAL CHALLENGES	485
Youssef EDABAB Samira ZERBIB Ahmed KAJOUNI Khalid HILAL	ON A CLASS OF NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: DOUBLE PHASE-CHOQUARD PROBLEMS INVOLVING THE p-LAPLACIAN OPERATOR IN GENERALIZED ψ −HILFER FRACTIONAL DERIVATIVE SPACES	486
Celestina FAZIA MARIA FRANCESCA FARO Alessia G. QUATTRONE Clara Stella VICARI AVERSA	SPACES AND GEOMETRIES OF TRANSIT	487-499
Maria Francesca FARO	INTERVENTIONS TO REVITALIZE ABANDONED VILLAGES: A PROJECT FOR FORZA D'AGRÒ	500-505
Celestina FAZIA Clara Stella VICARI AVERSA	THE RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING: DEVELOPMENTS AND DIALOGUES	506-521
Clara Stella VICARI AVERSA Celestina FAZIA	BROWNFIELDS AREAS ALONG THE WATERFRONT:DESIGN AND STRATEGIES FOR REUSE AND REGENERATION	522-533
Clara Stella VICARI AVERSA Alessia G. QUATTRONE	AI AND ARCHITECTURE BETWEEN LAND AND SEA	534-546
Clara Stella VICARI AVERSA Alessia G. QUATTRONE	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GREEN-BLUE INFRASTRUCTURES:ADAPTIVE REGENERATION OF THE LAND-WATER EDGES OF THE STRAIT	547-565
Alessia G. QUATTRONE	ARCHITECTURES OF INTELLIGENT DWELLING	566-579
Brunilda Licaj PhD Mirela Tase Prof. As. Dr Eli Vyshka Prof. As. Dr Marsida Abdyl PhD Arlind Kasa PhD	TIME FOR ACTION: REDEFINING TOURISM EDUCATION AT ALEKSANDËR MOISIU UNIVERSITY TO MEET MARKET DEMANDS	580
Mohammed Waheeb	THE DISCOVERY OF THE OLDEST KNOWN CAVE CHURCH AT THE SITE OF JESUS' BAPTISM – JORDAN RIVER	581
Mohammed Waheeb	A RE-EXAMINATION OF ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION FINDINGS TALL EL-HAMMAM BETWEEN THE VILLAGES OF LOT AND THE COMPANIONS OF AL-AYKAH	582-583
Sarah Shahid	DOES HABITUAL EXERCISE MODULATE SYSTEMIC INFLAMMATION AND LEFT VENTRICULAR FUNCTION IN DIABETIC PATIENTS WITH ISCHEMIC HEART DISEASE?	584
Seifeslasie Asmamaw	STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT AND ORGANIZATIONAL EFFECTIVENESS	585

Murtala Mohammed Baba Ahmadi Abubakar Majidadi Aminu Adamu Ahmed	THE ROLE OF AUDITING IN ENHANCING ACCOUNTABILITY IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS IN GOMBE STATE: A CASE STUDY OF GOMBE STATE MINISTRY OF FINANCE	586-597
A. Leknizi R. Masrour	INVESTIGATION OF THE ELECTROCHEMICAL, STRUCTURAL, AND THERMOELECTRIC PROPERTIES OF $LINIO_2$ CATHODE MATERIAL FOR LI-ION BATTERIES: AN AB INITIO STUDY	598
Shahariar Shazzad Tahera Yeasmin Md. Arafat Jaman Emon Ahamed Naimur Rahman Sharul Jebin Tasmin Abtahi Islam Tariq	ASSESSMENT OF THE GROWTH PERFORMANCE AND HEMATO-BIOCHEMICAL RESPONSES OF BROILER CHICKENS FED DIETS SUPPLEMENTED WITH HENNA (*LAWSONIA INERMIS* L.) LEAF POWDER	599
Vorya Shabrandi Dr. Sajjad Bahrami Moghadam	CHALLENGES AND INSTITUTIONAL–STRUCTURAL BARRIERS TO INDIVIDUAL MASTERY IN THE PATH OF IRAN'S POLITICAL ECONOMY UNDERDEVELOPMENT	600
Guma, Edward Pishikeni Olonilenbi Patience Haruna, Akoji Agustine Simpa, Aliyu Abdulaziz Usman, Abdulazeez A.	ROAD SAFETY AND INFRASTRUCTURE DEFICIENCIES ON THE LOKOJA-FELELE EXPRESSWAY: EVIDENCE-BASED RECOMMENDATIONS FOR ACCIDENT REDUCTION	601-602
Salihu Abubakar Gidado A.S. Abdulazeez S.U.	COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF ELECTRONIC PROPERTIES AND ATOMIC CHARGE DISTRIBUTION IN DNA NUCLEOBASES USING RHF, DFT AND MP2 METHODS	603
Vandefan John Adekwagh Vandefan James Ode Onyeche Ann	THE EFFECT OF HONEY AND GINGER ON *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* AND *BACILLUS SPP*	604-618
Vandefan John Adekwagh Vandefan James Ode Onyeche Ann	THE USE OF GIS FOR GEOSPATIAL ANALYSIS ALONG ABUJA KADUNA HIGHWAY	618-649
James, Stephen Tukura Charles Saidu	ASSESSING THE LEVELS OF AWARENESS AND AVAILABILITY OF ASSISTIVE TECHNOLOGY TOOLS FOR LEARNING IN NIGER STATE SCHOOL FOR INDIVIDUALS WITH SPECIAL NEEDS.	650-658
Agada D.U. Dr. Zitta N. Prof. I.C Onuigbo Dr. E.A. Adesina	ASSESSMENT OF URBAN ENCROACHMENT IMPACTS ON WETLANDS AREA IN LOKOJA, KOGI STATE-NIGERIA	659-665
Y. El-harrar R. Masrour	STUDY OF THE OPTOELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF $GDCRWO_6$ OXIDE USING AB INITIO METHODS	666-668
Navneet	GEOPOLITICS OF THE GLOBAL ENERGY TRANSITION: RENEWABLE ENERGY, CRITICAL DEPENDENCIES, AND THE EMERGING WORLD ORDER	669
Brahim Moustahssine Rachid Masrour	DFT STUDY OF STRAIN-INDUCED OPTICAL SHIFT IN GRAPHONE, A 2D WIDE-BANDGAP SEMICONDUCTOR: PERSPECTIVES FOR PHOTOVOLTAIC AND OPTOELECTRONIC APPLICATIONS	670
Adeshina Nike Tosin Abdulwaheed Dauda (Ph.D) Ochepa A. A. (Ph.D) Rafatu Ozohu ONIMISI	INFLUENCE MARKETING AND CONSUMER BUYING BEHAVIOUR OF AUTOMOBILE FIRMS IN MINNA METROPOLIS, NIGER STATE	671

Rabaa ABORWAIS Maha EL HAWARY Youssef BOURD Israe AHMYIANE Amale BOUTAKIOUT Abdelkbir BELLAOUCHOU	FRUIT WASTE EXTRACT AS A GREEN CORROSION INHIBITOR FOR STAINLESS STEEL METAL CORROSION IN 1M HCL	672
Guma, Edward Pishikeni Olonilenbi Patience Haruna, Akoji Agustine Simpa, Aliyu Abdulaziz Usman, Abdulazeez A.	BETTER SURVEY CONTROLS USING PPP AND RTK TECHNIQUE	673
Jorge Ferreira FRANC	INVESTIGATING PLATFORMS FOR INSTIGATING AND SUSTAINING TRANSDISCIPLINAR AND DIGITAL EDUCATION IN 3D	674-681
Musa Mohammed Jimada Abdulrahman Ahmed Abdullahi Barkuta	EFFECTS OF EARLY MARRIAGE AND DIVORCE: IMPLICATIONS FOR COUNSELLING	682
Ivan PAVLOVIĆ Jovan BOJKOVSKI Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA Ivanka HADŽIĆ	THE IMPORTANCE OF NOURISHMENT OF PASTURES FOR OBTAINING HIGH-QUALITY OF GRASS FOR ANIMAL NUTRITION	683
I. Khouakhi R. Masrour L. Xu A. Rezzouk	DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY OF ACTIVATION ENERGY AND DIFFUSION COEFFICIENT OF SODIUM-SUBSTITUTED LITHIUM SITES IN THE IRON-BASED OLIVINE CATHODE MATERIAL	684
Sadais Amjad	FROM THEORY TO PRACTICE: A ROADMAP FOR QUANTUM FINANCE IN THE NEXT DECADE	685
Sadais Amjad	LLM-POWERED FINANCIAL ADVISORY: OPPORTUNITIES, HALLUCINATION RISKS, AND GUARDRAILS	686
Richa Srivastava	STRIKE REGULATION IN TRANSITION: LESSONS FROM INDIA'S INDUSTRIAL RELATIONS REFORMS	687-688
Saima Shaheen Nabila Sher Kalsoom Tariq	THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY	689-690
S. Belhamra R Masrour	A $\boldsymbol{DFT + U}$ AND MONTE CARLO STUDY OF $\boldsymbol{Gd_2Zr_2O_7}$ PYROCHLORE	691
Assiya Atif Bendaoud Ahmed Salah Mohammed Zeroual abdellah Houssine Ait Sir	NOVEL DERIVATIVE OF 1,3,4-OXADIAZOLE-IMINE: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND THEORETICAL SIMULATIONS	692
Sidra Altaf	COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL APPROACHES FOR THE DEVELOPMENT OF NOVEL ANTI-DIABETIC PHYTOTHERAPEUTICS	693
A. Abjaou R. Masrour	MAGNETOCALORIC EFFECT, STRUCTURAL, MAGNETIC AND ELECTRONIC PROPERTIES OF HIGH-ENTROPY ALLOYS $ALCO_xCR_{1-x}FENI$: FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS AND MONTE CARLO SIMULATIONS	694
Yassine Zıne-Eddıne Zakaria Haddan Morad Oubouali Dlimi charaf Omar Ait El Alia Boutoıal Khalid	FLAVOR MITIGATION IN GOAT MILK YOGURT AND DAIRY BEVERAGE FORTIFIED WITH STRAWBERRY TREE (*ARBUTUS UNEDO L.)* PULP	695
Natalia Bolgari	EMPLOYABILITY SKILLS IN THE ERA OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: DEVELOPING A COMPETENCY FRAMEWORK FOR HIGHER EDUCATION	696

M. Kmichou R. Masrour	MULTIPURPOSE $CSPBI_2BR$ PEROVSKITE: FROM HIGH-EFFICIENCY SOLAR CELLS TO SPONTANEOUS PHOTOCATALYTIC WATER-SPLITTING	697
Elom E. C. Collins, O. C. Ochu, A. T. Akoma, U. C. Ayinde, A. M.	MATHEMATICAL MODELLING ON DRUG RESISTANCE IN THE TREATMENT OF MALARIA	698-707
Obeten Ukabi Agwa Terzungwe Patrick Oche Ogbe Ebam	EMPOWERING FOR PEACE: MOBILIZING BUSINESS EDUCATION TO ACHIEVE SDGS - 1 AND 8 THROUGH YOUTH ENTREPRENEURSHIP IN INSURGENCY-PRONE REGIONS IN NIGERIA	708
Seifeslasie Asmamaw	DIGITAL FINANCIAL SERVICES AND CONSUMER FINANCIAL INCLUSION: A COMPREHENSIVE SYSTEMATIC REVIEW OF GLOBAL TRENDS, OPPORTUNITIES, BARRIERS, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS	709
Faisal Bala Garba Rayyan Yusuf Abdulrasheed Yusuf Aminu Adamu Ahmed	MACHINE LEARNING-DRIVEN DEMAND FORECASTING FOR SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION: EVIDENCE FROM THE UCI DAILY DEMAND FORECASTING ORDERS DATASET	710-720
Jamila BOUCHGL Khadija OUAISSA	CFD INVESTIGATION OF WIND-INDUCED KELVIN–HELMHOLTZ INSTABILITY AT THE AIR–SEA INTERFACE: IMPLICATIONS FOR MARINE HYDRODYNAMICS	721
Roxana Mihaela Moisoiu	ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CRIMINOLOGY: BETWEEN INNOVATION, PREVENTION, AND RESPONSIBILITY	722
Tasawar Iqbal Sidra Altaf	PATHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF SYNOVIAL INFLAMMATION, CARTILAGE DAMAGE, AND BONE EROSION IN RHEUMATOID ARTHRITIS	723
Tran Thi Thanh Hang	LEGAL AID IN CRIMINAL PROCEEDINGS ADAPTING TO DIGGITAL TRANSFORMATION IN CONTEMPORARY VIETNAM	724-729
OBINNA, Amarachi Linda MACHEBE, Ndubuisi Samuel	GROWTH PERFORMANCE OF RABBIT BUCKS ADMINISTERED AQUEOUS EXTRACT OF *IPOMOEA BATATAS* LEAVES	730-734
Bledar KRAJA	HEPATOCELLULAR CARCINOMA MORTALITY TRENDS IN ALBANIA: INVESTIGATING THE PROTECTIVE EFFECTS OF THE MEDITERRANEAN DIET IN A HYPERENDEMIC HBV REGION	735
Stephen Oluwatosin KAZEEM	E-GOVERNANCE AND INSTITUTIONAL PERFORMANCE IN NIGERIA'S PUBLIC SECTOR: A STUDY OF THE OGUN STATE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY	736
Abed zoulikha Lachabi Abdelhadi Laid Abdelali Malki Faiza Abid Hamza	FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION OF THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF $TL_{1-x}B_xP$ ALLOYS USING THE MBJ-GGA METHOD WITH SPIN–ORBIT COUPLING	737-738
Naseem Akhter	THE ISLAMIC CONCEPT OF GLOBAL PEACE: FOUNDATIONS AND PRACTICAL IMPLICATIONS	739
Naseem Akhter	RELIGION AND SOCIAL CHANGE IN MUSLIM SOCIETIES: A RELIGIOUS AND SOCIOLOGICAL ANALYSIS	740
Omer Shujat Bhatti Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem	AI DRIVEN DESIGN EVOLUTION: CATALYZING FOR ARCHITECTURAL DESIGN DEVELOPMENT AND UNLOCKING BUSINESS OPPORTUNITIES	741
Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Victor Oluwapelumi OGONGO	HUMAN FACTORS IN NEXT-GEN IT FRAMEWORKS: TRANSLATING CRYPTOGRAPHIC SECURITY METRICS INTO ACCESSIBLE ORGANIZATIONAL COMMUNICATION PRACTICES	742-755

Nodar Sulashvili Ia Egnatievi Maia Jikia Tamar Okropiridze Nana Gorgaslidze Irina Imerlishvili Marina Giorgobiani Maka Buleishvili Magda Davitashvili Lali Patsia Marika Sulashvili Igor Seniuk Vira Kravchenko Olga Shapoval Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Manana Giorgobiani David Aphkhazava	GLOBAL SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON TRANSFORMING FAMILY DENTISTRY IN PRIMARY ORAL HEALTHCARE THROUGH EVIDENCE-BASED MEDICINE: CLINICAL INNOVATION, PUBLIC HEALTH INTEGRATION, PREVENTIVE ORAL HEALTHCARE, HEALTHCARE QUALITY IMPROVEMENT, AND FUTURE STRATEGIC DIRECTIONS	756-832
Agim Berisha Kujtim Shala	PUBLIC INVESTMENTS AND THE TREND OF ECONOMIC DEVELOPMENT IN KOSOVO	833
Rayane Yasmine Mahfoudi Zouhir Boumous Samira Boumous	RESILIENCE-ORIENTED OPTIMAL SCHEDULING OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES IN RENEWABLE MICROGRIDS USING MULTI-AGENT DEEP REINFORCEMENT LEARNING	834-835
Sabtine Morakeb Samira Boumous Zouhir Boumous	DIGITAL TWIN-DRIVEN MULTI-OBJECTIVE ENERGY MANAGEMENT FOR RENEWABLE HYDROGEN-BASED MICROGRIDS USING PHYSICS-GUIDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE	836-837
Blendi Çeka	FRIENDS AND ENEMIES IN THE ALBANIAN PUBLIC IMAGINATION:MAPPING PERCEPTIONS OF FOREIGN STATES FROM EURONEWS ALBANIA BAROMETER SURVEY (NOVEMBER 2023)	838-843
Amal Kanani Amani Kamal	"THE ROLE OF URBAN TOURISM IN HERITAGE REVIVAL AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: ZARQA CITY AS AN APPLIED MODEL"	844-845
Anurag Singh	WOMEN AS CLIMATE AGENTS AND GENDERED RESPONSIBILISATION IN INDIAN CLIMATE POLICY DISCOURSE	846
Tayeb Ullah	CIRCULAR PYTHAGOREAN FUZZY ACZEL ALSINA HERONIAN MEAN OPERATORS WITH APPLICATIONS	847
Abderrazak Mabrouki Fatima Hiouani Abdelouahad Ouali Djamila Madani	ORGANIC AMENDMENTS FOR SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT AND BARLEY PRODUCTION IN SEMI-ARID ALGERIA	848
Abdelouahad Ouali Abderrazak Mabrouki Youcef Ouzani Houda Boutalbi Fatima Hiouani Djamila Madani	EFFECT OF INITIAL MIXTURE COMPOSITION ON THE COMPOSTING DYNAMICS AND MATURITY OF DATE PALM WASTE	849
Emin ÖZTÜRK Aziz Kubilay OVACIKLI	MOBILE PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATION BASED ON VIBRATION ANALYSIS FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT	850-855

İSLAM HUKUKUNDA (FIKHINDA) BEDENE(VÜCUDA) MÜDAHALE

Mahir ŞİN
Hakkari Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Temel İslami Bilimleri Anabilim Dalı
ORCID NO: 0009-0005-6101-6086

Özet: Kürtaj, gebeliğin doğal süresi tamamlanmadan tıbbî veya cerrahî müdahalelerle sonlandırılmasıdır. İslam hukukunda bu mesele, yalnızca kadının bedeni üzerindeki tasarruf hakkı kapsamında değil; ceninin hukuki statüsü, yaşam hakkı ve neslin korunması ilkeleri doğrultusunda ele alınmaktadır. Fıkıh literatüründe **ıskat-ı cenîn** olarak adlandırılan kürtaj, ceninin hangi aşamada hukuki ve dinî açıdan tam koruma kazandığı sorusu etrafında değerlendirilmiştir. Bu bağlamda ruhun cenine üflenmesi (**nefh-i ruh**) konusu, kürtajın hükmünü belirleyen temel ölçütlerden biri olarak kabul edilmiştir. Klasik İslam hukukçularının büyük çoğunluğu, Hz. Peygamber'in ceninin yaratılış safhalarını açıklayan hadisine dayanarak ruhun yaklaşık 120. günde üflendiği görüşünü benimsemiştir. Bu nedenle kürtajın hükmü, ruh üflenmeden önceki ve sonraki dönem olmak üzere iki aşamada incelenmiştir. Ruh üflenmeden önce mezhepler arasında bazı görüş ayrılıkları bulunsa da genel yaklaşım, zaruret bulunmadıkça kürtajın caiz olmadığı yönündedir. Ruh üflendikten sonra ise cenin tam anlamıyla insan kabul edilmiş ve kürtaj, masum bir canın sona erdirilmesi olarak değerlendirilerek haram sayılmıştır. İslam hukukunda cenin, anne rahmine yerleştiği andan itibaren belirli ölçüde hukuki koruma altındadır. Bu nedenle cenine yönelik haksız müdahaleler gurre, diyet ve bazı mezheplerde belirli şartlar altında kısas gibi yaptırımlara konu olmuştur. Bununla birlikte fakihlerin büyük çoğunluğu, annenin hayatının ciddi şekilde tehlikeye girdiği durumlarda zaruret ilkesine dayanarak kürtaja izin verilebileceğini kabul etmiştir. Çalışmada ayrıca çağdaş İslam hukukçularının görüşleri, Diyanet İşleri Başkanlığı ve İslam Fıkıh Akademisi'nin değerlendirmeleri de ele alınmıştır. Sonuç olarak kürtaj, İslam fıkhında bireysel bir tercih olarak değil; insan hayatının korunması, ceninin yaşama hakkı ve neslin muhafazası ilkeleri doğrultusunda değerlendirilen istisnai bir uygulamadır.
Anahtar Kelimeler: Kürtaj, İslam Hukuku, İskat-ı Cenîn, Cenin, Nefh-i Ruh, Yaşam Hakkı, Zaruret, Mezhepler.

INTERVENTION TO THE HUMAN BODY IN ISLAMIC LAW (FIQH)

Abstract: Abortion is the termination of pregnancy through medical or surgical intervention before the natural completion of gestation. In Islamic law, abortion is addressed not only within the framework of a woman's authority over her own body but also in relation to the legal status of the fetus, the right to life, and the protection of lineage. Referred to as **isqāt al-janīn** in Islamic jurisprudence, abortion has been evaluated according to the stage at which the fetus acquires full legal and religious protection. In this context, the **ensoulment (nafkh al-rūḥ)** of the fetus is regarded as one of the principal criteria in determining the legal ruling on abortion. The majority of classical Muslim jurists, relying on the Prophetic tradition describing the stages of fetal development, held that ensoulment occurs at approximately 120 days of gestation. Accordingly, the legal ruling on abortion has been examined in two stages: before and after ensoulment. Although there are differences of opinion among the Islamic schools of law regarding abortion before ensoulment, the prevailing view is that it is not permissible unless justified by necessity. After ensoulment, the fetus is regarded as a complete human being, and abortion is therefore considered prohibited. Islamic law grants the fetus a certain degree of legal protection from the moment of implantation. Consequently, unlawful harm to the fetus may

result in legal sanctions such as **ghurra** (fetal compensation), **diyah** (blood money), and, in some schools, **qiṣāṣ** under specific conditions. However, the majority of jurists permit abortion when the mother's life is in serious danger based on the principle of necessity. This study also examines the views of contemporary Islamic jurists and the evaluations of the Presidency of Religious Affairs of Türkiye and the International Islamic Fiqh Academy. In conclusion, abortion in Islamic law is regarded not as an individual choice but as an exceptional practice evaluated within the principles of protecting human life, safeguarding the fetus's right to life, and preserving lineage.
Keywords: Abortion, Islamic Law, Isqāt al-Janīn, Fetus, Ensoulment (Nafkh al-Rūḥ), Right to Life, Necessity, Schools of Islamic Law.

GİRİŞ

Kürtaj (Gebeliğin Sonlandırılması)

1.1. Kürtaj Kavramı ve Fıkhî Çerçevesi

Kürtaj, gebeliğin doğal süresi tamamlanmadan, tıbbî veya cerrahî müdahale yoluyla sona erdirilmesini ifade etmektedir. İslam fıkhında kürtaj meselesi, sadece kadının vücuduyla ilgili bir tasarruf olarak değil; eş zamanda ceninin hukukî statüsü, hayat hakkı, yaşam hakkı ve neslin korunması ilkeleri dâhilinde ele alınmıştır.

İslam felsefesinde insan hayatı, yalnızca doğumla değil; hilkat(**yaratılış) sürecinin başlangıcından itibaren** değerli kabul edilir. Bu nedenle kürtaj, "canın korunması" (ḥifẓü'n-nefs) ilkesini alakadar eden temel fıkhî meselelerden biridir. İnsan vücuduna müdahalenin hudutları, burada annenin bedensel tasarruf hakkı ile fetuşun yaşama hakkı arasında teşekkül etmeye çalışılan denge üzerinden ele alınır.

Fıkıh literatüründe kürtaj meselesi genellikle "ıskat-ı cenîn" veya "isqat" kavramlarıyla ifade edilmiştir. Fakihler, bu meselede temel olarak ceninin hangi aşamada hukuki bir değer kazandığı sorusuna odaklanmışlardır. Bu yaklaşım, kürtajın hükmünün gebeliğin evresine göre farklı değerlendirilmesine yol açmıştır.[1]

1.2. Ceninin Hukukî Statüsü

İslam hukukunda dölüt(cenin), anne ulterus duvarına (rahmine) düştüğü andan itibaren tamamen kıymetsiz bir varlık olarak görülmemiştir. Lakin fetüsün(ceninin) hukuki değeri, gebeliğin ilerleyen evrelerine göre artan bir koruma anlayışıyla ele alınmıştır.

Fakihlerin çoğunluğuna göre cenin, canlı bir insan olma sürecinin başlangıcını temsil etmektedir. Bu nedenle cenine yönelik her türlü müdahale, potansiyel bir hayatın sona erdirilmesi anlamı taşımaktadır. Bununla birlikte ceninin "tam anlamıyla insan" kabul edildiği aşama konusunda mezhepler arasında farklı görüşler ortaya çıkmıştır.[2]

1.3. Ruhun Üflenmesi Meselesi (Nefh-i Ruh)

Kürtaj konusundaki en temel ayrım noktası, ruhun cenine ne zaman üflendiği meselesidir. Bu konuda dayanak olarak Hz. Peygamber'in ceninin yaratılış safhalarını anlattığı hadis esas alınmıştır. Hadiste ceninin kırk gün nutfe, kırk gün alaka, kırk gün mudğa safhasından geçtiği ve daha sonra ruh üflendiği ifade edilmiştir.[3]

---

[1] DİA, "Kürtaj".

[2] İbnÂbidîn, *Reddü'l-Muhtâr*, III, 176.

[3] Buhârî, *Bed'ü'l-Halk*, 6; Müslim, *Kader*, 1.

1.4. Cenin Hakları

Fetüsün şahıs varlığı hakları neseb-soy ve yaşama hakları olarak izah edilmiştir. uzlaşmayla kabul edilen görüşe göre, anne karnındaki cenin dört aydan sonra şahsına ruh üfürüldüğünden dolayı şahıstır, kişidir, insandır, bireydir ve dokunulmazdır. Her şeye rağmen fetüsün az da olsa hak/vücüb ehliyetine sahiptir. İlk dört ayda kişinin kendisine ruh üflediğinden ve insan biçimine(suretine) benzeyip benzemediğine "fetüs" olarak isimlendirilemeyeceği ve insana da benzemediği için yapılan müdahaleler de mübahtır. Fetüs olarak isimlendirmede dört ayı esas alır ve bu süreçten sonra hak ehliyetinden bahsedilebilir. İslam hukukçuları bu süreçten sonra cenin birey kabul edildiğinden dokunulması-düşürülmesi-kürtaj yapılması haklarını ihlal etmesi ve meşru olmakla beraber kusurluda(nakısta) olsa hak ehliyetine sahiptir.

1.5.Cenine(fetüse) Karşı Müdahalenin Kasten Yapılması

Normalde baktığımızda fetüsün öldürme suçunun tazminat yani gurre(5 deve ya da 50 dinar) bilinse de, İslam hukukçuları haksız bir müdahale sonucunda anneden yaşayarak ayrılan böylece daha sonra bu davranış sonucunda hayatını kaybeden bir fetüs için suçun yaptırımı, bilerek işlendiği kabul edenler kaved(kısas), maksadın(kastın) atlatılması ve ya tedbirsizle(taksirle) yapıldığını benimseyenler ise tam diyet şekilde belirlemişlerdir.

Kısas uygulamasının fetüsünün vefatına sebep olan şahıslara da uygulanması gerektiğini koruyan Malikilere göre, cenine karışma ya kasıtlı ya da kusurla(taksirle) olabilir. Malikilerin bazıları fetüsün öldürmesinde bir kastın olduğunun anlaşılması halinde faila/sanığa(suçluya) kısas gerektiğini söyler.

Gurrenin yaptırımı ise fetüsün vefatına hataen(taksirle) neden olma durumunda uygun görürler. Cenin ölümü için kasıtlı olup olmaması ve ruh üflemeden önce ve ruh üfledikten sonra bu noktanın üzerinde durmuştur. Böylece ruh üflemeden önce uygulayan bilerek müdahaleyi çok büyük bir vebal olarak kabul etmelerine yanıt, ruh üfledikten sonra oluşturulan bilerek karışma insan öldürme olarak nitelemiş olmaktadır.

Hak yeme bir müdahale sonucu anneden canlı dünyaya fetüsün vefatına bilerek neden olana, Maliki mezhbi, zahirilerden İbn Hazm, İbnü'l-Cevzi ve en kısa hamilelik zamanın aşılması koşuluyla İmam Şafii kaved(kısas) cezasını öngörmüşlerdir.

Ceninin öldürülmesi bilerek(kasıtlı) bile olsa "ağırlaştırılmış suç(kastın aşılması)" veya "ihmal" çerçevesinde inceleme yapılan Şafiiler, Hanefiler ve Hambelilerin oluşturduğu İslam fıkhı ve ilim geleneğinde alimlerin çoğunluğunun görüşüne göre, bu durumda kısas uygulanmaz.

Maliki hukukçularla benzer düşüncelere sahip İbnü'l-Cevzi ve ibn Hazm ise fetüsün vefat etmesine neden olmanın yaptırımının kısas olduğunu savunmuşlar bu görüşlerini fetüse ruh üflenmesiyle onun başka bir adam sayılması gerektiği prensibiyle dayandırmışlardır.

Bu hadis doğrultusunda fakihlerin büyük çoğunluğu, ruhun cenine **120. günden sonra** üflendiğini kabul etmiştir. Bu kabul, kürtajın hükmünün iki ana döneme ayrılmasına neden olmuştur:

- Ruh üflenmesinden **önceki dönem**
- Ruh üflenmesinden **sonraki dönem**

1.6. Ruh Üflenmeden Önce Kürtajın Hükmü

Ruh üflenmeden önceki kürtaj konusunda mezhepler arasında tam bir görüş birliği bulunmamaktadır.

1.7.Mezheplerin Yaklaşımları:

1. Hanefi Mezhebi

- Genel kural: Kürtaj, annenin hayatı tehlikede değilse **caiz değildir**.

• Ruh üflenmeden önce (120. gün) yapılan kürtaj, bazı Hanefi âlimlerce **mecburi-zaruret olmadıkça haram** sayılır.[4]
• Ruh üflendikten sonra ise Hanefî mezhebinde kürtaj **kesin olarak haramdır** ve ceninin düşürülmesi tazminat (gurre) gerektiren bir fiil olarak kabul edilir.

2. Şafii Mezhebi

• Ruh üflenmeden önce kürtajın bazı durumlarda meşru(caiz) olabileceğini belirtir.
• Bazı Şâfiî âlimler, ilk kırk gün içinde zaruret hâlinde kürtaja sınırlı izin vermiştir. Ancak genel eğilim, ceninin her aşamada korunması gerektiği yönündedir. Ruh üflenmesinden sonra ise kürtaj **haram ve büyük günah** olarak değerlendirilir.
• Ancak **annelik ve hamilelik riskleri, sosyal sorunlar gibi gerekçeler** Şafii mezhebinde sınırlı olarak değerlendirilir.[5]

3. Hanbeli Mezhebi

• Genel olarak kürtaj **yasaktır**.
• Ruh üflenmeden önce de ancak annenin hayatı tehlikedeyse caizdir.[6]
• Bunun dışındaki mazeretlerle yapılan kürtaj ise mekruh veya haram tasdik edilmiştir.

4. Maliki Mezhebi

• Ruh üflenmeden önce fetusa zarar vermek **yasaktır**, ancak annenin hayatı için gerekirse caiz sayılır.
• Ruh üflenmiş fetusa zarar vermek **haramdır**.[7]

Bu fikir farklılıkları, fetüsün hukuki değerinin erken dönemde nasıl algılandığıyla birebir bağlantılıdır.

1.8. Ruh Üflendikten Sonra Kürtajın Hükmü

Ruh üflendikten sonraki dönemde kürtaj konusunda fakihler arasında **neredeyse ittifak** bulunmaktadır. Bu aşamadan sonra kürtaj, doğrudan bir cana kıyma olarak değerlendirilmiş ve haram kabul edilmiştir.

Bu yaklaşımın temel gerekçeleri şunlardır:

• Canın korunması ilkesinin ihlali
• Masum bir hayatın sona erdirilmesi
• Neslin korunmasına zarar verilmesi

Bu nedenle ruh üflendikten sonra yapılan kürtaj, klasik fıkıhta büyük günahlar arasında değerlendirilmiştir.[8]

1.9. Zaruret Hâlleri ve Annenin Hayatı

Kürtaj meselesinde en çok tartışılan konulardan biri, annenin hayatının ciddi tehlike altında olduğu durumlardır. Fakihlerin çoğunluğuna göre, annenin hayatı kesin veya yüksek ihtimalle tehlikedeyse, ceninin hayatı ikinci planda değerlendirilmiştir.

Bu görüş, "iki zarardan daha hafif olanın tercih edilmesi" ilkesiyle temellendirilmiştir. Annenin hayatı fiilen mevcut ve toplumsal sorumlulukları olan bir hayat olarak değerlendirilmiş; ceninin ise potansiyel bir hayat olduğu vurgulanmıştır.[9]

---

[4]İmam Ebû Hanife, *el-Hidâye*

[5]İmam Şafii, *el-Umm*
[6]İbnKudame, *el-Muğni*
[7]İbnAbdilberr, *el-İstıdah*

[8]Nevevî, *el-Mecmû'*, XVIII, 267.

[9]Süyûtî, *el-Eşbâh ve'n-Nezâir*, s. 60.

Ancak bu tür durumların:
- Tıbbî olarak kesinleşmiş olması
- Keyfî incelemelere dayanmaması
- Uzman fikirleriyle desteklenmesi

gerektiği özellikle belirtilmiştir.

1.10. Çağdaş Fıkıh Âlimlerinin Görüşleri

Fıkıhçıların(Fukahanın) fetüsün anne karnında olduğu zaman müdahale edilmesiyle alakalı farklı görüşlerin hükümleri temel kaynağını bu aşamaların fark anlaşılması oluşturmaktadır. Kur'an ile hadise baktığımızda insanın yaratılışında ve fıtratında bahsedilmiştir. "Size ne oluyor ki, Allah'ın büyüklüğünü yakıştıramıyorsunuz? Oysa sizleri çeşit çeşit merhalelerden geçirerek Allah yaratmıştır. Fetüsün geçirdiği her evre "sülaletin min tıyn", "nütfe", "alaka", "mudga", "izam", "lahm", "halkan ahar" yedi farklı adla belirtilmiştir.

Modern dönemde kürtaj meselesi, tıbbî gelişmeler ve sosyal şartlar nedeniyle yeniden ele alınmıştır. Çağdaş İslam hukukçuları, klasik kaynakları esas almakla birlikte, günümüz şartlarını da dikkate alan değerlendirmeler yapmışlardır.

Vehbe Zuhaylî, kürtajı genel olarak haram kabul etmiş; ancak annenin hayatını tehdit eden durumlarda zaruret ilkesi gereği cevaz verilebileceğini ifade etmiştir. Yusuf el-Karadâvî ise ruh üflenmeden önce, çok sınırlı ve istisnaî durumlarda kürtaja izin verilebileceğini belirtmiştir.[10]

İslam Fıkıh Akademisi (Mecmaʿu'l-Fıkh el-İslâmî) de ruh üflendikten sonra kürtajı kesin olarak yasaklamış; öncesinde ise yalnızca ciddi tıbbî zaruret hâllerinde sınırlı ruhsat tanımıştır.[11]

1.11.Kürtaj ile ilgili Ayet ve Hadisler:

- Kuran'da doğrudan kürtajdan söz edilmez. Ancak yaratılış ve insanın cana değerine dair ayetler baz alınır:

"Andolsun, sizi bir damla sudan yarattık; sonra sizi bir öz (nutfe) yaptık; sonra sizi bir alak (embriyo) yaptık..." (Müminun, 12-14)[12]

- Bir diğer ayette ise çocukların öldürülmesi kesin bir dille yasaklanır:

"Geçim korkusuyla çocuklarınızı öldürmeyin. Onların da sizin de rızkını Biz veririz."[13]

- Klasik fıkıh literatüründe bu ayet, doğrudan kürtajla ilgili olmasa da hayatın ekonomik gerekçelerle sona erdirilemeyeceği ilkesini ortaya koyması bakımından kürtaj tartışmalarında sıkça referans alınmıştır.
- Hadislerde, ceninin ruhunun 120. günde üflenmesi ile ilgili bilgiler bulunur:

"Her birinizin özleri (ruhları) annelerinin rahminde kırk günlük, sonra alaka (embriyo) 40 gün, sonra mudgha (çöreklenmiş et) 40 gün şeklindedir…" (Buhari, 3208; Müslim, 2642)[14]

İlk hadis 120 günden sonra ruha üflenme söz konusu olur.

Sonuç olarak baktığımız zaman fetüse ruhun hamileliğin hangi merhalede verildiği kesin değildir. Hz. Muhammed (s.a.v)'in düşen fetüs için gurre diyeti vermesi hükmeder.

[10]VehbeZuhaylî, *İslam Fıkhı Ansiklopedisi*, IV, 287–295; Karadâvî, *Helâl ve Haram*, s. 221.

[11]Mecmaʿu'l-Fıkh el-İslâmî, Kürtaj Kararları.

[12]Kur'an, Müminun23:12-14

[13]İsrâ, 17/31

[14]Buhari, Kitabü'l-Ilm 3208; Müslim, Kitabü'l-Ḥayız 2642

• Bu hadis, İslam hukukunda kürtaj tartışmalarının merkezinde yer alan "ruh üflenmesi" (nefḫu'r-rûḥ) meselesinin temel dayanağıdır. Çoğunluk fakihlere göre ruhun üflenmesinden sonra cenin tam anlamıyla insan hayatı statüsü kazanır ve bu aşamadan sonra kürtaj, haram ve cinayet benzeri bir fiil olarak değerlendirilir.

Modern Fetvalar
• **Diyanet İşleri Başkanlığı (Türkiye)**:
○ Anne sağlığı tehlikede olduğunda kürtaj caizdir.
○ Anne hayatı tehlikede değilse, kürtaj **haramdır**.
• **Alimlerden görüşler:**
○ Ruh üflenmeden (yaklaşık 120. gün) yapılan kürtajın **zaruret durumunda caiz olabileceği** belirtiliyor.[15]
○ Ruh üflenmiş fetusun canına kasıtlı müdahale **haramdır**.
Özet Mantık
• **Zaruret ve tehlike**: Hayat kurtarma veya ciddi sağlık riski varsa fetusa müdahale caizdir.
• **120 gün kuralı**: Ruh üflenmeden önce bazı mezhepler sınırlı izin verir; ruh üflenince hiçbir gerekçe ile caiz değildir.
• **Sosyal gerekçe**: Genel olarak İslam hukuku sosyal veya ekonomik gerekçelerle kürtaja izin vermez.
1.12.Kürtajın Sebepleri:
Ekonomik bunalımlar, bebeyi istememe, gelirlerin yetersizliği, ekonomi ve sosyal nedenler, çoğu kadınların çocuk istememekle beraber hamile kalmayı istememeleri, kız çocuğa sahip olmak istememesi, gebeliğini sonlandırmak istemeleri, annenin engeli çoçuğu doğurmak istememesi, ailelerin çok çocuk istememesi, aile ekonomisinin zayıf olması, sağlık sorununun olmasıyla yapılan düşükler
1.13.Kürtajı Savunanların Delilleri:
Kadının kendi vücudu üzerinde karar verme hakkı ve söz söyleme hakkı olduğunu, ancak kadın tarafından arar verilir. Tartışmasız kürtajın kadının hakkı olduğunu tüm dünya coğrafyalarında doğal ve meşru bir hak olduğunu söylemişler. Kürtajda tek söz sahibi kadın olduğunu bildirmişler. Kadınlar vücutları üzerinde sadece ve sadece onlar tasarruf hakkına sahip olduğunu bildirmişler. Bedenleri ve vücutları üzerine tek söz sahibi kadınlar olduğunu bildirmişler. Yanı beden benimdir istediğim şekilde kullanırım. Cenin tüm yaşam haklarına ve kişilik haklarına sahip olsa bile anne hamileliği devam etmesine zorlanamaz.
1.14.Kürtajı Kabul Etmeyenlerin Görüşleri:
Bunlara göre gebeliğin sonlandırılması isteği sadece bir kişinin isteğiyle karar verebilecek bir şey olmamalı. Şayet annenin ve cenin sağlığı tehlikedeyse yanı acil, hayati mesele ve ölüm tehlikesi söz konusu ise o zaman anne kürtaja tek başına karar verebilir. Bunlara göre kürtaj, sonuçları hakkında sadece anne-baba ya da ceninin değil daha geniş bir kitleyi ilgilendirmeli, toplumu-milleti, devleti ve tüm insan neslini ilgilendiren bir çerçevede olmalıdır.
Bakıldığında kürtajın yaşam hakkını ihlal tarafı var, bunun yanında insan neslini de kast etmektedir. Kürtaj kutsal olan yaşam hakkı ve hayat hakkını da zedeler. Kürtaj bir seçimken, yaşama hakkı zorunluluk vardır. Fetüs dünyaya geldikten sonra yanı ceninin insan olup olmadığı tartışmasının ortadan kalkmasıyla cenin annenin karnındayken de öldürülmesi kanunlara, yasalara ve ahlakça da suç sayılmalıdır. Kürtaj ahlaki bir davranış değilse, özgürce

[15]Diyanet İşleri Başkanlığı, Kürtaj Fetvası, 2020

karar verilmesi kürtajın ahlaki bir davranış kabul edilemez. İnsan neslinin devam etmek için kadının bireysel ve bencil bir şekilde kürtaja istediği şekilde müdahale etme hakanın olmadığıdır. Bazı alimler tecavüzden kaynaklanan bile olsa kürtaj için ayrıcalık tanımaz.
Sarıtaş'ın belirtiği gibi[16], tür ve potansiyel ilkeleri gereği cenin, döllenme anından itibaren canlı ve yaşam hakkına sahip bir varlıktır. Şefkat, merhamet ve fedakârlık göstermek, başkasına yararlı olmak, zarar vermemek ve başkasını öldürmemek ahlaki bir erdemdir. Buna göre ceninin yaşam hakkını elinden alan, cenin şefkat, merhamet ve fedakârlık göstermeyen, zarar veren ve cenin ölümüne sebep olan ilkeler, ahlaki eylemi oluşturan kurallar olarak kabul edilemez.
Kürtajı meşru yolarla gören ve gayrı meşru yollarla gören; ahlaka, hukuka, topluma, kültüre, dine, inanca, millite, ırka göre farklılık gösterilmektedir.
Dünyanın çoğu yerlerinde hamileliğin sonlandırılması yöntemlerin kullanımı ve kürtaj, kanunlara bağlı olarak gösterilmektedir. Hal böyleyken bazı devletler, milletler ve coğrafyalar kürtajı nüfus planlamasının olumsuz yönünden etkilediği için hakimlerin ve hukukun eline teslim edilmekte; bazı devletler, milletler ve coğrafyalar da kürtajı nüfus planlamasında herhangi bir olumsuzluk olmadığı için sınırlılık veya tam olarak serbest bırakmaktadır.
Eskiden kürtaj için sadece annenin sağlığı ve hayat meselesi olduğu için müsamaha gösteriyordu. Yakın dönemlerde baktığımız zaman hayli hafifletilmiş nerdeyse serbestlik hale getirilmiş. Neyse efendim kadın haklarıymış neyse efendim kadın özgürlükleriymiş. Yanı bir nevi baktığımız zaman dini unutmuşlar, rafa kaldırmışlar ve arka plana atmışlar.
Gayrı meşru yollarla çocukların-bebeklerin dünyaya gelmesi ve sonra bu bebekleri ve bu çocukları terk edilmesi, öldürülmesi, köle olarak başkasına satılması vb. durumlar bebek ve çocuklar için sayılarında sınırlandırma olarak kullanılmaktaydı.
Dinler annelerin hamileliklerini düşürülmesini yasaklamıştır. Hinduizm dininin kadının çocuğunu düşürmesi yasaklamış, çocuğunu düşüren kadınları bulunduğu kastan atılırdı. Hinduizm için en büyük günah çocuk düşürmektir. Çocuk düşürmeyi yasaklayan bir başka din de Budizm ve Zerdüşt dinleridir. Yunanistan buna karşılık ailede kişi sayısını sınırlama getirmek için cenin düşürülmesi gibi doğan bebeklerin öldürülmesi de gündemdeydi. Aristo, cenin sakat, engeli ihtimali karşısında fetüs canlı duruma gelmeden önce düşürülmesini uygun görürdü.
Yahudi dininde yaşam-yaşamak her şeyden daha çok değerliydi. Talmud'a göre bir ferdin hayatını kurtarmak bütün fertlerin hayatını kurtarmaktır ve bir ferdin canını almak bütün insanlığı yok etmek buna bakarak bütün insanlar tek bir insandan geldiğini vurgular.
Musevilikte kürtaj sadece annenin hayatı sıkıntıya girme şartıyla kabul edilebilir. Fetüs, anne karnına düştüğü zaman itibaren yaşamdır ve kürtaj da cinayetle eşdeğerdir. Kadın gebeliği istemese kendini koruyabilir. Tecavüz sonrasında olsa bile düşük(kürtaj) yapmamalıdır. Peder Suriano Felice derki Museviliğin 5. Emri öldürme der, buna dayanarak çocuk engeli-sakat da dünyaya gelse kürtaj yapılmamalı çünkü doğa harika değildir ve o da bir candır.
Yahudi dininin kutsal kitabında evlenin ve çoğalın emredilmiş, bu nedenle birkaç kadınla evlilik, kısır kocanın boşanması, cariyelik meşrulaştırmaya uygun görülmüş ve ceninin düşürmeyi de sınırlandırılmıştır. Josephus'a göre Yahudi dininin şeriata (Tevrat'a) bütün çocukların dünyaya gelmesini emreder ve kadınlarının çocuğunu düşük yapmasını ya da tohumu yasak etmesini yasaklık getirmiş. Böyle yapan kadınlar, evladının hayatını elinden almasına ve aile fertlerinden birinin azalmasına neden olduğu için canidir.
Bryennios,"Didache" adlı eserde ,"Rahmin ürününü düşürmek suretiyle öldürmeyecek, doğmuş çocuğu da telef etmeyeceksin" denilmektedir. 2.yüzyılda yaşamış Grek kilise babalarından

[16] Sarıtaş."Kürtajın Ahlakiliği Sorunu",s.605.

Athenagoras, Hristiyanların çocuklarını düşürmek için ilaç kullanan kadınları cani kabul ettiklerini bildirerek ana karnındakiler de dahil olmak üzere çocuk katillerini kınamaktadır.[17]
Katolik Kilisesi kürtajı cenin düşürülmesi olarak değerlendirdiği için cenin düşürülmeyi günah olarak görmektedir. Hıristiyanlığın ilk dönemlerinde doğmadan önce bir çocuğu öldürmekle ve doğduktan sonra bir kişiyi öldürmek herhangi bir fark olduğunu görmemişler.
Roma Katolik kilisesi kürtajı her zaman günah olduğunu görmüşlerdir. Protestan kilisesi çocuğun düşürülmesini büyük bir günah olduğunu söylerler.
Genç yaşlarda hamilelik, aileleri, gençleri, çocukları ve toplumu etkileme güçleri sebebiyle hukuki tartışmalara yol açmıştır.
Baktığımızda kürtaj(çocuk düşürme) eskiden az yapılmaktaydı ama şimdi baktığımızda kürtaj(çocuk düşürme) kat kat daha artmakta hata gittikçe bu artış daha da artış görülmektedir.
Hipokrat'ın bir yemini var, abortiona(kürtaj) neden olacak herhangi bir ilaç vermeyeceğini söylemektedir.
Aristoteles diyor ki, cenin duyum yetisini elde edinceye kadar insan olma yolunda herhangi bir şey diyemeyiz.
Eski Roma ve Eski Yunan zamanlarında ve de tarihsel sürece baktığımız da fetüsün annenin parçalarında bir parça olduğunu görülmüştür.
Tek tanrılı dinlerde düşük ve hamileliğin son verme engellenmiştir. Kilise ilk zamanlarda bunu günah olduğunu kabul etmişken, bunu öldürme olarak görmemişti.
1973'te ABD ülkesinde kürtaj konusunda annenin özerklik hakkı, ceninin haklarından çok üstün de tutardı.
Baktığımızda çoğu ülkeler isteyerek düşüğü tercih etmeden önce birkaç kural ve sınır getirmiştir. Misal olarak Almanya ve Hollanda kürtaj yapılmadan önce kadınlara bazı kuralar ve danışmanlık hizmetlerini almasını uygun görmüştür.
Kadınların kendi isteğiyle kürtaj yapabilmesi için Hindistan, Norveç ve Japonya'nın görüşleri dâhilinde kocasının, anne ve babasının iznini almak gerekmektedir.
İnançlı ve ahlaklı düşünceleri, davranışları ve tutumları sebebiyle hekimler, doktorlar, hemşireler ve sağlık personelleri düşüğü uygun görülmemelidir.
Çoğu ülkelerin görüşleri sağlık personelinin düşük uygulamasında iyi bir eğitim almaları ve düşükle alanıyla ilgili uzmanlığa sahip olmalılar.
Çoğu yerlerde, coğrafyalarda ve de ülkelerde çocuk düşürmenin ilahi iradeye karşı gelmek olduğu annenin hayatı tehlikeye atması ve ülkenin nüfusunu da sıkıntıya sokmasına söylemektedir.
Osmanlının devletinin fetvalarında fetüse karşı yapılan suçlara ceza olarak, fetüsün organlarının oluşmasından sonra herhangi bir zamanda düşürülmesi durumunda yapılan kişiye göre, canlı olarak düşüp ölmesi durumunda ise ceza olarak diyet ödetildiği açıklamıştır.
Kasten cenin düşürme ve düşürtme ne sebeple ve şekilde olursa olsun fark etmez kesin bir şekilde sınırlandırılmıştır(Türkiye Cumhuriyeti Umumi Hıfzı Sıhha Kanununa göre).
Ertem'den Keskinin aktardığına göre, kadının düşük yapmasına yardım eden şahsın bunu namusunu, karısının, annenin, kızının ve kız kardeşinin namusunu korumak amacıyla yapmışsa 2/3 oranında hafifletilmiş ceza alırmış.
1930 yılında İtalya Ceza Kanunu'ndan ceninin düşürme, düşürtme ve çocuk yapmaya engel davranış olarak propakasyon yanında kadının kısırlaştırılması ve şahsın kendini kısırlaştırılmasına ilişki suçlar oluşturmaktaydı.

[17] Philotheos Bryennios, Didache (The Teaching of the Twelve Apostles), Constantinople, 1883, s. 62.

Cana kıyma yanı intihar, kürtaj gibi olayların hem dinen hem de toplumun kesinlikle uygun ve helal kılmamıştır. Çünkü herkes maddi, manevi ve yaşama hakkının varlığını koruma, yaşatma ve geliştirme hakkına sahip.
Türkiye Ceza Kanunu(TCK) kadının şahsi vücudundaki hamilelik vaziyetini sonlandırmak için, ergin(gelişimini tamamlamış) değilse, veli; vesayet altındaysa vasi; evliyse kocanın izni gerekir.

SONUÇ

İslam fıkhında kürtaj meselesi, insan bedenine müdahalenin en hassas örneklerinden biridir. Kürtaj, kadının vücuduyla ilgili bir tasarruf olmakla beraber, fetüsün yaşam hakkı sebebiyle kişisel hürriyet sınırlarını aşan bir boyut taşımaktadır. Bu nedenle fıkıh, kürtajı isteğe bağlı bir müdahale olarak değil; zaruret ve maslahata bağlı istisnaî bir pozisyon olarak ele almıştır.
Bu bakış açısı, İslam hukukunun hem insan hayatını korumayı hem de zaruri hallerde kolaylık sağlamayı amaçlayan dengeli yapısını aleni bir şekilde ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Buhârî, Bedʾü'l-Halk, 6; Müslim, Kader, 1.
Buhari, Kitabü'l-Ilm 3208; Müslim, Kitabü'l-Ḥayız 2642
DİA, "Kürtaj".
Diyanet İşleri Başkanlığı, Kürtaj Fetvası, 2020
İbnÂbidîn, Reddü'l-Muhtâr, III, 176.
İbnAbdilberr, el-İstıdah
İbnKudame, el-Muğni
İmam Ebû Hanife, el-Hidâye
İmam Şafii, el-Umm
İsrâ, 17/31
Kur'an, Müminun23:12-14
Mecmaʿu'l-Fıkh el-İslâmî, Kürtaj Kararları.
Nevevî, el-Mecmûʿ, XVIII, 267.
Süyûtî, el-Eşbâh ve'n-Nezâir, s. 60.
Sarıtaş."Kürtajın Ahlakiliği Sorunu",s.605.
Philotheos Bryennios, Didache (The Teaching of the Twelve Apostles), Constantinople, 1883, s. 62.
VehbeZuhaylî, İslam Fıkhı Ansiklopedisi, IV, 287–295; Karadâvî, Helâl ve Haram, s. 221.

SESSİZ İSTİFA EDEN GİRİŞİMCİLER: DÜŞÜNCE VE DENEYİMSEL KEŞİF

Dr. Öğr. Üyesi Berna Turak KAPLAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Şarkikaraağaç MYO, 32800, Şarkikaraağaç, Isparta
ORCID ID: 0000-0001-6321-2981
Doç. Dr. Mehmet KAPLAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Şarkikaraağaç MYO, 32800, Şarkikaraağaç, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-1359-1028
Prof. Dr. Aykut BEDÜK
Selçuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari bilimler Fakültesi, Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0000-0002-0845-8978

ÖZET
Sessiz istifa bir çalışanın işletmede çalışırken duygusal ve zihinsel olarak yaptığı işten kopması ya da ekstra bir davranış sergilememesi olarak değerlendirilmektedir. "Sessiz istifa" kavramı bir örgütsel davranış ve insan kaynakları yönetimi kavramı olarak hep işletme içinde çalışanlar üzerinde düşünülmekte ve araştırmalarda bu bağlamda gerçekleşmekte, bulgular ve sonuçlarda yine bu şekilde ortaya konulmakta ve tartışılmaktadır. Bu çalışmada ise sessiz istifa kavramı girişimci ortaklar üzerinden düşünülmüş ve ortak olduğu işletmede bu durumu yaşayanlar araştırmanın konusu yapılmıştır. 10 girişimci ortak ile yarı-yapılandırılmış görüşme gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler sonucunda elde edilen bulgular hem ilgili girişimcilere hem de gelecek araştırmalara önemli katkılar sunabilir.
Anahtar kelimeler: Sessiz istifa, girişimciler, ortaklar, nitel yöntem.

ENTREPRENEURS WHO RESIGNED QUIETLY: THOUGHTFUL AND EXPERIENTIAL EXPLORATION

ABSTRACT
Silent resignation is defined as an employee's emotional and mental detachment from their work or lack of unusual behavior while working at a company. The concept of "silent resignation" is always considered within the context of employees in organizational behavior and human resources management, and research is conducted and discussed within this context. This study, however, examines the concept of silent resignation through the lens of entrepreneurial partners, focusing on those who experienced this situation within their joint ventures. Semi-structured interviews were conducted with 10 entrepreneurial partners. The findings obtained from these interviews can offer significant contributions to both the entrepreneurs involved and future research.
Keywords: Silent resignation, entrepreneurs, partners, qualitative method.

1. GİRİŞ
Sessiz istifa kavramı bir çalışanın işletmede çalışırken duygusal ve zihinsel olarak yaptığı işten kopması ya da ekstra bir davranış sergilememesi olarak değerlendirilmektedir. Sessiz istifa kavramının, ilk olarak 2009 yılında Ekonomist Mark Boldger tarafından "Texas A&M Ekonomi Sempozyumu'nda" ifade edilmiştir (Çimen ve Yılmaz, 2023: 28). Ancak kavramın popülerleşmesi, 2022 yılında Zaid Khan adlı bir TikTok kullanıcısının "iş senin hayatın değil" mesajını içeren videosu ile gerçekleşmiştir. Hızlı yaşam ve koşuşturma kültürüne karşı bir eleştiri niteliğindeki bu video, iş-yaşam dengesi üzerine yeniden düşünmeyi teşvik etmiş ve

kavramın TikTok'ta yayılmasına öncülük etmiştir (Güler, 2023: 249). Ağustos 2022 itibarıyla pek çok TikTok kullanıcısı, sessiz istifa üzerine tartışmalar başlatmıştır (Hamilton vd., 2023: 3).

Sessiz istifaya yönelik çeşitli belirtiler işletme içinde kendini göstermektedir. Sessiz istifa eden kişilerin belirli yaygın özellikler sergilediği yazında sıklıkla belirtilmektedir (Klotz ve Bolino, 2022; Çalışkan, 2023). Bu ortak özelliklerden birincisi sessiz istifa eden kişilerin kendilerine önem verilmediğini düşünmesi ve ve bu duruma bağlı olarak değersiz hissetmeleridir. İkincisi bu tür çalışanların sahip olduğu potansiyelin açığa çıkarılmasını sağlayacak yönetimsel/kurumsal desteğin olmamasıdır. Üçüncüsü yöneticilerin adil ve tutarlı bir yönetim anlayışı benimsememesinden kaynaklı işletme yönetimine olan güvenin yitirilmesidir. Dördüncüsü, işletmede açık ve şeffaf bir iletişim mekanizmasının kurulamaması durumudur. Son olarak ise bireysel yetkinliğe uygun bir pozisyonda çalışılmaması durumudur (Valura, 2022).

"Sessiz istifa" kavramı bir örgütsel davranış ve insan kaynakları yönetimi kavramı olarak hep işletme içinde çalışanlar üzerinde düşünülmekte ve araştırmalarda bu bağlamda gerçekleşmekte, bulgular ve sonuçlarda yine bu şekilde ortaya konulmakta ve tartışılmaktadır. Bu çalışmada ise sessiz istifa kavramı girişimci ortaklar üzerinden düşünülmüş ve ortak olduğu işletmede bu durumu yaşayanlar araştırmanın konusu yapılmıştır. 10 girişimci ortak ile yarı-yapılandırılmış görüşme gerçekleştirilmiştir. Görüşmeler sonucunda elde edilen bulgular hem ilgili girişimcilere hem de gelecek araştırmalara önemli katkılar sunabilir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı işletme içi operasyondan işletme içi üst yönetim-sahiplik üzerinden hareket ederek sessiz istifayı keşfetmek olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda araştırma nitel yönteme bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada "kartopu örnekleme yöntemine" bağlı olarak ortak girişimciler katılımcı olarak araştırmaya dahil edilmiştir. Cresswell (2003) nitel bir araştırma için katılımcı sayısının 8 ile 30 kişi arasında değişebileceğinin ifadesiyle hareket edilmiştir.

Katılımcılarla yarı-yapılandırılmış görüşme tekniğine bağlı oolarak görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Görüşme formunun hazırlanması aşamasında yazın incelemesi yapılmış ve incelemeye bağlı olarak sorular oluşturulmuştur. Oluşturulan sorular form haline getirilmiş ve geçerliliği için uzman görüşüne başvurulmuştur. Belirlenen 2 uzman soru formunu değerlendirmiştir. Görüşme formunda açık uçlu sorular ile demografik betimleme için sorular sorulmuştur. Görüşmeler not tutma yöntemiyle yazılı olarak kayıt altına alınmıştır.

3. BULGULAR

Araştırmada katılımcı sayısının belirlenmesi kapsamında "veri doygunluğu ve veri yeterliliği" gibi iki temel faktörün dikkate alınması gerektiği görüşü ile hareket edilmiştir. Veri doygunluğu yeni verilerin mevcut bilgilere düşük düzeyde katkı sağlaması veya herhangi bir etki oluşturmaması iken veri yeterliliği elde edilen verilerin araştırma probleminin cevaplanmasına fayda sağlayacak düzeyde olmasıdır (Kanten vd. 2018: 943). Bu noktada görüşlerini açık, net ve nesnel olarak ifade edebilecek 10 girişimci-ortak ile yarı-yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Araştırmanın güvenilirlik çalışması için ayrıca sürekli karşılaştırma yöntemi kullanılarak, veri analizi sürecinde yeni iç görüler elde edildiğinde geriye ve ileriye doğru tüm görüşme setleri için açık kodlama adımları tekrarlanmıştır. Bu yaklaşım, geçerlilik ve güvenilirliğin sürekli iyileştirilmesine olanak tanımış ve analizi güçlendmiştir. Verilerin analizinde, tekrarlayan kodları belirlemek için dikkatli bir süreç izlemişlerdir. Bu kodlar daha sonra gruplandırılarak ve analiz edilerek, daha geniş bağlamlarla ilişkilendirilen 2 ana tema ve alt temaları belirlenmiştir. Çalışma için katılımcılardan gerekli izin ve onaylar alınmıştır.

Araştırmaya yönelik bulgular iki ana kapsamda değerlendirilmiştir. İlk olarak Tablo 1'de yer alan demografik bilgiler sunulmuştur. İkinci olarak ise çalışmadan üretilen temalar ortaya konulmuştur.

Tablo 1: Demografik Bulgular

Girişimcilik Süresi	Ortaklık Süresi	Yaş	Eğitim	Medeni Durum
8	5	42	Lise	Evli
11	4	54	Lise	Evli
14	6	38	Lisans	Bekar
16	8	39	Lisans	Evli
12	5	37	Lise	Bekar
11	4	51	Ön-Lisans	Bekar
9	7	32	Lisans	Bekar
17	6	38	Ön-Lisans	Evli
16	8	45	Lise	Evli
11	3	44	Lise	Evli

Araştırma sonucunda ortaya çıkan temalar "İşin Merkezinden Kopuş", "İş-Aile Dengesi Bozulması" ve "Ayrılışa Hazırlanma" şeklinde ortaya çıkmıştır. İşin merkezinden kopuş teması değerlendirildiğinde katılımcılar işin merkezinden bir kopuş yaşamaktadırlar. Bu kopuş bir daha geri dönmeye yönelik bir hazırlanma süreci olarak ifade bulmaktadır. Aşağıdaki katılımcı ifadeleri bunu destekler niteliktedir.

«Katılımcı 7; resmen işletme içinde olmama rağmen aslında orada değildim ve işten bir nevi ayrılmıştım sadece fiziksel bir hareketim vardı…»

«Katılımcı 9; hayatımın merkezinde olan işim ikini plana düşmüştü…»

İkinci tema iş aile dengesinin sessiz istifa ile bozulmasıdır. Burada katılımcılar işletme içindeki görünmemezlik hissinin işten kopuşla birlikte aile yönünde bir pozitifleme olduğunu ifade etmişlerdir. Aşağıdaki ifade bu durumu destekler niteliktedir.

«…Katılımcı 2; işyerindeki ortaklığımın pek görünmemesi aile yönlü bir geçişe yönlendirdi…»

Ayrılışa hazırlanma teması, artık ortak sürecinin sonuna gelmeye yönelik düşünce ve pratik olarak tanımlanmıştır. Bu noktada bu görüşü destekleyici ifadeler aşağıda yer almaktadır.

«…Katılımcı 1…Artık ortaklığın sonu geliyordu, bu hissediliyordu…»

«…Katılımcı 6…Sessizlik ve artık yeni bir iş ya da ortaklık arayışına dönüşmüştü…»

Sessiz istifa örgüt içinde eylemsizlik yaratarak bireylerin işten ayrılmaları ile sonuçlanabililir. Bu durum girişimcimlerde ise ortaklıktan ayrılma ile sonuçlanabilir. Ortak sonuç ise literatür açısından sessiz istifa her yerde olabilmekte ve her kişi için olabilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmanın sonucu değerlendirildiğinde katılımcıların girişimcilik sürelerinin 8 yıl ile 17 yıl arasında olduğu görülmektedir. Girişimcilerin ortaklık sürelerinin ise 3 ile 8 yıl arasında olduğu görülmüştür. Katılımcıların yaş aralığı ise 32 ile 54 yaş arasında olup, eğitim düzeyleri ağırlıklı olarak lise mezunu ve medeni durumu ise evli olarak betimlenmiştir.

Her araştırmada olduğu gibi bu araştırmanın sonuçları da çeşitli kısıtları içermektedir. Her şeyden önce bu araştırmada yöntem kısıtı bulunmaktadır. Araştırma nitel yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dolasıyla katılımcı girişimci ortakların ifadeleriyle sınırlı kalmaktadır. Yanısıra, yönteme bağlı yarı-yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılmıştır. Farklı teknikler sonuçları farklı yönlere çekebilmektedir. Dolayıyla gelecek araştırmalarda bu konuda nicel yöntem kullanılarak daha fazla örneklem büyüklüğüne ulaşılabilir, dahası anket tekniği

kullanılarak çeşitli ölçeklerin üretimi gerçekleştirilebilir. Araştırmanın başka bir kısıtı ise zaman kısıtıdır. Araştırma belirli bir zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Bu zaman aralığı geniş tutularak farklı sonuçlar da üretilebilir. Gelecek araştırmalarda daha uzun sürelerde araştırmalar yapılabilir. Araştırmanın bir diğer sınırı da coğrafya sınırıdır. Araştırmanın yapıldığı coğrafyada yer alan girişimci ortaklar bu sınırı oluşturmaktadır. Başka çalışmalarda farklı coğrafyalarda özellikle karşılaştırmalı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

Çalışkan, K. (2023). Sessiz İstifa: Sonun başlangıcı mı yeniden diriliş mi?. *Journal of Organizational Behavior Review*, *5*(2), 190-204.

Çimen, A. İ. ve Yılmaz, T. (2023). Sessiz istifa ne kadar sessiz. Sakarya Üniversitesi İşletme Enstitüsü Dergisi, 5(1), 27-33.

Creswell, J.W. (2003). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. California: Sage Publications Inc.

Güler, M. (2023). Çalışma kültüründe yeni bir kavram: Sessiz istifa. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 32(1), 247-261.

Hamilton, O. S., Jolles, D., ve Lordan, G. (2023). Does the tendency for 'quiet quitting' differ across generations? Evidence from the UK. IZA Discussion Papers, 16240, 1–22.

Kanten, P., Kanten, S., Durmaz, M. G. ve Arda, B. (2019). Akademik örgütlerde korku kültürü üzerine nitel bir araştırma. 27. Ulusal Yönetim ve Organizasyon Kongresi Bildiriler Kitabı, 18-20 Nisan 2019, Antalya, 476-492.

Klotz, C. A. ve Bolino, C. M. (2022). When quiet quitting is worse than the real thing. Harvard Business Review. Erişim adresi: https://hbr.org/2022/09/when-quiet-quitting-is-worse-than-the-real-thing

Valura (2022). Sessiz İstifa. Erişim adresi: https://www.valura.net/Web/Tr/Makale_SessizIstifaKarKaybi.pdf

RESTORAN İŞLETMECİSİ KADIN GİRİŞİMCİLERİN PLANLI DAVRANIŞ TEORİSİ BAĞLAMINDA SIFIR ATIK ALGISI, DÜŞÜNCESİ VE EYLEMİ

Dr. Öğr. Üyesi Berna Turak KAPLAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Şarkikaraağaç MYO, 32800, Şarkikaraağaç, Isparta
ORCID ID: 0000-0001-6321-2981
Doç. Dr. Mehmet KAPLAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Şarkikaraağaç MYO, 32800, Şarkikaraağaç, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-1359-1028
Prof. Dr. Aykut BEDÜK
Selçuk Üniversitesi, İktisadi ve İdari bilimler Fakültesi, Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0000-0002-0845-8978

ÖZET
Restoran işletmeciliği yapan kadın girişimcilerin "sıfır atık" yaklaşımına yönelik algılarını, düşüncelerini ve deneyimlerini keşfetmeye yönelik nitel bir çalışmadır. Bu bağlamda "planlı davranış teorisi" kuramsal arka planı ile araştırmanın en temel sorusu "restoran işletmecisi olan kadın girişimciler sıfır atık kavramını nasıl algılamakta, düşünmekte ve eylemselleştirmektedir?" şeklinde belirlenerek 8 kadın girişimci ile yarı-yapılandırılmış görüşme gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın ortaya çıkan bulguları sıfır atık kavramının önemine ve ortaya çıkan eylemsel pratikleri anlamaya yönelik gelecek araştırmalara ve kadın girişimcilere önemli katkılar sunabilir.
Anahtar kelimeler: Restoran işletmecisi, kadın girişimciler, planlı davranış teorisi, sıfır atık, nitel yöntem.

ZERO WASTE PERCEPTION, THOUGHT AND ACTION OF FEMALE RESTAURANT ENTREPRENEURS WITHIN THE CONTEXT OF THE THEORY OF PLANNED BEHAVIOR

ABSTRACT
This is a qualitative study aimed at exploring the perceptions, thoughts, and experiences of women entrepreneurs in the restaurant business regarding the "zero waste" approach. In this context, with a theoretical background based on the theory of planned behavior, the fundamental question of the research was determined as "How do women entrepreneurs who own restaurants perceive, think about, and act upon the concept of zero waste?" Semi-structured interviews were conducted with 8 women entrepreneurs. The findings of this research can offer significant contributions to future research on the importance of the zero waste concept and the resulting practical applications, as well as to women entrepreneurs.
Keywords: Restaurant owner, women entrepreneurs, theory of planned behavior, zero waste, qualitative method.

1. GİRİŞ
Geçmiş, şimdi ve gelecek ekseninde toplumların artık daha fazla sorumluluk üreten anlayış ve pratikleri benimsemesi gerekliliği gün geçtikçe artmakta ve şimdiden yapılanların gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını tehlikeye atmama adına bir eylem planı gerekliliği şiddetli bir şekilde gerekli olmaktadır. Bu gerekliliğin ismi "sürdürülebilirlik" olarak betimlenmekte ve artan nüfus, kentleşmenin durdurulamaması, mevcut doğal kaynakların azalması sürdürülebirliliğin

sadece çevresel bir sorundan çok daha ötede düşünülmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu gereklilik; tarımdan hayvancılığa, gıdadan gastronimiye, restorandan kafeye, yiyecekten 132içeçeğe pekçok alanda sürdürülebirliliğin pratiklerini benimsemeyi kaçınılmaz kılmaktadır (Minuzzo ve Santos, 2024). Bu bağlamda, Birleşmiş Milletler tarafından belirlenen sürdürülebilirlik ilkeleri içerisinde yer alan "Sorumlu Tüketim ve Üretim", "Sıfır Açlık" ve "Sağlıklı Bireyler" hedefleri, insan yaşamındaki tüm süreçlerde çevreye duyarlı uygulamalar ve etkili atık yönetimi yaklaşımlarını teşvik etmektedir (Birleşmiş Milletler, t.y.).

Restoran işletmeciliği açısından gıda atığı ve israfı en kritik sorunlardan biri olarak tedarik zincirinin tüm halkalarında yer almakta ve yapılan hizmette üretilen yiyecek-içeceğin neredeyse üçte birini etkilemektedir (Lemaire ve Limbourg, 2019). Bu yüksek oran restoran işletmeleri için hem ekonomik hem de çevresel boyutta önemli yekun teşkil etmektedir (Lins vd., 2021).

Son dönemde "sıfır atık" (zero waste) felsefesinin, gıda atıklarını tamamen önlemeyi hedefleyen bütüncül bir yaklaşım olarak değerlendirildiği ifade edilmektedir (Zaman, 2015). Sıfır atık yaklaşımı, yalnızca atıkları enazlama değil, aynı zamanda üretilen atığın yeni ürünlere ya da besin döngüsüne yeniden kazandırılmasını anlatmaktadır (Bogusz vd., 2021). Böylece hem ekonomik hem de çevresel döngü sağlanmaktadır (Awogbemi vd., 2022; Pietzsch vd, 2017). Bu çalışma nitel bir yöntemle gerçekleştirilip restoran işletmeciliği yapan kadın girişimcilerin deneyimlerine odaklanarak algı, düşünce ve eylemlerini keşfetmeye yönelik gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Yöntemsel Kurgu

Araştırma nitel yönteme bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda olgubilimsel diğer bir ifadeyle fenomenolojik bir desenle hareket edilmiştir. Bu desen bireylerin belirli bir olguya karşı olan deneyimlerine odaklanarak onların olguyla ilgili olarak yaşadıkları durumlara, düşüncelere ve eylemlerine odaklanmaktadır. Bu çalışmada da restoran işletmecisi kadın girişimcilerin sıfır atıkla ilgili deneyimleri keşfedilmeye çalışılmıştır. Bu keşfedilmeye bağlı olarak katılımcı kadın girişimcilerin sıfır atık kavramını nasıl düşündükleri ve nasıl eylemsel olarak kullandıkları başka bir ifadeyle nasıl pratikleştirdiklerine odaklanılmaktadır. Bu odaklanma ile sıfır atık pratiklerinin yapısı bütüncül bir anlayışla analiz edilmiştir.

Bu çalışma restoran işletmecisi kadın girişimcilerin sıfır atık düşünce ve eylemlerinin benimsenme dinamiğini "Planlı Davranış Teorisi" çerçevesinde sahip oldukların niyetler ve davranışsal yapıcılar üzerinden analiz etmiştir.

2.2. Araştırmanın Kuramsal Çerçevesi ve Analitik Konumlandırması

Araştırmada "Planlı Davranış Teorisi" temelinde hareket edilmiştir. Bu hareket etmede bu teori sadece kavramsal bir arka plan olarak değil, veri toplamayı ve dahası katılımcıları, araştırma analizi süreçlerini yönlendiren ve yeniden üreten analitik bir araç olarak konumlanmıştır. Planlı Davranış Teorisi, katılımcı kadın girişimcilerin düşünce ve eylemlerini betimlemeye yönelik kullanılmıştır. Planlı Davranış Teorisi, bireylerin davranış sergileme niyetlerinin; davranışa yönelten tutum, öznel normlar ve algılanan davranış kontrol ile belirlendiğini ortaya koymaktadır (Ajzen, 1991). Bu teori, özellikle çevresel davranışların açıklanmasında kullanılmakta ve/veya ve sürdürülebilir uygulamaların açıklanmasında etkin bir şekilde açıklayıcı tasvirler sunmaktadır. Bu çalışmada da restoran işletmecisi olan kadın girişimcilerin sıfır atık benimseme deneyimlerini açıklayıcı bir perspektif sunmaktadır.

2.3. Veri Toplama Süreci

Araştırmanın katılımcılarını restoran işletmecisi olan kadın girişimciler oluşturmaktadır. Bu sektörde faaliyette bulunan 8 kadın girişimci ile yarı-yapılandırılmış görüşme tekniği ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın katılımcıları amaçlı örneklemeye bağlı olarak

oluşturulmuştur. Amaçlama örneklemeye bağlı olarak farklı yaş gruplarına, farklı girişimcilik ve restoran işletmeciliği deneyimlerine sahip olan katılımcılara ulaşılarak farklı deneyimlere ulaşılmaya çalışılmıştır. Araştırma katılımcılarının restoran işletmeciliğindeki belli düzey deneyimleri olması elde edilen verilerin sektörel gerçekliği yansıtması açısından önemli olarak ifade edilmektedir. Araştırmada Cresswell (2003) nitel bir araştırma için katılımcı sayısının 8 ile 30 kişi arasında değişebileceğinin ifadesiyle hareket edilmiştir. Dolayısıyla restoran işletmecisi olan 8 kadın girişimci ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir.

Görüşme formunun hazırlanması aşamasında yazın incelemesi yapılmış ve incelemeye bağlı olarak sorular oluşturulmuştur. Oluşturulan sorular form haline getirilmiş ve geçerliliği için uzman görüşüne başvurulmuştur. Belirlenen 2 uzman soru formunu değerlendirmiştir. Görüşme formunda açık uçlu sorular ile demografik betimleme için sorular sorulmuştur. Görüşmeler esnasında ses kayıt cihazı kullanılmamış, görüşmeler not tutma yöntemiyle yazılı olarak kayıt altına alınmıştır.

Araştırmanın başından son haline kadar etik ilkeler dikkate alınmıştır. Araştırma katılımcıların araştırmaya katılımı gönüllülük esasına dayalı olarak gerçekleştirilmiş, görüşme öncesinde sözlü onam alınmıştır. Elde edilen tüm veriler anonimleştirilerek analiz edilmiştir. Katılımcı kimlik bilgileri gizli tutulmuş ve veriler yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılmış ve bu taahhüt altına alınmıştır.

3. BULGULAR

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular, çalışmanın kuramsal çerçevesi doğrultusunda bütüncül bir yaklaşımla yorumlanmıştır. Bu bağlamda, katılımcıların sıfır atık mutfak uygulamalarına yönelik tutumları, algıladıkları sosyal etkiler ve davranışlarını gerçekleştirme konusundaki kontrol algıları Planlı Davranış Teorisi çerçevesinde ele alınmıştır. Araştırmanın ilk bulgusu demografik betimlemeye yönelik Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Demografik Bilgiler

Çalışma Süreci	Restoran İşletmecisi Olma Süreci	Yaş	Eğitim Düzeyi	Medeni Durum	Çocuk Sayısı
9	4	31	Lise	Evli	1
12	6	36	Lisans	Evli	3
6	3	24	Lise	Bekar	1
12	8	38	Lisans	Evli	2
8	4	30	Lisans	Bekar	1
8	7	37	Lise	Bekar	2
13	8	40	Lise	Evli	4
17	11	41	Ön-Lisans	Evli	3

Araştırmanın demografik bilgilerini içeren Tablo 1'e bakıldığında restoran işletmeci olan kadın girişimci katılımcıların çalışma sürelerinin 6 yıl ile 17 yıl arasında olduğu görülmektedir. Katılımcıların restoran işletmeciliği yaptığı süre ise 3 yıl ile 11 yıl arasında değişmektedir. Bu bilgiler katılımcıların sektörel deneyimleri yansıtabilecek şekilde profesyonelleştiklerini ifade etmektedir. Yaş aralıkları 24 ile 41 arasında, eğitim düzeyleriağırlıklı olarak lise, medeni durum ağırlıklı olarak evli ve son olarak her katılımcı aynı zamanda annedir.

Araştırmanın diğer bulgularına bakıldığında ise üç ana tema etrafında şekillendiği görülmektedir. Bu ana temalar algılar, düşünceler ve eylemler temalarıdır. Algılar teması kendi içinde ekonomik algı ve çevresel algı olarak; Düşünceler teması kendi içinde israf düşüncesi ve yenileme düşüncesi olarak; son olarak ise eylemler teması maliyetleri düşürme ve toplumsal katkı teması olarak ayrılmıştır.

Algılar teması değerlendirildiğinde; restoran işleten kadın girişimciler; sıfır atık anlayışını yalnızca gıda atıklarıyla sınırlı görmeyerek enerji ve su kullanımı gibi operasyonel süreçleri de bu yaklaşımın önemli bir parçası olarak değerlendirmişlerdir. Aşağıda yer alan ifade bunu destekleyici niteliktedir.

«Katılımcı 4…Sıfır atık sadece yiyeceklerin bitmesi ya da bitmemesi değil; gereksiz su kullanmamak, enerji tüketimini kontrol etmek, tek kullanımlık ürünlerden kaçınmak da işin parçası…»

Planlı Davranış Teorisi açısından değerlendirildiğinde, kadın girişimcilerin sıfır atık uygulamalarına yönelik olumlu tutumlar geliştirdiklerini ortaya koymaktadır. Ajzen'e (1991) göre bireylerin bir davranışı sergileme niyetleri, o davranışa ilişkin değerlendirmeleri ve tutumları ile yakından ilişkilidir. Girişimcilerin sıfır atık uygulamalarını hem çevresel hem de mesleki açıdan faydalı bir yaklaşım olarak tanımlamaları, bu uygulamaları benimseme yönündeki niyetlerinin güçlü olduğunu düşündürmektedir.

Düşünceler temasında sıfır atık yaklaşımının geleneksel mutfak pratikleriyle ilişkilendirmesidir. Katılımcılar, geçmişte "hiçbir şeyin ziyan edilmemesi-israfı önleme" anlayışının hâkim olduğunu vurgulamış ve sıfır atık yaklaşımının yeni bir kavramdan ziyade, var olan değerlerin güncel bir yorumu olduğunu düşünmüşlerdir (Katılımcı 2, 4, ve 7).

«Bir katılımcı, sıfır atık yaklaşımı aslında geleneksel mutfak kültürünün bir parçasıdır; bir israfı önleme ve yenilenmedir.» (Katılımcı 8)

Eylemler teması değerlendirildiğinde katılımcılar, atık miktarının azaltılmasının yalnızca çevresel sorumluluk değil, aynı zamanda maliyet yönetimi açısından da önemli bir avantaj sağladığını ifade etmiştir. Bir katılımcı, sıfır atık yaklaşımının ekonomik faydasını vurgulayarak şunları belirtmiştir:

"Restoran işletirken attığınız her ürün aslında maliyet ve kazançtan azalma demek…» (Katılımcı 1).

Aynı zamanda bu eylem «Planlı Davranış Teorisi» bağlamında restoran işletmecisi kadın girişimcilerin sıfır atık uygulamalarına yönelik davranışsal niyetlerini güçlendiren önemli bir unsur olarak değerlendirilebilmektedir. Kadın girişimcilerin sıfır atık yaklaşımına ilişkin eylemsellikleri; olumlu tutumlar, kültürel uyumluluk algısı ve belirgin toplumsa ve ekonomik fayda beklentileri üzerinden şekillenmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmanın sonucunda elde edilen bulgulara bakıldığında katılımcıların restoran işletmeciliğinde belli bir profesyonel seviyede olduğu görülmektedir. Katılımcıların sıfır atık algısına sahip oldukları ve bunu planlı davranış teorisi bağlamında ortaya koydukları ifade edilebilir. Ortaya çıkan temalara bağlı olarak restoran işletmecisi kadın girişimcilerin sıfır atığı algıladıkları, sıfır atığı düşündükleri ve eylemselleştirerek pratiğe yansıttıkları görülmektedir.

Restoran işletmeleri için atık azaltıcı stratejiler, tedarik yönetimini yeşilleştirmek gibi pratikler restoranların sürdürülebilirliğine katkıda bulunmakta ve çevre bilincini desteklemektedir (Higgins-Desbiolles ve Wijesinghe, 2019).

Restoran işletmeciliğine, menü planlaması ve porsiyon kontrolünden tüketici ilişkilerine dek uzanan geniş yelpazedeki yenilikçi tedbirlerin hayata geçirilmesi, sıfır atık hedeflerine ulaşılmasını kolaylaştırmakta ve desteklemektedir (Papargyropoulou vd., 2016). Bu çalışmada da kadın girişimcilerin sıfır atığı benimseme süreçleri algıları, düşünceleri ve eylemleri keşfedilmiştir. Ancak her çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da kısıtlar yer almaktadır. Yöntem kısıtı, teknik kısıtı, coğrafya kısıtı gibi kısıtlar giderilerek farklı yöntemler ve tekniklerle yeni çalışmalar farklı coğrafyalarda gerçekleştirilebilir.

KAYNAKÇA

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. *https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T*

Awogbemi, O., Kallon, D., & Bello, K. (2022). Resource Recycling with the Aim of Achieving Zero-Waste Manufacturing. *Sustainability*. *https://doi.org/10.3390/su14084503*

Birleşmiş Milletler. (t.y.). *The sustainable development agenda*. 31 Mart 2025 tarihinde *https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda-*

Bogusz, M., Matysik-Pejas, R., Krasnodębski, A., & Dziekański, P. (2021). The Concept of Zero Waste in the Context of Supporting Environmental Protection by Consumers. *Energies, 14*(18), 5964. *https://doi.org/10.3390/en14185964*

Creswell, J.W. (2003). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. California: Sage Publications Inc.

Higgins-Desbiolles, F., & Wijesinghe, G. (2019). The critical capacities of restaurants as facilitators for transformations to sustainability. *Journal of Sustainable Tourism, 27*(7), 1080–1105. *https://doi.org/10.1080/09669582.2018.1510410.*

Lemaire, A., & Limbourg, S. (2019). How can food loss and waste management achieve sustainable development goals? *Journal of Cleaner Production, 234*, 1221–1234. *https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.226*

Lins, M., Puppin Zandonadi, R., Raposo, A., & Ginani, V. C. (2021). Food Waste on Foodservice: An Overview through the Perspective of Sustainable Dimensions. *Foods, 10*(6), 1175. *https://doi.org/10.3390/foods10061175*

Minuzzo, D. A., & Santos, C. D. M. (2024). Strategies for promoting sustainable development goals in restaurants. In R. Bonacho, M. Eidler, S. Massari, & M. J. Pires (Eds.), *Experiencing and Envisioning Food* (1. bs, ss. 39–45). CRC Press. *https://doi.org/10.1201/9781003386858-6*

Papargyropoulou, E., Wright, N., Lozano, R., Steinberger, J. K., Padfield, R., & Ujang, Z. (2016). Conceptual framework for the study of food waste generation and prevention in the hospitality sector. *Waste Management, 49*, 326–336. *https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.017*

Pietzsch, N., Ribeiro, J. L. D., & De Medeiros, J. F. (2017). Benefits, challenges and critical factors of success for Zero Waste: A systematic literature review. *Waste Management, 67*, 324–353. *https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.004*

Zaman, A. (2015). A comprehensive review of the development of zero waste management: Lessons learned and guidelines. *Journal of Cleaner Production, 91*, 12–25. *https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.013*

İNDÜKSİYON BOBİNLİ ERGİTME SİSTEMLERİNDE ENERJİ PERFORMANSINA ETKİ EDEN ŞARJ MALZEMELERİ DİZİLİMİNİN ANALİTİK AĞ SÜRECİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yunus Emre ANİGİ
Kocaeli University, Institute of Natural Sciences, Department of Engineering Management, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0003-8037-0879
Mertcan YİRMİLİ
Kocaeli University, Institute of Natural Sciences, Department of Engineering Management, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0003-0824-6419
Doç. Dr. Yıldız ŞAHİN
Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-6283-5340

ÖZET
İndüksiyon bobinli ergitme sistemlerinde enerji verimliliğinin artırılması, endüstriyel döküm tesislerinde sürdürülebilir üretimin sağlanması ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İndüksiyon ocaklarındaki ergitme süreçlerinde optimum enerji tüketimi; ergitme performansı, operasyonel uygunluk, malzemenin fiziksel özellikleri ve maliyet gibi karmaşık parametrelerden etkilenmektedir. Bu doğrultuda optimum şarj malzemesi diziliminin belirlenmesi, yalnızca tek bir kritere dayalı basit değerlendirmelerle gerçekleştirilememektedir.

Bu çalışma kapsamında, bir işletmedeki 8 ton kapasiteli yüksek frekanslı bir indüksiyon ocağında enerji kayıplarını en aza indirmek amacıyla şarj malzemesi dizilim problemi çok kriterli bakış açısı ile incelenmiştir. Sabit şarj bileşimi (%45 çelik, %35 pik, %10 yolluk, %7 talaş, %3 ferro alaşım) için hazırlanan 5 farklı yükleme senaryosu (S1-S5), Çok Kriterli Karar Verme tekniklerinden biri olan Analitik Ağ Süreci (AAS) yöntemiyle değerlendirilmiştir. AAS yöntemi; kriterler arasındaki bağımlılıkları ve geri beslemeleri modelleme yeteneği sayesinde hiyerarşik yaklaşımlara göre çok daha gerçekçi sonuçlar sunmaktadır.

Saha uzmanlarının görüşleri doğrultusunda hazırlanan karar modelinde Enerji Performansı, Operasyonel Uygunluk, Fiziksel Özellikler ve Ekonomik Faktörler ana kriterleri ile bu ana kriterleri açıklayan toplamda 11 alt kriter dikkate alınmıştır. Super Decisions yazılımıyla gerçekleştirilen analizler sonucunda S1 senaryosu (Çelik + Pik + Yolluk + Talaş + Ferro) 0.6109 nihai öncelik değeriyle ilk sırada yer almıştır. Yüksek manyetik geçirgenliğe sahip çelik hurdanın tabana yerleştirilmesi, ilk elektromanyetik kuplaj etkinliğini artırarak özgül enerji tüketimini ve ergime süresini belirgin şekilde düşürmüştür. Çalışma ile elde edilen sonuçlar, herhangi bir ek ekipman yatırımı gerektirmeksizin yalnızca doğru dizilim stratejisiyle tesis genelinde sistem verimliliğinin ve sürdürülebilirliğin artırılabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: İndüksiyon ocağı, enerji verimliliği, şarj malzemesi dizilimi, Analitik Ağ Süreci (ANP), elektromanyetik kuplaj, enerji kayıpları.

EVALUATION OF CHARGE MATERIAL CONFIGURATIONS AFFECTING ENERGY PERFORMANCE IN INDUCTION COIL MELTING SYSTEMS USING THE ANALYTIC NETWORK PROCESS

ABSTRACT

Enhancing energy efficiency in induction coil melting systems is of paramount importance for ensuring sustainable production and reducing operational costs in industrial foundries. Optimal energy consumption in induction furnace melting processes is governed by complex parameters such as melting performance, operational suitability, physical material properties, and cost. Consequently, determining the optimal charge material configuration cannot be achieved through simple, single-criterion evaluations. In this study, the charge material configuration problem was examined from a multi-criteria perspective to minimize energy losses in an 8-ton capacity, high-frequency induction furnace at an industrial facility. Five different charging scenarios (S1–S5) prepared for a fixed charge composition (45% steel, 35% pig iron, 10% returns, 7% chips, and 3% ferroalloy) were evaluated using the Analytic Network Process (ANP), a multi-criteria decision-making technique. Owing to its capability to model interdependencies and feedback among criteria, the ANP approach yields considerably more realistic results compared to traditional hierarchical methods. The decision model, developed in line with the insights of field experts, incorporated four main criteria—Energy Performance, Operational Suitability, Physical Properties, and Economic Factors—along with a total of 11 sub-criteria explaining these main criteria. Analyses conducted using Super Decisions software revealed that scenario S1 (Steel + Pig Iron + Returns + Chips + Ferroalloy) ranked first with a final priority weight of 0.6109. Placing steel scrap with high magnetic permeability at the furnace bottom enhanced the initial electromagnetic coupling efficiency, thereby significantly reducing specific energy consumption and melting time. The findings of this study demonstrate that system efficiency and overall sustainability across the plant can be improved solely through a proper configuration strategy, without requiring any additional capital investment in equipment.

Keywords: Induction furnace, energy efficiency, charge material configuration, Analytic Network Process (ANP), electromagnetic coupling, energy losses.

1. INTRODUCTION

Rising energy costs and the need for sustainable production in industrial enterprises have made energy efficiency one of the key performance indicators in production processes. In particular, the energy consumption levels of technologies used in the metal smelting and casting sectors are among the factors that directly affect the competitiveness of businesses. Consequently, efforts to optimise energy use in production processes have gained significance in recent years (Davies, 1990; Zinn and Semiatin, 1988).

Induction furnaces, which are widely used in metal melting processes, offer higher efficiency compared to traditional melting methods thanks to their ability to convert electrical energy directly into thermal energy. However, system performance depends not only on the technical characteristics of the furnace but also on the physical and operational properties of the charge materials used in the melting process. The density, size, loading sequence, and melting behaviors of the charge materials can play a decisive role in energy consumption (Otsukarcı, 2014).

The selection of charge materials and the determination of their layout within the furnace constitute a multi-dimensional decision problem that requires the simultaneous evaluation of technical, economic, and operational factors. Therefore, evaluations based solely on a single performance indicator may not be sufficient to achieve the optimum result. An improvement

achieved in one criterion during the decision-making process may lead to negative outcomes on another criterion. Multi-criteria decision-making methods are effective in solving such complex problems. One of these methods, the Analytic Network Process (ANP), can yield more realistic results than the classical Analytic Hierarchy Process (AHP) method because it can take into account the interdependence and feedback relationships among criteria (Saaty, 2001). Through the ANP method, relationships among energy efficiency, losses, and economic factors can be holistically analyzed.

Although there are numerous studies in the literature on energy efficiency and energy management, it is observed that there are no studies evaluating different configurations of charge materials in induction melting furnaces using multi-criteria decision-making methods from an energy efficiency perspective. Studies in the literature are generally gathered under two main headings. The first group of studies addresses the performance evaluation of energy systems and energy efficiency analyses. In these studies, energy consumption, cost, environmental impacts, and sustainability indicators have been evaluated. The second group of studies has used multi-criteria decision-making methods such as AHP, ANP, TOPSIS, VIKOR, and BWM for the selection of renewable energy sources, evaluation of energy investments, and performance measurement of energy management systems (Albayrak, 2020; İncekara, 2020; Bilgiç et al., 2021; Avşar Özcan et al., 2022; Teker et al., 2024). These studies show that the methods in question yield successful results in solving complex decision problems in the energy sector.

In this study, the Analytic Network Process (ANP) method was used to determine the most suitable charge configuration that can reduce energy consumption in induction coil melting systems. Using a decision model created by considering energy performance, operational suitability, physical properties, and economic factors, different charging scenarios were compared and the most appropriate alternative was determined. The results obtained are intended to contribute to applications aimed at increasing energy efficiency. When the existing literature is examined, no comprehensive study has been found in which different configurations of charge materials are evaluated and analyzed together in terms of energy efficiency, cost, melting performance, environmental impacts, and operational criteria. This situation demonstrates that the research aims to fill the gap in literature and possesses original value.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Analytic Network Process (ANP)

The Analytic Network Process (ANP) is one of the multi-criteria decision-making techniques used in solving complex decision problems. The method was developed by Thomas L. Saaty and is able to take into account the mutual interactions between criteria and alternatives involved in decision problems. Thanks to this feature, it allows for more comprehensive analyses compared to traditional approaches based on the assumption that decision elements are independent of each other. In the ANP approach, the decision system is modeled as a relational network structure rather than a linear hierarchy. Thus, direct or indirect effects that may occur among criteria are evaluated mathematically, ensuring a more realistic representation of the decision process. In particular, the presence of a feedback mechanism allows the inclusion of interdependencies among system components into the model (Saaty, 2001).

ANP is a comprehensive method that treats decision-making problems as an interconnected network structure instead of a linear hierarchy. In this method, "clusters" where criteria are grouped and "elements" within these clusters are defined (Özcan et al., 2017). In ANP, the decision problem is modeled as a network reflecting the complex interdependencies among

criteria. There are two types of relationships within this structure;
- Inner Dependencies: The influence of elements within the same cluster on each other.
- Outer Dependency: The interaction of elements in different clusters.

After the structure is established, decision-makers perform pairwise comparisons to determine the level of relationship between elements. Scoring is conducted on a 1–9 scale, and the initial pairwise comparison matrix (A) is constructed. In this process, both the relative importance of the elements and their degrees of influence on one another are converted into numerical values. Table 1 shows the Saaty Scale.

Table 1. The Saaty Scale (Saaty, 1996; Şahin vd., 2021)

Numerical Scales	Intensity of Importance	Explanation
1	Equal importance	Two elements contribute equally to the objective
3	Moderate importance	The first element is less important and preferred over the other.
5	Strong importance	The first element is more important and preferred over the other.
7	Very strong importance	The first element is much more important and preferred over the other.
9	Extreme importance	The first element is extremely more important and preferred over the other.
2,4,6,8	Intermediate values	Used when compromise is needed.

In pairwise comparisons, if the calculated consistency ratio is below 0.10, the evaluations are accepted as consistent. The contribution of criteria that do not have an interaction with any other criterion takes a value of zero in the matrix. Thus, the eigenvector can be calculated. The unweighted supermatrix is constructed by placing the eigenvectors into the columns of the matrix.

$$
W=\begin{array}{c|c|cccc}
 & & C_1 & C_2 & \cdots & C_n \\
 & & e_{11}\ e_{12}\ ..e_{1m1} & e_{21}\ e_{22}\ ..e_{2m1} & \cdots & e_{n1}\ e_{n2}\ ..e_{nm1} \\
\hline
 & e_{11} & & & & \\
C_1 & e_{12} & W_{11} & W_{12} & \cdots & W_{1n} \\
 & \vdots & & & & \\
 & e_{1m1} & & & & \\
 & e_{21} & & & & \\
 & e_{22} & & & & \\
C_2 & \vdots & W_{21} & W_{22} & \cdots & W_{2n} \\
 & e_{2m2} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
 & e_{n1} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
C_n & e_{n2} & & & & \\
 & \vdots & W_{n1} & W_{n2} & \cdots & W_{nn} \\
 & e_{nmn} & & & &
\end{array}
$$

Figure 1. The supermatrix

After the construction of the supermatrix, the weighted supermatrix is calculated. In the initial supermatrix, the column sums are equalized to 1 (transformed into a stochastic matrix form) by taking into account the degrees of influence clusters have on each other (cluster comparisons).

$$W_{weighted} = W_{cluster} \times W_{unweighted}$$

To stabilize the system and ensure that all relationships are reflected in the final weight, this matrix is raised to very high powers to create the "Limit Supermatrix". The process continues until the values in each row of the limit supermatrix become equal to each other, thus allowing the system to reach a stable state.

$$W_{limit} = \lim_{k \to \infty} (W_{weighted})^{2k+1}$$

When the supermatrix reaches the limit value, all columns of the matrix become equal to each other. The values in this column provide the final (global) weights of the criteria and alternatives (Saaty, 1996; Rao, 2007; Tzeng and Huang, 2011). The final values obtained from this matrix represent the actual weight of each option or criterion within the total system. Using these weights, the best alternative or the most critical success factor is determined with scientific certainty.

2.2. Working principle of induction furnaces

The working principle of induction furnaces is based on the principle of electromagnetic induction. As a result of passing an alternating current through a coil, a variable magnetic field is formed, and eddy currents are generated within the metal charge under the influence of this field. The generated currents turn into thermal energy due to the electrical resistance of the material, thus performing the melting process. The power of the magnetic field, operating frequency, and physical properties of the charge material play an important role in melting efficiency. Particularly, as the level of interaction between the material and the electromagnetic field increases, energy transfer becomes more effective and the melting time shortens. Therefore, the positions and loading sequences of the charge materials inside the furnace can directly affect energy performance (Otsukarcı, 2014; Dağlı and Cengiz, 2019). The charge materials used in melting and their properties can be summarized as follows:

- Pig Iron: It is crude iron with a high carbon content (around 3.5%–4.5%), obtained by smelting iron ore. It has a lower melting point compared to steel. It accelerates the formation of the initial liquid bath and has a high density.
- Steel: It is an iron-carbon alloy with a carbon content below 2%. High-quality steel scrap (sheet metal parts, shafts, pipes, etc.) is generally used in foundries. It is the main melting material with high magnetic permeability and high electromagnetic coupling capability.
- Returns (Gating system): Channels designed for the liquid metal to flow easily and fill the mold cavity during the casting process are called returns. After the metal solidifies, the metal in these channels solidifies along with the main part. Since it is a cast material, its density is high and its tendency to form voids is low.
- Chips (Metal chips): They are small metal fragments left behind when previously cast or manufactured metal parts are processed in factories using machining methods such as turning and milling. It is a low-density material with a high risk of oxidation.
- Ferroalloy: They are special alloys containing high proportions of elements such as silicon, manganese, chromium, etc., and a certain amount of iron. There are varieties such as ferrosilicon (FeSi) and ferromanganese (FeMn). Its energy absorption contribution is low, alloy loss may occur if loaded early, and it can be added at the top or after the liquid bath is formed.

3. RESEARCH AND FINDINGS

An optimal charge material configuration will be determined to ensure optimum energy consumption in an 8-ton capacity, high-frequency induction coil furnace charged with 45% steel, 35% pig iron, 10% returns, 7% chips, and 3% ferroalloy. Five different scenarios have

been established regarding which loading sequence of the charge materials will provide the minimum energy consumption in induction coil melting systems. The charge material arrangement scenarios presented in Table 2 are as follows:

Table 2. Charge material arrangement scenarios

Alternative arrangement code	Charge materials arrangement order
S1	Steel + Pig iron + Returns + Chips + Ferroalloy
S2	Pig iron + Steel + Returns + Chips + Ferroalloy
S3	Steel + Returns + Pig iron + Chips + Ferroalloy
S4	Pig iron + Returns + Steel + Chips + Ferroalloy
S5	Returns + Steel + Pig iron + Chips + Ferroalloy

3.1. 3.1. Determination of Criteria

In this study, the opinions of 3 experts (Expert 1: Foundry technical coordinator, Expert 2: Foundry production engineer, Expert 3: Foundry melting department chief) were utilized to establish the decision criteria to be used for determining the optimum charge sequence that will ensure minimum energy consumption in induction coil melting systems. During the process of determining the criteria, care was taken to consider technical, operational, and economic factors that directly affect melting performance in high-frequency induction furnaces. The primary basis for selecting the criteria was reducing energy consumption and increasing melting efficiency, which is the main objective of the study. In this context, the effects of the criteria on energy consumption, melting time, electromagnetic coupling behavior, material density, loading characteristics, and the physical properties of the charge materials were evaluated. Additionally, attention was paid to ensuring that the criteria were measurable, comparable, and evaluable by experts.

The determined criteria are classified under four main headings. These headings are: Energy Performance, Physical Properties, Operational Suitability, and Economic Factors. The Energy Performance criterion covers variables that directly affect the energy efficiency and production performance of the melting process. The Physical Properties criterion includes structural characteristics that determine the behavior of the charge materials inside the furnace. The Operational Suitability criterion evaluates factors related to ease of application encountered during the loading process. Economic Factors represent the cost dimension of the charge materials and the melting process. Accordingly, under the main criterion of Energy Performance, the sub-criteria of Melting Time, Initial Melting Temperature Effect, and Electromagnetic Coupling Efficiency were determined; under the main criterion of Operational Suitability, the sub-criteria of Loading Sequence Suitability, Bridging Risk, and Collapse Behavior were determined; and under the main criterion of Physical Properties, the sub-criteria of Material Density, Particle Size, and Void Formation Tendency were determined. It was evaluated that the determined criteria comprehensively represent the effects of different charge materials used in induction furnaces on melting performance. Main and sub-criteria are presented in Table 3.

Table 3. Main and sub-criteria of the decision problem

Main Criteria	Sub-criteria	Description
Energy Performance (A1)	Melting time (A11)	Speed of the material reaching melting point
	Initial melting temperature effect (A12)	Effect of the temperature required for the charge material to start melting on the process
	Electromagnetic coupling efficiency (A13)	Indicates how effectively the electromagnetic field produced in the induction furnace is absorbed by the material
Operational Suitability (A2)	Loading sequence suitability (A21)	Compliance with the feeding order to the furnace
	Bridging risk (A22)	The situation where charge materials get stuck inside the furnace during melting and remain suspended, failing to settle properly into the molten bath below
	Collapse behavior (A23)	The ability of the material to move towards the furnace center after partially melting and mix into the molten bath
Physical Properties (A3)	Material density (A31)	Mass value per unit volume
	Particle size (A32)	Grain/particle size affecting melting performance
	Material cleanliness (A33)	Absence of foreign matter in charge materials that may cause slag formation
Economic Factors (A4)	Material cost (A41)	Raw material purchase cost
	Energy cost (A42)	Energy expenditure incurred during use

3.2. Creation of the relationship matrix

After determining the criteria within the scope of the study, in order to perform calculations using the ANP method, it is necessary to construct a relationship matrix that reveals the interactions among the criteria. At this stage, taking expert opinions into account, the interactions of each criterion were carefully examined. When a criterion is affected by another criterion, a "ü" mark is used in the table, and when there is no interaction, a "–" mark is used, thus forming the inter-criteria relationship matrix. Table 4 shows the resulting relationship matrix.

Table 4. Relationship matrix

Criteria	S1	S2	S3	S4	S5	A11	A12	A13	A21	A22	A23	A31	A32	A33	A41	A42	O1
S1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A11	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	-
A12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
A13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
A21	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
A22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	-
A23	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	-	-
A31	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
A32	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-	-	✓	✓	-
A33	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	✓	✓	-
A41	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓	-	✓	-	-
A42	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O1	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓

Based on the interactions obtained from the relationship matrix, the ANP Decision Model shown in Figure 2 was constructed by using the conditions of which criteria affect and are affected by each other.

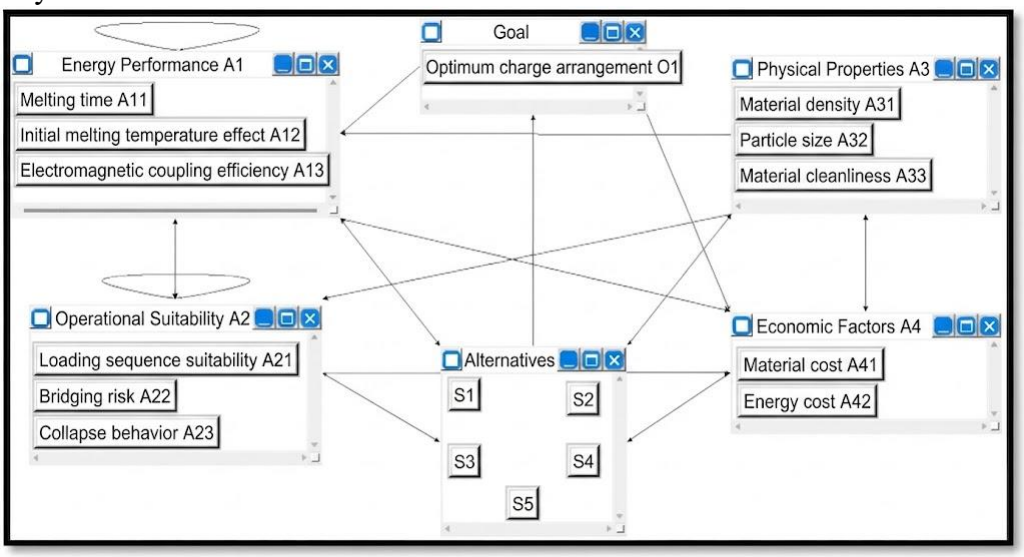


Figure 2. ANP decision model

In this study, the Analytic Network Process (ANP) method was applied to determine the optimum charge arrangement that will ensure minimum energy consumption in induction coil melting systems. To determine the importance of the main criteria, sub-criteria, and alternative charge arrangement scenarios included in the decision model, the opinions of three experts with experience in casting processes, melting technologies, and energy management were consulted. The experts were asked to evaluate the criteria and sub-criteria in accordance with the specified model using the 1–9 scale pairwise comparison method developed by Saaty. By taking the geometric mean of these evaluations, the unweighted supermatrix, weighted supermatrix, and limit matrix were generated using the "SUPER DECISION" software. The unweighted supermatrix is presented in Table 5, the weighted supermatrix in Table 6, and the limit matrix in Table 7.

Table 5. Unweighted supermatrix

Criteria	S1	S2	S3	S4	S5	A42	A31	A12	A13	A11	A33	A41	O1	A32	A22	A21	A23
S1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,611	0,638	0,634	0,638	0,610	0,618	0,638	0,000	0,609	0,602	0,500
S2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,149	0,153	0,156	0,153	0,152	0,178	0,153	0,000	0,176	0,181	0,232
S3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084	0,105	0,089	0,087	0,089	0,106	0,098	0,089	0,000	0,094	0,107	0,118
S4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,085	0,070	0,073	0,070	0,078	0,062	0,070	0,000	0,069	0,067	0,089
S5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,047	0,047	0,048	0,047	0,053	0,042	0,047	0,000	0,049	0,041	0,058
A42	0,250	0,333	0,333	0,250	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	0,250	0,250	1,000	0,000	0,000	0,000
A31	0,750	0,666	0,666	0,750	0,800	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,666	0,750	0,750	0,000	1,000	1,000	1,000
A12	0,319	0,258	0,319	0,333	0,258	0,000	0,000	0,000	0,258	0,000	0,000	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,333
A13	0,121	0,104	0,121	0,097	0,104	0,000	0,000	0,000	0,104	0,000	0,333	0,333	0,000	0,000	0,333	0,250	0,000
A11	0,558	0,636	0,558	0,569	0,636	0,000	0,000	1,000	0,636	0,000	0,666	0,666	0,750	1,000	0,666	0,750	0,666
A33	0,172	0,258	0,258	0,210	0,249	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A41	0,725	0,639	0,639	0,704	0,654	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A32	0,102	0,104	0,104	0,084	0,095	0,000	1,000	0,048	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A22	0,539	0,319	0,309	0,333	0,333	0,000	0,000	0,750	0,750	0,000	0,000	0,000	0,323	0,000	0,000	0,333	0,255
A21	0,163	0,121	0,109	0,097	0,097	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,000	1,000	0,000	0,073
A23	0,296	0,558	0,581	0,569	0,569	0,000	0,000	0,250	0,250	0,000	0,000	0,000	0,587	0,000	0,000	0,666	0,670

Table 6. Weighted Supermatrix

Criteria	S1	S2	S3	S4	S5	A42	A31	A12	A13	A11	A33	A41	O1	A32	A22	A21	A23
S1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,535	0,305	0,159	0,158	0,319	0,203	0,206	0,159	0,000	0,152	0,150	0,125
S2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,074	0,038	0,039	0,076	0,050	0,059	0,038	0,000	0,044	0,045	0,058
S3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,084	0,052	0,022	0,021	0,044	0,035	0,032	0,022	0,000	0,023	0,026	0,029
S4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,042	0,017	0,018	0,035	0,026	0,020	0,017	0,000	0,017	0,016	0,022
S5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,043	0,023	0,011	0,012	0,023	0,017	0,014	0,011	0,000	0,012	0,010	0,014
A42	0,050	0,066	0,066	0,050	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,083	0,062	0,250	0,000	0,000	0,000
A31	0,150	0,133	0,133	0,150	0,160	0,000	0,000	0,250	0,250	0,500	0,222	0,250	0,187	0,000	0,250	0,250	0,250
A12	0,063	0,051	0,063	0,066	0,051	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	0,000	0,000	0,062	0,000	0,000	0,000	0,083
A13	0,024	0,020	0,024	0,019	0,020	0,000	0,000	0,000	0,026	0,000	0,111	0,111	0,000	0,000	0,083	0,062	0,000
A11	0,111	0,127	0,111	0,113	0,127	0,000	0,000	0,250	0,159	0,000	0,222	0,222	0,187	0,750	0,166	0,187	0,166
A33	0,034	0,051	0,051	0,042	0,049	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A41	0,145	0,127	0,127	0,140	0,130	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A32	0,020	0,020	0,020	0,016	0,019	0,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
O1	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A22	0,010	0,063	0,061	0,066	0,066	0,000	0,000	0,187	0,187	0,000	0,000	0,000	0,080	0,000	0,000	0,083	0,063
A21	0,032	0,024	0,021	0,019	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,250	0,000	0,018
A23	0,059	0,111	0,116	0,113	0,113	0,000	0,000	0,062	0,062	0,000	0,000	0,000	0,146	0,000	0,000	0,166	0,167

Table 7. Limit matrix

Criteria	S1	S2	S3	S4	S5	A42	A31	A12	A13	A11	A33	A41	O1	A32	A22	A21	A23
S1	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168	0,168
S2	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048	0,048
S3	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026
S4	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
S5	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
A42	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039	0,039
A31	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179
A12	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028
A13	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017
A11	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133	0,133
A33	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
A41	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038
A32	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095	0,095
O1	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055
A22	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046	0,046
A21	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022
A23	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051	0,051

Using the obtained data, the unweighted supermatrix of the ANP model was constructed, and then the weighted supermatrix was obtained by taking the cluster weights into account. In the final stage, by taking the powers of the weighted supermatrix, the limit supermatrix was calculated, and the final priority values of the alternative charge arrangement scenarios were determined. Thus, the charge arrangement sequence that provides minimum energy consumption and optimum melting performance was identified. Table 8 shows the final priority of the charge arrangement.

Table 8. Charge arrangement final priorities

Charge arrangement scenario	Final weights
S1	0.6109
S2	0.1745
S3	0.0945
S4	0.0727
S5	0.0473

Based on the ANP analysis results, scenario S1 (Steel Scrap + Pig Iron + Returns + Metal Chips + Ferroalloy) was determined to be the most suitable charge arrangement in terms of reducing energy consumption and increasing melting performance. The primary reason for this result is that ensuring efficient initial electromagnetic coupling in high-frequency induction furnaces has a decisive effect on melting efficiency. Positioning the steel scrap, which makes up approximately 45% of the charge, at the bottom of the furnace increases the interaction with the electromagnetic field, contributing to more effective energy transfer to the charge and accelerating the initial melting process. The pig iron located on top of the steel supports the formation of the initial liquid metal bath thanks to its relatively lower melting point and reduces the melting process duration. Positioning the returns scrap in the intermediate layer helps maintain the compactness of the charge structure, assists in the controlled collapse of the materials, and reduces irregularities that may occur during melting. Placing the metal chips in the upper layers limits oxidation losses that could arise from their high surface area. Adding ferroalloys at the very top of the charge or after the liquid bath has formed increases alloy efficiency by reducing the loss of alloying elements through oxidation and combustion at high temperatures. For these reasons, scenario S1 was evaluated to be more advantageous than the other scenarios in terms of electromagnetic coupling efficiency, initial liquid bath formation time, melting performance, and the reduction of alloy losses, and it was identified as the most suitable alternative for minimizing energy costs by receiving the highest priority value in the ANP results.

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, induction furnace energy efficiency, which is of critical importance in terms of sustainable production and reducing operational costs in industrial casting facilities, has been addressed from a multi-criteria perspective. The effect of the arrangement sequence of charge materials inside the furnace on energy performance in a high-frequency induction furnace was analyzed using the Analytic Network Process (ANP) method.

Four main criteria were used in the creation of the decision model: energy performance, physical properties, operational suitability, and economic factors. As a result of expert evaluations, it was determined that the energy performance criterion has the highest importance

in the decision-making process. When the sub-criteria were examined, specific energy consumption, melting time, and material density were seen to be the most influential factors on the final decision. This situation shows that energy efficiency in induction furnaces is largely related to the electromagnetic coupling properties of the charge materials and their layout order inside the furnace.

In the study, keeping the charge composition constant (45% steel scrap, 35% pig iron, 10% returns scrap, 7% metal chips, and 3% ferroalloy), the effects of different loading sequences on melting performance were evaluated. As a result of the analyses performed, it was determined that scenario S1, where steel scrap is placed at the bottom and other materials are arranged with a specific strategy, is the most efficient charge arrangement with a final priority value of 0.6109. The obtained results show that not only the chemical compositions of the charge materials but also their arrangement sequence inside the furnace have a significant impact on energy consumption and melting performance. The study revealed that system efficiency can be increased throughout the facility solely with an appropriate charge arrangement strategy, without requiring any additional equipment investment or technological renewal.

Another important output of the study is that it reveals the ANP method is an effective tool in solving multi-criteria decision-making problems in melting processes. Thanks to the method, technical, operational, and economic factors could be evaluated within the same model, and mutual dependencies between criteria could be analyzed. The findings obtained serve as a practical guide for foundry managers and process engineers, providing a scientific basis for making operational decisions aimed at minimizing energy costs.

In future studies, it is recommended to validate the proposed charge arrangement through melting experiments to be carried out on an industrial scale, and to perform similar analyses for different furnace capacities and different charge compositions. Additionally, the ANP method can be used in greater detail to examine the relationships between energy consumption, melting time, and alloy yield by integrating it with real production data. Furthermore, it is planned to analyze scenarios created with different charge arrangements using various MCDM methods commonly used for ranking in the literature and to compare them with the current results.

REFERENCES

Albayrak, Ö. K. (2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesinde kullanılan çok kriterli karar verme teknikleri ve değerlendirme kriterlerinin incelenmesi: 2017-2020. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 34(4*), 1287-1310.

Bilgiç, S., Torğul, B., & Paksoy, T. (2021). Sürdürülebilir enerji yönetimi için BWM yöntemi ile yenilenebilir enerji kaynaklarinin değerlendirilmesi. Verimlilik Dergisi, (2), 95-110.

Dağlı, N., & Cengiz, U. (2019). İndüksiyon ocaklarında enerji denkliği. 7. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (EFRS), İzmir, Türkiye.

Davies, E. J. (1990). The theory and practice of induction heating. Chapman & Hall.

İncekara, Ç. Ö. (2020). Bulanık mantık ile sanayii sektöründe ISO 50001 enerji yönetim sistemi uygulaması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20(6), 991-1013.

Otsukarcı, A. L. (2014). İndüksiyon ergitmede verimlilik artışında yeni gelişmeler. 7. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi, 11 – 13 Eylül 2014, TÜYAP, İstanbul, Türkiye.

Özcan, E. C., Ünlüsoy, S., & Eren, T. (2017). ANP ve TOPSIS yöntemleriyle Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 204-219.

Özcan, N. A., Bulut, M., Özcan, E. C., & Eren, T. (2022). Enerji üretim yatırım alternatiflerinin değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin istatistiksel ve analitik olarak karşılaştırması: Türkiye örneği. Politeknik Dergisi, 25(2), 519-531.

Rao, R. V. (2007). *Decision making in the manufacturing environment: using graph theory and fuzzy multiple attribute decision making methods.* London: Springer London.

Saaty, T. L., (1996). Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications: Pittsburgh, PA.

Saaty, T. L. (2001). Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. (2nd ed.). *RWS Publications*.

Şahin, Y., Kasap, S. S., Özkan, E., & Demirağaç, G. (2021). Çok Kriterli Karar Vermede Ağırlıklandırma Yöntemlerinin Karar Üzerindeki Etkisi: AHS ve AAS Kıyaslaması. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 10(3),* 1841-1860.

Teker, S., Azkeskin, S. A., & Aladağ, Z. (2024). Enerji sürdürülebilirliğinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile ölçülmesi ve Copeland yöntemi ile bütünleştirilmesi: OECD ülkeleri üzerine bir çalışma. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 20(4), 871-895.

Tzeng, G. H., Huang, J. J., (2011). Multi Attribute Decision Making: Methods and Applications, CRC Press, ISBN: 978-1-4398-6157-8, USA.

Zinn, S., & Semiatin, S. L. (1988). Elements of induction heating: Design, control, and applications. ASM International.

OTOMOTİV YAN SANAYİ İÇİN KARAR DESTEK YAKLAŞIMI: KARMA TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA İLE TEDARİKÇİ SEÇİMİ VE OPTİMİZASYONU

Ayşenur KESKİN
Kocaeli University, Institute of Natural Sciences, Department of Engineering Management, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0008-6372-976X
Ayşe ŞEDİT
Kocaeli University, Institute of Natural Sciences, Department of Engineering Management, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0008-3835-7108
Doç. Dr. Yıldız ŞAHİN
Kocaeli University, Faculty of Engineering, Department of Industrial Engineering, 41001 İzmit, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-6283-5340

ÖZET

Küreselleşen pazarlardaki çetin rekabet koşulları, otomotiv yan sanayinde tedarik zinciri yönetimini stratejik bir konuma getirmektedir. Üretim maliyetlerini düşürmek, kaliteyi korumak ve teslimatları zamanında gerçekleştirmek için doğru tedarikçi seçimi hayati önem taşır. Bu çalışma, otomotiv yan sanayi sektöründe karşılaşılan karmaşık tedarikçi seçimi ve sipariş tahsisi problemine yönelik olarak geliştirilen bir Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP) modeli aracılığıyla, karar verme süreçlerine sistematik, esnek ve analitik bir yaklaşım sunmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, yıllık 4.250.000 adet alt parça tedarik etmesi gereken bir otomotiv ana tedarikçi firmasının gerçek üretim verileri temel alınmış ve beş alternatif tedarikçi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Tedarikçi değerlendirme sürecinde birim satın alma maliyeti, tedarikçi üretim kapasitesi, minimum kalite/fire oranı, teslimat güvenilirliği ve teslim süresi gibi hem teknik hem de operasyonel performans kriterleri model kısıtları olarak tanımlanmıştır. Toplam maliyeti minimize etmeyi hedefleyen model, Excel Solver ve GAMS yazılımları ile çözdürülmüştür. Çözüm sonucunda; T3 yüksek kalıp maliyeti ve düşük güvenilirlik skoru nedeniyle, T2 ve T5 ise yüksek gönderim maliyetleri ve teslim süresi kısıtları sebebiyle elenmiştir. Tüm kısıtları karşılayan T4; 0,50 € birim fiyatı, 8.500 € kalıp maliyeti, 170 € gönderim gideri ve 92 güvenilirlik skoruyla tekil optimum tedarikçi seçilmiştir. Haftalık minimum toplam maliyet 51.170 € olarak hesaplanmıştır. Gelişmiş duyarlılık analizlerinde parametre değişimleri incelenmiştir. Tedarik riskini dağıtmaya yönelik çoklu tedarikçi senaryolarında; en uygun iki tedarikçili kombinasyon (T1, T4) 59.820 €, üç tedarikçili kombinasyon (T1, T2, T4) ise 70.120 € maliyet üretmiştir. Elde edilen sonuçlar, yalnızca en düşük maliyet sunan tedarikçiye odaklanmak yerine; kalite, zamanında teslimat ve kapasite uygunluğu gibi operasonel kısıtları dengeli şekilde harmanlayan optimum tedarikçi karmasını ve sipariş miktarlarını belirlemiştir. Geliştirilen bu yaklaşımın, otomotiv işletmelerinin stratejik satın alma kararlarında etkin bir karar destek mekanizması olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Tedarikçi seçimi, otomotiv yan sanayi, Karma Tamsayılı Doğrusal Programlama (MILP), optimizasyon, GAMS.

A DECISION SUPPORT APPROACH FOR AUTOMOTIVE SUPPLIER INDUSTRY: SUPPLIER SELECTION AND OPTIMIZATION VIA MIXED-INTEGER LINEAR PROGRAMMING

ABSTRACT

Intense competitive conditions in globalized markets place supply chain management in a strategic position within the automotive supplier industry. Selecting the right supplier is of vital importance to reduce production costs, maintain quality, and achieve on-time deliveries. This study aims to provide a systematic, flexible, and analytical approach to decision-making processes through a Mixed-Integer Linear Programming (MILP) model developed for the complex supplier selection and order allocation problem faced in the automotive supplier sector. The study is based on real production data from an automotive primary supplier that needs to procure 4,250,000 sub-components annually, and five candidate suppliers were analyzed in detail. Technical and operational performance criteria—such as unit purchasing cost, supplier production capacity, minimum quality/defect rate, delivery reliability, and lead time—were defined as model constraints in the supplier evaluation process. Aiming to minimize the total cost, the model was solved using Excel Solver and GAMS software. As a result of the solution, T3 was eliminated due to high tooling costs and a low reliability score, while T2 and T5 were eliminated owing to high shipping costs and lead time constraints. T4, satisfying all constraints, was selected as the sole optimal supplier with a unit price of €0.50, a tooling cost of €8,500, a shipping cost of €170, and a reliability score of 92. The minimum weekly total cost was calculated as €51,170. Parameter variations were examined through advanced sensitivity analyses. In multi-supplier scenarios aimed at mitigating supply risk, the most suitable two-supplier combination (T1, T4) generated a cost of €59,820, whereas the three-supplier combination (T1, T2, T4) resulted in €70,120. The obtained results demonstrate that rather than focusing solely on the supplier offering the lowest cost, determining an optimal supplier mix and order allocation that effectively balances operational constraints—such as quality, on-time delivery, and capacity suitability—is essential. It is evaluated that this developed approach can serve as an effective decision support mechanism in the strategic purchasing decisions of automotive enterprises.

Keywords: Supplier selection, automotive supplier industry, Mixed-Integer Linear Programming (MILP), optimization, GAMS.

1. INTRODUCTION

Globalization, rapid changes in supply chain dynamics, and the increasing competitive environment driven by technological developments prompt industrial firms to produce quality products at the lowest cost, with high flexibility, and just-in-time. In today's modern production ecosystems, the ability of manufacturers to maintain their competitive power and rapidly adapt to market fluctuations largely depends on the efficiency of the supply chain network. Accordingly, supplier selection is a highly complex and strategic decision-making process that requires multiple quantitative and qualitative criteria—such as quality, cost, delivery time, production capacity, and operational reliability—to be considered simultaneously (Ho et al., 2010). Especially in the automotive sector, where value addition is high, customer expectations are based on strict quality standards, and operational disruptions can cause irreparable costs, proper supplier selection is of vital importance not only for providing unit cost and quality advantages but also in terms of production continuity, risk management, and customer satisfaction.

Traditional supplier selection approaches often fall short in today's competitive industrial environment because they typically focus on a single dimension such as cost. Therefore, in literature and industrial applications, Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods, which allow many qualitative and quantitative criteria to be handled simultaneously, play a critical role (Awatshi et al., 2018; Şahin and Bozkurt, 2021; Haricha et al., 2025). MCDM methods such as the Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP), TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, and PROMETHEE are frequently preferred in supplier selection processes (Coşkun et al., 2019; Feng et al., 2019; Çalık, 2017; Govindan et al., 2015). These methods enable decision-makers to achieve a rational and balanced compromise among conflicting criteria such as cost, quality, delivery performance, and flexibility.

The multidimensional and complex structure of the supplier selection process causes traditional heuristic methods to remain inadequate, directing businesses toward analytical, numerical, and optimizable approaches. In the literature, advanced mathematical modeling and optimization methods such as Linear Programming, Goal Programming, and Mixed Integer Linear Programming (MILP) are frequently utilized to solve this problem (Ho et al., 2010; Tuzkaya et al., 2016; Khalilzadeh and Derikvand, 2018; Özkan, 2021; Pamuk and Şahin, 2021). These aforementioned operational research and optimization models provide significant contributions to determining the most suitable supplier portfolio rationally and minimizing potential supply chain risks by evaluating different and conflicting criteria—such as capacity limits, discount structures, suppliers' minimum order quantities, and quality compliance rates—within a rational framework (Govindan et al., 2015).

In this study, the supplier selection and order quantity optimization problem under real-world conditions for a leading automotive subcontractor firm with a high-volume part requirement of 4,250,000 units annually has been addressed; an integrated MILP-based decision support model has been developed by comprehensively considering multiple constraints such as minimum order quantity constraints, unit costs, delivery times, supplier capacities, mold investment costs, logistic shipping costs, and past performance reliability. It is aimed that the implementations and analyses carried out will make significant theoretical and practical contributions to supplier selection studies that handle realistic operational constraints and volume optimization together, specifically regarding the Turkish automotive supply industry.

2. RESEARCH AND FINDINGS

In this study, the Mixed Integer Linear Programming method was used for the supplier selection problem. The established mathematical model was solved in Excel Solver and GAMS software to determine the most optimal supplier.

2.1. Objective of the Study

The primary objective of the study is to develop a mathematical model that provides a systematic and numerically-based approach for decision-makers regarding the supplier selection problem in the automotive sector. Accordingly, it is aimed to contribute to making effective and efficient decisions in supply chain management by establishing a decision support system that enables the evaluation of suppliers according to determined criteria.

2.2. Data collection method

Within the scope of supplier selection in the automotive subcontracting firm, the companies capable of providing the part and the criteria prioritized in the purchasing process were determined. The dataset formed based on the information obtained from the suppliers is presented in Table 1.

Table1. Technical and economic inputs of suppliers.

Supplier	Unit Price (€)	Tooling Cost (€)	Shipping Cost (€)	Raw Material (€/kg)	Reliability (r)	Minimum Order (units)	Maximum Capacity (units)
T1	0,52	8.000	150	3,1	90	25.000	50.000
T2	0,54	9.000	200	3,25	88	40.000	120.000
T3	0,56	10.000	180	3,15	83	60.000	95.000
T4	0,5	8.500	170	3,05	92	55.000	105.000
T5	0,53	9.500	160	3,18	87	45.000	110.000

2.3. Mathematical Model

The model was developed using a Mixed Integer Programming approach utilizing continuous (x_i) and binary (y_i) variables. The objective function minimizes unit price, tooling, and shipping costs, while taking into account constraints such as minimum order quantity, capacity, delivery time, reliability, and raw material price.In this study, it is aimed to determine the most suitable supplier among 5 suppliers to meet the part requirement of 85,000 units weekly and a total of 21,250,000 units over 5 years. Data regarding the suppliers are presented in Table 2.

Table 2. Cost, capacity, and reliability data of suppliers

Supplier	Min Order Quantity	Max Capacity (units)	Unit Price (€/unit)	Lead Time (weeks)	Tooling Cost (€)	Raw Material Price (€/kg)	Shipping Cost (€)	Reliability Score
T1	25.000	100.000	0,52	10	8.000	3,1	150	90
T2	40.000	120.000	0,54	12	9.000	3,25	200	88
T3	60.000	95.000	0,56	14	10.000	3,15	180	83
T4	55.000	105.000	0,5	11	8.500	3,05	170	92
T5	45.000	110.000	0,53	13	9.500	3,18	160	87

Model Parameters:

Symbol	Description	Unit/Value
N	Number of suppliers	N = 5
D	Total part requirement	21.250.000 units
d_{annual}	Annual requirement	4.250.000 units
d_{weekly}	Weekly requirement	85.000 units
p_i	Unit price of supplier i	€/ units
c_i	Maximum capacity of supplier i	units
m_i	Minimum order quantity of supplier i	units
t_i	Lead time of supplier i	week
k_i	Tooling cost of supplier i	€
h_i	Raw material price of supplier i	€/kg
g_i	Shipping cost of supplier i	€
r_i	Reliability score of supplier i	%

• **Decision Variables:**
x_i: Total part quantity to be purchased from supplier i (continuous variable)
$y_i \in \{0,1\}$: Is supplier i selected? (binary variable)
• **Objective Function:**
Minimize total cost (unit price + tooling + shipping):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{N} (p_i \cdot x_i + k_i \cdot y_i + g_i \cdot y_i)$$

• **Constraints:**
1. Total demand must be met:

$$\sum_{i=1}^{N} x_i = D \quad \left(\sum_{i=1}^{5} x_i = 21.250.000\right)$$

2. Minimum order quantity:

$$x_i \geq m_i \cdot y_i \quad \forall i$$

3. Only 1 supplier will be selected:

$$\sum_{i=1}^{5} y_i = 1$$

4. Maximum capacity:

$$x_i \leq c_i \cdot y_i \quad \forall i$$

5. Unit part price limit:

$$p_i \leq 0.55 \quad \forall i \text{ for } y_i = 1 \Longrightarrow y_i \cdot p_i \leq 0.55 \cdot y_i$$

6. Lead time preference:

$$\sum_{i=1}^{N} t_i \cdot y_i \leq T_{max} \text{ (e.g., 13 weeks)}$$

7. Total tooling cost limit:

$$\sum_{i=1}^{5} k_i \cdot y_i \leq 10.000$$

8. Reliability score constraint:

$$r_i \cdot y_i \geq 85 \quad \forall i \Longrightarrow r_i \geq 85 \text{ for } y_i = 1$$

9. Unit price average is below target:

$$\sum_{i=1}^{5} \text{pi. yi} \leq 0.55\text{x}21.250.000 = 11.687.500$$

2.4. 2.4. Excel Model Summary:
The model was formulated using a Mixed Integer Programming approach utilizing continuous (x_i) and binary (y_i) variables. The objective function aims to minimize the total cost

while ensuring that the specified constraints are satisfied. Data regarding the suppliers that meet and do not meet the constraints are marked and shown in Table 3.

Table 3. Supplier alternatives: cost, capacity, and suitability indicators

Supplier	Min Order Quantity	Max Capacity (units)	Unit Price (€/unit)	Lead Time (weeks)	Tooling Cost (€)	Raw Material Price (€/kg)	Shipping Cost (€)	Reliability Score
T1	25.000	100.000	0,52	10	8.000	3,10	150	90
T2	40.000	120.000	0,54	12	9.000	3,25 X	200	88
T3	60.000	95.000	0,56 X	14 X	10.000	3,15	180	83 X
T4	55.000	105.000	0,50 ✓	11	8.500	3,05	170	92 ✓
T5	45.000	110.000	0,53	13 X	9.500	3,18 ✓	160	87 ✓

Although T1 (€8,000) and T4 (€8,500) appear favorable in terms of tooling costs, when shipping cost and unit price criteria are evaluated together, it is observed that T4 is the only supplier satisfying all cost constraints. T4's tooling cost is €8,500, shipping cost is €170, reliability score is 92, and raw material price is €3.05/kg, all of which are within the specified limits. The other suppliers were eliminated due to exceeding the tooling cost or shipping cost limits. Supplier parameters and the inputs of the model implemented in Excel are shown in Table 4.

Table 4. Supplier parameters and model inputs

Supplier	x_i	y_i	p_i	k_i	g_i	h_i	r_i	m_i	c_i
T1			0.52	8.000	150	3.10	90	25.000	50.000
T2			0.54	9.000	200	3.25	88	40.000	120.000
T3			0.56	10.000	180	3.15	83	60.000	95.000
T4	85.000	1	0.50	8500	170	3.05	92	55.000	105.000
T5			0.53	9500	160	3.18	87	45.000	110.000

2.5. Solution with GAMS Software

The model was solved in the GAMS software, and the variables, constraints, and necessary data were defined. The GAMS output showing the selected supplier and the minimum total cost as a result of the solution is presented in Figure 1.

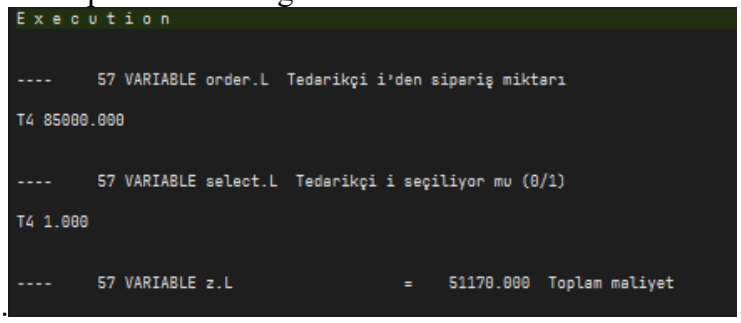


Figure 1. Results of the GAMS software

As seen in Figure 1, the same results were reached in the problem solved with GAMS, and Supplier 4 was selected. The minimum cost was found to be €51,170.

2.6. Sensitivity Analysis

A sensitivity analysis was conducted to determine the impact of changes in unit price, tooling, and shipping costs on the optimal solution. Within this scope, the effects of changes in unit price, shipping cost, and the number of suppliers on the optimal supplier selection were examined.

2.6.1. Sensitivity Analysis Based on Unit Price

Summary of the current optimal solution:

- Selected Supplier: T4
- T4's Unit Price (p_1): €0,50
- T4's Tooling Cost: €8.500
- T4's Shipping Cost: €170
- Weekly Product Demand (x_1): 85.000

Along with these parameters, the total cost belonging to the objective function of the model was calculated as follows:

Total Cost = $(85.000 \times 0{,}50) + 8.500 + 170 = 51.170\,€$

This solution is the optimal solution that minimizes the total cost while satisfying the specified constraints. Within the scope of the sensitivity analysis, the effect of increases in T4's unit price and decreases in other suppliers' prices on the optimal supplier selection was examined.

2.6.1.1. What Happens If T4's Unit Price Increases?

The objective of the model is to determine the most suitable supplier to meet the demand while minimizing the total cost. With the increase of T4's unit price from €0,50 to €0,55, its total cost rose to €55,420, making T1 with a cost of €52,350 more advantageous. Therefore, the optimal solution changed to T1. The GAMS solution result is shown in Figure 2.

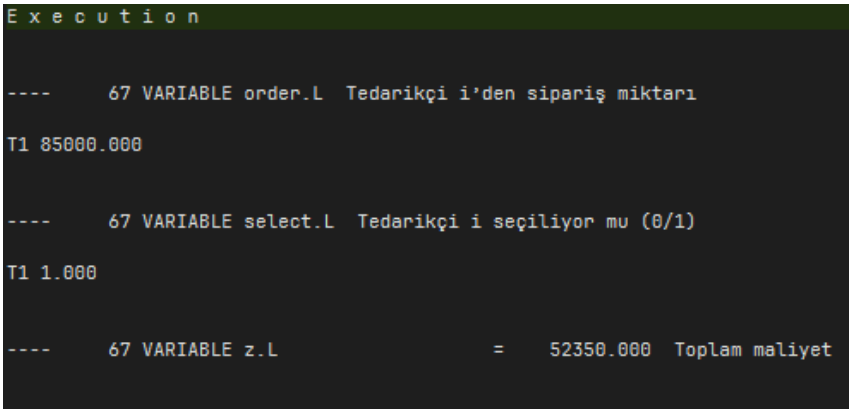


Figure 2. GAMS result of the change in T4's unit cost

While keeping T4's unit price constant, price discounts of other suppliers were examined. Reducing T1's price to €0,50 and T5's price to €0,49 made these suppliers optimal, whereas T3 became optimal only when its lead time was reduced to 13 weeks and its unit price to €0,47. The results demonstrate that price, along with cost and operational constraints, should be evaluated together in supplier selection.

2.6.2 Flexibility of the number of suppliers: 2 or 3 supplier selection constraint

To obtain realistic and feasible solutions, the number of suppliers to be selected in the supplier selection model was restricted to a minimum of 2 and a maximum of 3:

$$2 \leq \sum_{i=1}^{5} yi \leq 3$$

Here, y_i represents the binary decision variable indicating whether supplier i is selected or not. This approach is important for reducing supply risk and ensuring supply continuity through resource diversification.

In the model, pre-filtering was performed based on reliability and cost criteria; suppliers with a reliability score below 85% or a unit price above €0,55 were excluded from the model. Thus, suppliers suitable in terms of quality and cost were taken into evaluation.

2.6.3. Evaluation of supplier combinations

Following pre-filtering, dual and triple combinations of eligible suppliers were analyzed in terms of technical suitability and total cost under constraints of a maximum lead time of 13 weeks, minimum order, and maximum capacity. Within this scope, the optimal distribution of the 85,000-unit demand among suppliers was determined using the Mixed Integer Programming (MIP) model.

2.6.4. T1 and T4 supplier combination analysis

An order of 25,000 units was placed from T1, and 60,000 units from T4. The total cost for T1 was calculated as €28,950, and for T4 as €31,170. The total cost of this combination is €50,177, which is the lowest cost among the two-supplier options. Therefore, T1 and T4 can be preferred together.

Table 5. T1 and T4 supplier combination

Supplier	Unit Price (€)	Tooling Cost (€)	Shipping Cost (€)	Decision (y_i)	Quantity (x_i)	Total Cost (€)
T1	0,52	8.000	150	0	40.000,00	
T4	0,5	8.500	170	0	45.000,00	
					Total	50.177 €

The analysed two-supplier combinations and total cost results are presented in Table 6.

Table 6. Two-supplier scenario final comparison

Two-Supplier Scenarios	Total Cost (€)
(T1, T2)	€ 62.350,00
(T1, T4)	€ 59.820,00
(T1, T5)	€ 62.410,00
(T2, T4)	€ 61.970,00
(T2, T5)	€ 64.310,00
(T4, T5)	€ 62.030,00

2.6.5. Cost Effectiveness and Optimal Combinations:
In the two-supplier scenario, the lowest total cost was achieved with the (T1, T4) combination at €59,820. This combination provides an advantage in terms of unit and tooling costs while offering a suitable alternative in terms of supply security.

2.6.6. The Impact of Supplier Characteristics on Cost:
The inclusion of T4 in the optimal combination indicates that it positively contributes to the total cost thanks to its low unit price (€0,50) and reasonable tooling cost. Other suppliers, such as T1 and T2, contribute to the model with their competitive prices and capacity potentials. Although shipping costs are included in the model, it is observed that tooling and unit costs are more decisive in the total cost.

2.6.7. High-Cost Combinations:
The (T2, T5) and (T4, T5) combinations turned out to be more costly compared to other combinations, with total costs of €64,310 and €62,030, respectively. The main reason for this is that T5's tooling cost (€9,500) and unit price (€0,53) are slightly higher compared to other suppliers. This situation reveals that supplier selection depends on a balanced evaluation of fixed and variable costs.

2.6.8. Supplier Selection and Risk Management:
Compared to a single supplier, the two-supplier model reduces supply risk while offering more flexible and viable solutions when capacity and minimum order quantities are taken into account. As a result of the analysis, the (T1, T4) combination provided the most optimal balance between cost-effectiveness and supply continuity.
The model created in the GAMS software for two-supplier selection was solved, and as a result, suppliers T1 and T4 were selected. The solution results of the program are presented in Figure 4.

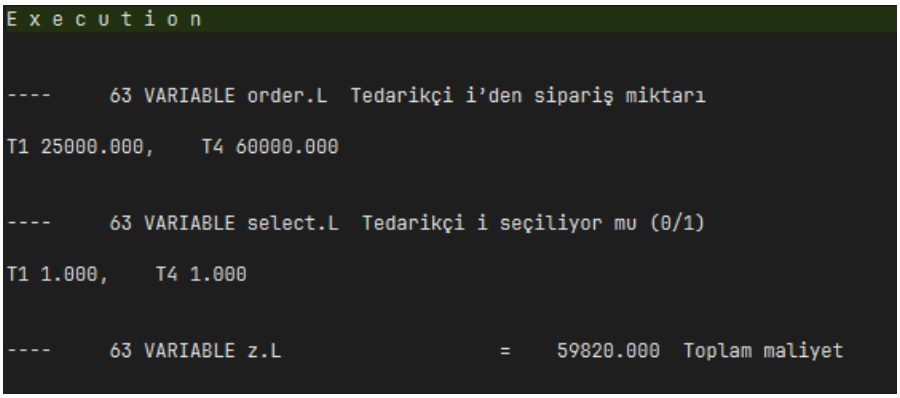


Figure 4. Two-Supplier GAMS Solution

2.7. Three-Supplier Scenario Analysis and Comparison with the Two-Supplier Mode
In the second phase of the study, triple combinations were analyzed by increasing the number of suppliers. Considering the minimum order quantities of the three suppliers, since the weekly demand constraint of 85,000 units was exceeded, this value was relaxed to 110,000 units.
In this scenario, orders of 25,000 units were placed from T1, 40,000 units from T2, and 45,000 units from T5, and the total cost was calculated as €85,460. Because T5's tooling and shipping costs are higher than T4's, the (T1, T2, T4) combination was found to be more advantageous in

terms of cost. However, the (T1, T2, T5) combination can be evaluated in terms of flexibility and other operational factors. Data regarding the triple combination are presented in Table 7.
..

Table 7. Data for Suppliers T1, T2, and T5

Supplier	Unit Price (€)	Tooling Cost (€)	Shipping Cost (€)	Decision (y_i)	Quantity (x_i)	Total Cost (€)
T1	0,52	8.000	150	0	30.000,00	23.750
T2	0,54	9.000	200	0	25.000,00	22.700
T5	0,53	9.500	160	0	30.000,00	25.560
					Total	€ 72.010,00

The solution to the problem, where the number of suppliers is limited to three, was performed in the GAMS program, and the results are shown in Figure 5.

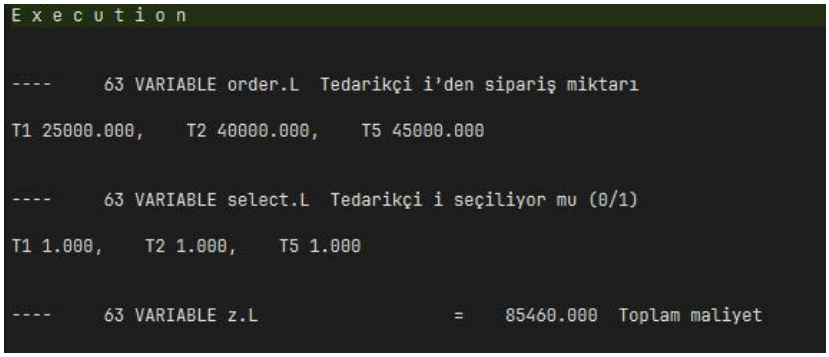


Figure 5. Three-Supplier Model GAMS Solution

As shown in Table 8, the total costs of four different three-supplier combinations are as follows:

Table 8. Three-Supplier Scenarios

Scenarios	**Total Cost (€)**
T1 + T2 + T4	70.120
T1 + T2 + T5	72.010
T1 + T4 + T5	70.330
T2 + T4 + T5	71.930

The results show that three-supplier combinations have higher total costs compared to two-supplier combinations. Even the most optimal triple combination, (T1, T2, T4), is approximately €10,000 more expensive than the best two-supplier combination, (T1, T4). The main reason for this increase is the tooling and shipping costs incurred separately for each supplier.
However, the operational and strategic benefits of the three-supplier model should not be ignored:
• **Risk management:** Increasing the number of suppliers helps maintain the continuity of the production line against disruptions that may occur with any supplier.

• **Flexibility:** The flexible quantity distribution provided by different suppliers enables a faster response to market fluctuations and unexpected demands.
• **Reduction of supplier dependency:** Relying on one or two suppliers can create vulnerability in the supply chain; this dependency is reduced with three suppliers.
While two-supplier combinations are more advantageous in terms of cost minimization, three-supplier models provide advantages in terms of supply continuity, risk management, and operational flexibility. Therefore, the balance between cost and supply security must be taken into account when determining the number of suppliers.
Although selecting three suppliers together distributes supply risk, high tooling and shipping costs can increase the total cost. Furthermore, even when the same raw materials are used, quality differences among suppliers can pose an additional risk. Therefore, increasing the number of suppliers does not provide a more advantageous solution in every case.
Finally, the model was resolved by removing the supplier count constraint. As a result of removing the constraint, supplier T4 was selected, and the total cost was obtained as €51,170. The GAMS solution results are presented in Figure 6.

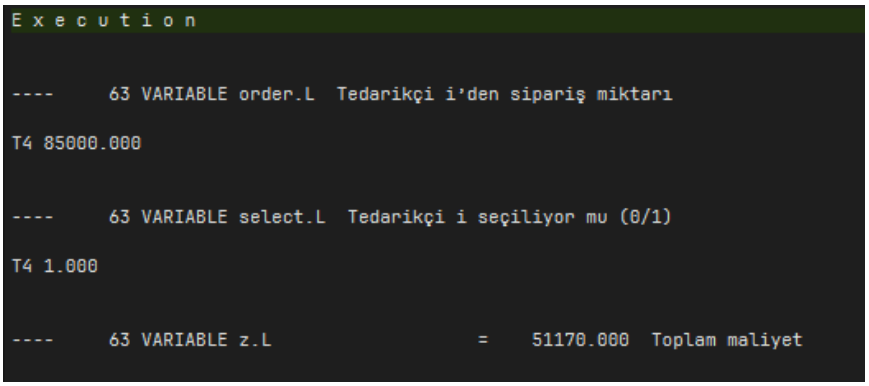


Figure 6. GAMS Solution Without Supplier Count Constraint

3. RESULTS AND DISCUSSION

During the modeling process, suppliers were evaluated based on technical and economic criteria such as tooling cost, shipping cost, reliability score, unit price, and lead time. In the analyses performed, suppliers exceeding the established limits were eliminated, and sensitivity analyses were conducted on the model parameters, with particular consideration given to tooling and shipping costs.
As a result of the evaluation, T3 was deemed unsuitable due to a tooling cost of €10,000 and a reliability score of 83; T2 and T5 were also found unsuitable due to shipping costs of €200 and €160, respectively. T4, which satisfies all constraints, was determined as the sole suitable supplier. T4's tooling cost of €8,500, shipping cost of €170, reliability score of 92, and unit price of €0.50 are within the specified limits, and it has the capacity to meet the order of 85,000 units. The technical and economic characteristics of the optimal supplier are presented in Table 9.

Table 9. Technical and Economic Summary of the Selected Supplier

Selected Supplier	Supply Quantity (units)	Unit Price (€/unit)	Tooling Cost (€)	Shipping Cost (€)	Reliability Score	Raw Material Price (€/kg)	Total Cost (€)
T4	85.000	0,50	8.500	170	92	3,05	51.170

The total cost was calculated as follows:
Total Cost = (85,000 × 0.50) + (8,500 × 1) + (170 × 1) = €51,170
As a result of the Mixed-Integer Programming model, taking technical, financial, and operational constraints into account, Supplier 4 was determined as the most optimal option. The minimum total cost was calculated as €51,170, and the results were found to be consistent with marketplace/GAMS solution. The GAMS outputs are presented in Figure 2, while the results regarding the selection of Supplier 4 are presented in Figure 7 and Figure 8.

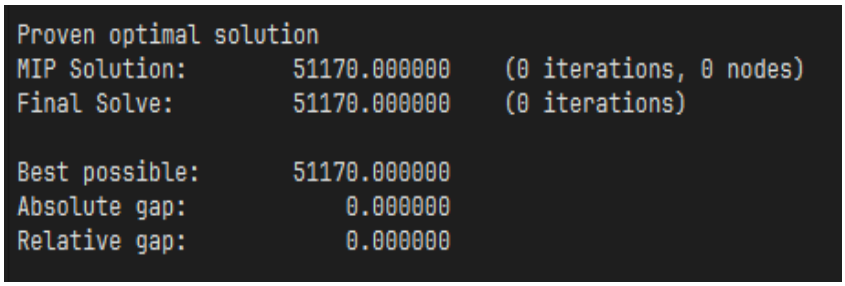


Figure 7. GAMS Optimal Solution Output

As seen in Figure 7, the minimum cost is €51,170. It is observed that the solution was found in the first iteration.

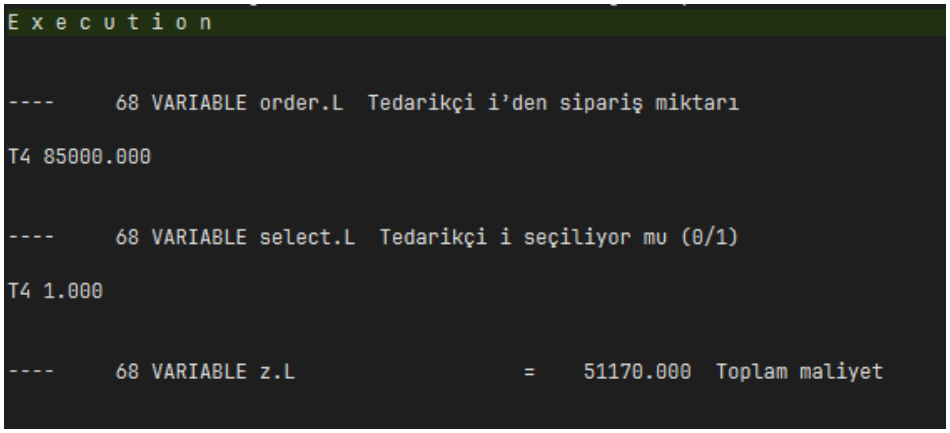


Figure 8. GAMS Output

Figure 8 shows the selection of supplier T4, the assignment result, and the obtained total cost. Within the scope of sensitivity analyses, the effects of changes in unit price and the number of suppliers on the optimal solution were examined. The findings showed that T4 maintained its competitive position despite certain price increases, but when a specific threshold was exceeded, particularly T1 and T5 were able to become optimal by offering lower total costs. T3, on the other hand, could not be included in the solution despite price improvements due to other constraints such as lead time.
The results reveal that criteria such as tooling and shipping costs, lead time, reliability, and capacity should be evaluated together with the unit price in supplier selection. In the analysis conducted by removing the supplier count constraint, selecting T4 as the single supplier was the most appropriate solution in terms of cost. While two- and three-supplier models reduce supply risk, increasing tooling and shipping costs raise the total cost. Therefore, while T4 stands out as the single supplier when cost minimization is the priority, multi-supplier models can be preferred in situations where supply continuity and risk management are prioritized.

REFERENCES

Awatshi, A., Govindan, K., & Gold, S. (2018). Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. *International Journal of Production Economics*(195), 106-117.

Coşkun, B., Yıldız, M., & Bayraktar, M. (2022). Sürdürülebilir tedarik zinciri yönetiminde tedarikçi değerlendirme kriterlerinin dematel yöntemiyle incelenmesi ve ahşap sektöründe bir uygulama. *Uluslararası Yönetim İktisat Ve İşletme Dergisi, 18*(2), 618-648.

Feng , Y., Zhang , Z., Tian, G., Fathollahi-Fard, A., Hao, N., Li, Z., et al. (2019). A Novel Hybrid Fuzzy Grey TOPSIS Method: Supplier Evaluation of a Collaborative Manufacturing Enterprise. *Applied Sciences, 9*(18), 3770.

Govindan, K., Rajendran, S., Sarkis, J., & Murugesan, P. (2015). Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection: a literature review. *Journal of Cleaner Production, 98*, 66-83.

Haricha, K., Khiat, A., Issaoui, Y., Bahnasse, A., & Ouajji, H. (2025). Strategic Supplier Selection in Advanced Automotive Production: Harnessing AHP and CRNN for Optimal Decision-Making. *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 16*(1), 512-524.

Ho, W., Xu, X., & Dey, P. (2010). Multi-criteria decision making approaches for supplier evaluation and selection: A literature review. *European Journal of Operational Research, 202*(1), 16-24.

Kabak, Ö. (2020-2021 Güz). İleri Yöneylem Araştırması Uygulamaları Tam Sayılı Programlama. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

Khalilzadeh, M., & Derikvand, H. (2018). A multi-objective supplier selection model for green supply chain network under uncertainty. *Journal of Modelling in Management, 13*(3), 605-625.

Özkan, H. (2021). Analitik hiyerarşi süreci ve hedef programlama kombinasyonu ile tedarikçi seçimi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 9*(123), 510-522.

Pamuk, K., & Şahin, Y. (2021). Otomotiv Sektöründe Hedef Programlama Yöntemi ile Tedarikçi Değerlendirmesi . *Akıllı Dönüşüme Yolculuk* (s. 815-830). içinde Artikel Akademi.

Li, N. (2013). A novel approach to supplier selection and order allocation in SMEs manufacturing networks (Doctoral dissertation, University of Birmingham).

Şahin, Y., & Bozkurt, Y. (2021). Multi-criteria decision support with SWARA and TOPSIS methods to the digital transformation process in the iron and steel industry. In Digitizing Production Systems: Selected Papers from ISPR2021, October 07-09, 2021 Online, Turkey (pp. 309-322). Cham: Springer International Publishing.

Tuzkaya, G., Kılıç, H., & Ağlan, C. (2016). A Multi-Objective Supplier Selection and Order Allocation Model for Green Supply Chains. *Journal of Management and Information Science, 4*(3), 87-96.

Türkoğlu, S. (2017). Karar vermede hedef programlama yöntemi ve uygulamaları. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 1*(2), 29-46.

ALZHEİMER HASTALIĞINDA POTANSİYEL BİR ASETİLKOLİNESTERAZ (AChE) İNHİBİTÖRÜ OLARAK DEMİR ŞELATÖRÜ DEFEROKSAMİNİN İN SİLİCO DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Semiha KÖPRÜ
Erciyes University, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Kayseri
Erciyes University, Technology Research and Application Center, Kayseri
ORCID ID: 0000-0002-2269-6980

ÖZET
Alzheimer hastalığı (AH), asetilkolinesterazın (AChE) semptomatik tedavide temel terapötik hedeflerden biri olduğu ilerleyici bir nörodejeneratif hastalıktır [1]. Klinik kullanım onayı bulunan bir demir şelatörü olan deferoksamin (DFO), demir aracılı oksidatif stresi azaltması ve nöronal hasarı sınırlandırması nedeniyle nöroprotektif özellikleriyle dikkat çekmektedir [2,3]. Bu çalışmada, deferoksaminin AChE ile etkileşimi ve Alzheimer hastalığındaki potansiyel terapötik rolü, *in silico* yaklaşımla araştırılmıştır. Bu kapsamda, Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT) kullanılarak molekülün geometrik optimizasyonu yapılmış, sınır moleküler orbitalleri (HOMO–LUMO), moleküler elektrostatik potansiyel (MEP) analizi ile elektronik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, molekülün farmakokinetik ve toksikolojik özellikleri ADMET analizleri ile değerlendirilmiştir. DFO'nun insan asetilkolinesterazı (**PDB ID: 4EY7**) ile bağlanma afinitesi ve moleküler etkileşimleri moleküler docking yöntemi ile araştırılmıştır. Docking analizi sonucunda DFO için **−8.2 kcal/mol**, referans inhibitör donepezil için ise **−10.9 kcal/mol** bağlanma afinitesi elde edilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen bulgular, deferoksaminin iyi bilinen demir şelatlama özelliğinin yanı sıra AChE ile de etkileşim kurabildiğini ve Alzheimer hastalığı için potansiyel çok hedefli (multitarget) bir terapötik aday olabileceğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Deferoksamin, Demir Şelatörü, Asetilkolinesteraz, Moleküler Docking, DFT

IN SILICO EVALUATION OF THE IRON CHELATOR DEFEROXAMINE AS A POTENTIAL ACETYLCHOLINESTERASE (AChE) INHIBITOR FOR ALZHEIMER'S DISEASE

ABSTRACT
Alzheimer's disease (AD) is a progressive neurodegenerative disorder in which acetylcholinesterase (AChE) is one of the primary therapeutic targets for symptomatic treatment [1]. Deferoxamine (DFO), a clinically approved iron chelator, has attracted considerable attention because of its neuroprotective properties, which are associated with reducing iron-mediated oxidative stress and limiting neuronal damage [2,3]. In this study, the interaction of deferoxamine with AChE and its potential therapeutic role in Alzheimer's disease were investigated using *in silico* approach. Density Functional Theory (DFT) calculations were performed to optimize the molecular geometry, and the electronic properties of DFO were characterized through frontier molecular orbital (HOMO–LUMO) and molecular electrostatic potential (MEP) analyses. In addition, the pharmacokinetic and toxicological properties of the molecule were evaluated using ADMET predictions. The binding affinity and molecular interactions of DFO with human acetylcholinesterase (**PDB ID: 4EY7**) were investigated with molecular docking. Docking analysis yielded binding affinities of **−8.2 kcal/mol** for DFO and **−10.9 kcal/mol** for the reference inhibitor donepezil. Furthermore, DFT analysis indicated the electronic stability of the molecule, while ADMET predictions supported its favorable

pharmacokinetic and toxicological profile. In conclusion, the findings demonstrate that deferoxamine, in addition to its well-known iron chelation property, can also interact with AChE and may be a potential multitarget therapeutic candidate for Alzheimer's disease.
Keywords: Deferoxamine, Iron chelator, Acetylcholinesterase, Molecular docking, DFT

1. INTRODUCTION

Alzheimer's disease, first described in 1907, is a progressive neurodegenerative disease that causes dementia and develops through progressive, long-term degeneration leading to impairments in memory, reasoning, naming, communication. The diagnosis of AD is established when multiple cognitive deficits are accompanied by persistent deterioration in daily functioning and cannot be attributed to other neurological or systemic disorders. As the disease advances, patients progressively lose their independence and ultimately require continuous care due to severe cognitive and functional decline. With the increasing elderly population, the global prevalence of Alzheimer's disease is expected to exceed 100 million by 2050, making it one of the biggest public health challenges of the twenty-first century. (Lane et al. 2018; Breijyeh and Karaman 2020; Monteiro et al. 2023)

The pathogenesis of AD involves amyloid-β (Aβ) plaque deposition, neurofibrillary tangles composed of hyperphosphorylated tau protein, mitochondrial dysfunction, neuroinflammation, oxidative stress, and cholinergic dysfunction. AChE has become one of the primary therapeutic targets in the symptomatic treatment of AD. While clinically approved AChE inhibitors, including donepezil, rivastigmine, and galantamine, have improved cognitive symptoms by increasing acetylcholine levels, their clinical benefit remains limited due to side effects and their inability to prevent disease progression. In addition to cholinergic dysfunction, impaired iron homeostasis appears to play a critical role in the pathogenesis of AD.

Iron is a basic element required for different physiological processes, including mitochondrial respiration, myelin synthesis, neurotransmitter production, and cellular energy metabolism. Under physiological conditions, iron homeostasis is tightly regulated. However, excessive iron accumulation in the brain promotes the formation of reactive oxygen species (ROS) via the Fenton reaction, which can result in oxidative stress, lipid peroxidation, neuroinflammation, and mitochondrial dysfunction. Growing evidence indicates that iron dyshomeostasis and abnormal iron accumulation play a crucial role in the pathogenesis of AD by promoting amyloid-β aggregation, tau hyperphosphorylation, ferroptosis, and oxidative stress, thereby accelerating neuronal degeneration and cognitive decline. In this context, modulation of iron metabolism has emerged as a promising therapeutic strategy for neurodegenerative disorders in the brain (Belaidi and Bush 2016).

Deferoxamine (DFO) is a clinically approved hydroxamate-based iron chelator widely used to treat iron overload disorders. Beyond its established clinical application, DFO has gained increasing attention as a potential therapeutic agent for AD because of its ability to chelate excess iron, reduce iron-mediated oxidative stress, and mitigate neuronal damage. DFO is the pharmaceutical form of desferrioxamine B, a naturally occurring hydroxamate siderophore produced by *Streptomyces pilosus*. Its three hydroxamate functional groups coordinate ferric ions (Fe^{3+}) through six coordination sites, forming an exceptionally stable and water-soluble complex that is subsequently eliminated from the body. By effectively reducing excess iron levels, DFO suppresses iron-catalyzed ROS formation, attenuates oxidative damage, and protects neuronal tissues from iron-mediated toxicity (Fine 2015; Dusek 2012).

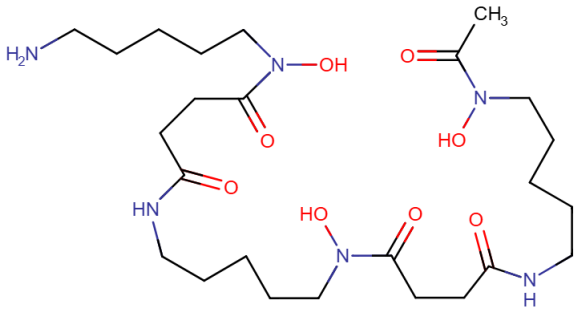


Figure 1. Chemical structure of deferoxamine

Beyond its well-established iron-chelating properties, growing experimental and clinical evidence suggests that DFO possesses significant neuroprotective potential in AD. The therapeutic potential of DFO in AD was first demonstrated clinically by Crapper McLachlan et al. (1991), who reported that iron chelation slowed the progression of cognitive decline in Alzheimer's patients. Subsequent studies have shown that DFO reduces iron-induced oxidative stress, attenuates amyloid-β toxicity, limits tau-associated neurodegeneration, suppresses ferroptosis, and improves neuronal survival. These results have shown that DFO may exert therapeutic effects through mechanisms far beyond just iron retention. (Crapper et al. 1991; Tarı and Yağmurtaşan 2023; Dusek 2012; Li et al. 2022). Despite accumulating evidence supporting the neuroprotective properties of DFO, its potential interaction with acetylcholinesterase has received limited computational investigation. Since AChE remains one of the most important molecular targets for the treatment of AD, evaluating the binding behavior of DFO toward this enzyme may provide additional insights into its possible mechanism of action. According to the literature, Thorwald A. M. and other studies (Ashraf 2020) analyzed the associations of brain iron with AD. They reported that in minimal AD neurodegeneration, iron-mediated lipid peroxidation and neuronal atrophy were lower (Thorwald 2025).

Therefore, this work aimed to investigate the potential interaction of deferoxamine with human acetylcholinesterase (PDB ID: 4EY7) using an integrated computational approach. DFT calculations were carried out to optimize the molecular geometry and characterize its electronic properties, while molecular docking analysis was employed to evaluate the binding affinity and interaction profile of DFO within the AChE active site. Furthermore, ADMET analyses were conducted to assess the pharmacokinetic and toxicological properties of deferoxamine. The obtained results were compared with those of the reference AChE inhibitor donepezil to evaluate the potential of DFO as a candidate compound for AD therapy.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Computational Details

The molecular geometry of deferoxamine was optimized using DFT implemented in the GaussView 6.0 program (Dennington et al., 2016). The molecular orbitals and electrostatic potential maps were visualized using Gaussian 09 W software (Frisch, 2009). Equilibrium geometry optimization for DFO was performed at the B3LYP theory level using DFT and energy minimization with the 6-311^{++}G (2d, 2p) basis set. The optimized geometry was subsequently used to determine the frontier molecular orbitals (HOMO and LUMO), HOMO–LUMO energy gap (ΔE), and molecular electrostatic potential (MEP) map. ADME parameters were evaluated through the online server available at (http://www.swissadme.ch) (Daina et al., 2017). ADME features of DFO are presented in Table 1.

2.2. Ligand and Protein Preparation

The 3D chemical structure of DFO was obtained from the PubChem database and used as the test ligand. Donepezil, a clinically approved AChE inhibitor, was selected as the reference compound for comparative molecular docking analysis. The molecular structures were subjected to geometry optimization prior to docking calculations. The human acetylcholinesterase (PDB ID: 4EY7) was obtained from the Protein Data Bank (http://www.rcsb.org/pdb). The co-crystallized ligand and crystallographic water molecules were removed before docking simulations. The optimized ligand and protein were converted into PDBQT format using AutoDock Tools by adding polar hydrogen atom, and defining rotatable bonds.

2.3. Molecular Docking Analysis

Molecular docking simulations were performed with AutoDock Vina 1.5.7 software. The docking grid was centered on the active site defined by the position of the co-crystallized donepezil molecule to ensure accurate sampling of the catalytic binding pocket. Docking calculations were performed for both deferoxamine and the reference drug donepezil. The best binding pose was selected according to the lowest predicted binding free energy (kcal/mol). The obtained docking conformations were subsequently analyzed to identify the most favorable ligand–protein interactions. The binding interactions between deferoxamine and AChE were analyzed using BIOVIA Discovery Studio Visualizer 2024.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Computational details

The optimized structure of deferoxamine was analyzed using DFT at the B3LYP/6-311^{++}G (2d, 2p) level, as shown in fig. 2. The calculated HOMO and LUMO energies were −0.3697 and 0.0307 Hartree, respectively, resulting in a HOMO–LUMO energy gap ($\Delta E_{Gap}=E_{LUMO}-E_{HOMO}$ =0.0307− (−0.3697) of 0.4004 Hartree (≈10.90 eV). The relatively large energy gap suggests that deferoxamine possesses high electronic stability and low chemical reactivity. Such electronic characteristics indicate a stable molecular framework that is less susceptible to spontaneous electron transfer. Despite this high electronic stability, molecular docking analysis demonstrated that deferoxamine was capable of forming favorable interactions within the active site of acetylcholinesterase, indicating that its binding behavior is primarily governed by specific intermolecular interactions rather than frontier orbital energies alone.

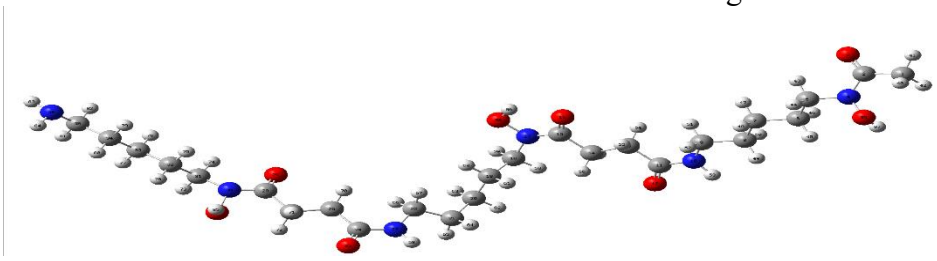


Figure 2. Optimized structure of deferoxamine

According to the data obtained from DFT theoretical calculations, it has high chemical stability due to the HOMO–LUMO energy gap, low electronic reactivity, and a structure more resistant to electron transfer. According to the results, it is consistent with deferoxamine's known ability to form strong and stable complexes with Fe^{3+}. The ΔE_{gap} graph of Deferoxamine is shown in Fig. 3.

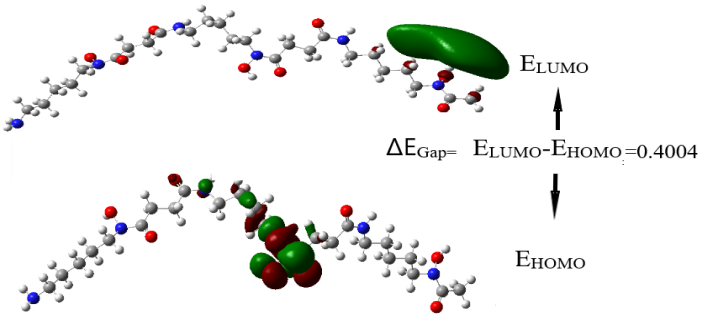


Figure 3. ΔE_{gap} graph of the Deferoxamine

Molecular electrostatic potential (MEP) surface of DFO revealed that the most negative electrostatic potential (red region) was predominantly localized around the oxygen atoms of the hydroxamate groups, indicating electron-rich regions favorable for electrophilic attack and Fe^{3+} coordination. In contrast, hydrogen atoms exhibited positive electrostatic potential (blue regions), representing electron-poor regions that may play a role in hydrogen bond donation. The observed electrostatic potential distribution is consistent with deferoxamine's strong iron chelation ability and may also contribute to its interactions with amino acid residues in the AChE active site. The MEP visual is presented in fig. 4.

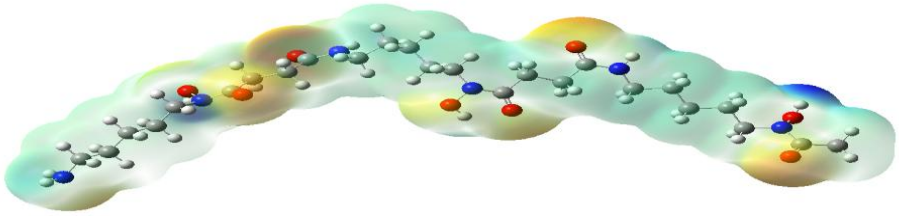


Figure 4. Molecular electrostatic potential surface by DFT/B3LYP methods with 6-311^{++}G (2d, 2p) basis set.

According to ADME analysis, deferoxamine has a relatively high molecular weight and a large topological polar surface area, indicating limited membrane permeability. DFO showed low gastrointestinal absorption and was estimated to be impermeable to the blood-brain barrier (BBB). However, the aqueous solubility (Log S, −0.14) reflects its highly hydrophilic nature. Although the estimated oral bioavailability is low (bioavailability score, 0.17), these findings are consistent with the known pharmacokinetic profile of deferoxamine.

Table 1. ADME features estimated by SwissADME of DFO.

Compound	DFO
Formula	$C_{25}H_{48}N_6O_8$
Molecular weight (g/mol)	560.68
Number heavy atoms	39
Number arom. heavy atoms	0
Num. H-bond acceptors	9
Num. H-bond donors	6
TPSA (Å^2)	205.84
Log S (ESOL)	-0.14
BBB permeant	No
GI absorption	Low
Bioavailability Score	0.17

Toxicity analysis performed using the ADMETlab 2.0 web tool, deferoxamine exhibited a low-risk profile in the evaluated toxicity parameters. The fact that all toxicity predictions fell into the low-risk (green) category suggests that the molecule may have a computationally safe toxicological profile. These findings are consistent with the safety profile of deferoxamine, which has been used in clinical practice for many years.

3.2. Molecular Docking

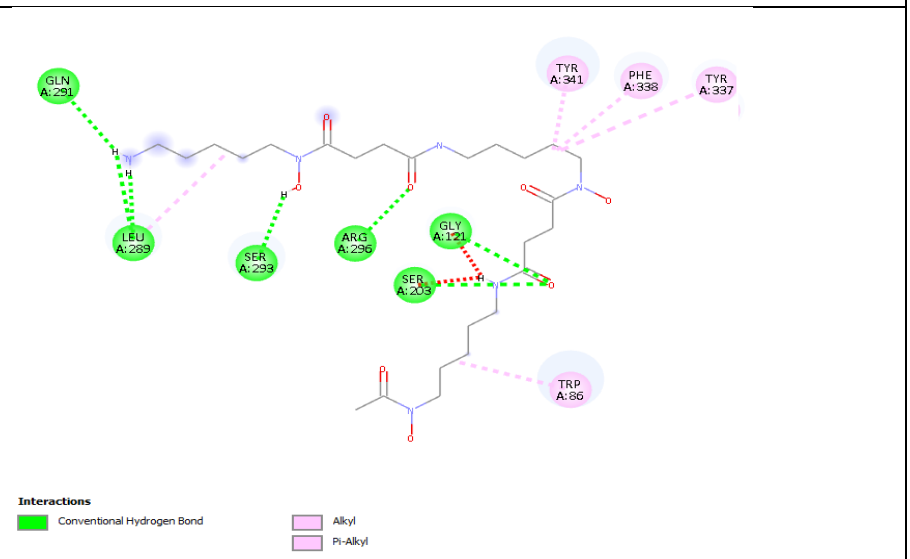
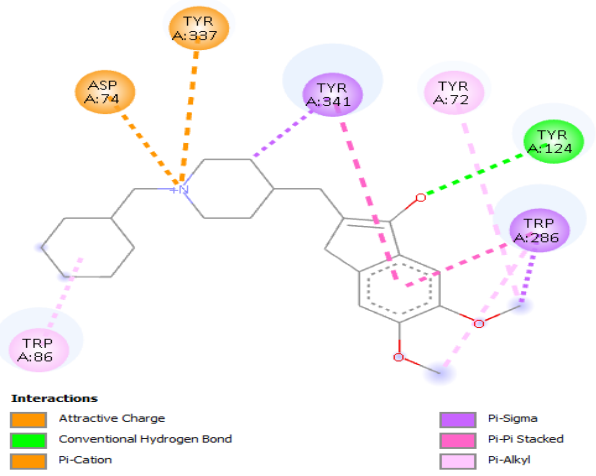
Molecular docking plays a significant role in modern drug discovery and development (Talevi 2023). It allows researchers to discover interactions between molecules such as potential drug candidates and target proteins in a simulated environment. Researchers can virtually screen numerous compounds and determine potential drug candidates more quickly and efficiently. (Sivakumar et al., 2020). Hydrogen bonds, hydrophobic interactions, π–π stacking, π–alkyl interactions, electrostatic interactions, and van der Waals contacts were identified to characterize the binding mode within the catalytic binding pocket. To validate the reliability of the molecular docking protocol, the interaction profile of deferoxamine was compared with that of the reference inhibitor donepezil to evaluate its potential binding behavior toward AChE. The Docking scores of deferoxamine and donepezil compounds towards PDB ID: 4EY7 and RMSD values are given in Table 2. 2D protein-ligand interactions of DFO and donepezil are presented in Table 3. The chemical structure of DFO was drawn using the ChemOffice tool (ChemDraw 16.0), and ligand molecules were saved in pdbqt format with AutoDock Vina for docking application by minimizing the energy of compounds. The center of the binding site was defined using Cartesian coordinates: x= -14.6 y = -43.4, and z= 27.6. Visualization of molecular interactions was performed with Biovia Discovery Studio software, information about binding modes and types of interactions was obtained.

Table 2. Docking analysis results (kcal/mol) of DFO and Donepezile

Compound	Docking Score (kcal/mol)	Rmsd	Amino Acid Residues
Deferoxamine	-10.9	1.291	***Conventional Hydrogen Bond*:** GLN A:291, LEU A:289, SER A:293, ARG A:296, GLY A:121, SER A:203 ***Hydrophobic:****TYR A:341, PHE A:338, TYR A:337, TRP A:86*
Donepezile	-8.2	1.025	***Conventional Hydrogen Bond:*** *TYR A:124,* ***Electrostatic:*** *ASP A:74, TYR A:337* ***Hydrophobic:*** *TRP A:86,TYR A:72 TYR A:341,TRP A:286*

The best interaction of the DFO compound was determined as a conventional hydrogen bond with GLN A:291, LEU A:289, SER A:293, ARG A:296, GLY A:121, SER A:203, and hydrophobic interactions with TYR A:341**,** PHE A:338**,** TYR A:337, and TRP A:86 amino acid residues. For Donepezil the best interaction was determined as a conventional hydrogen bond including TYR A:124, electrostatic interactions with ASP A:74, TYR A:337 and hydrophobic interactions with TRP A:86, TYR A:72, TYR A:341, and TRP A:286 amino acid residues. Although DFO exhibited a lower binding affinity than donepezil, it established significant interactions with key amino acid residues within the AChE active site, suggesting potential inhibitory activity against AChE.

Table 3. 2D protein-ligand interactions of compounds DFA and donepezile toward PDB ID: **4EY7**

Cmpnd	2D Ligand Interaction
DFO	
Donepezil	

4. Conclusions

This study aimed to evaluate the potential of deferoxamine (DFO) for Alzheimer's disease in silico using DFT calculations, MEP and HOMO–LUMO analyses, ADMET evaluations, and molecular docking analysis. Deferoxamine, due to its strong iron-chelating capacity, may contribute to reducing iron-induced oxidative stress in Alzheimer's disease. DFT calculations provided important information about the electronic structure and chemical stability of DFO, while MEP analysis showed that the oxygen atoms in the hydroxamate groups are electron-rich regions and form suitable sites for hydrogen bonding and electrostatic interactions with protein targets. These findings are consistent with the interactions observed with amino acid residues in the active site of AChE in molecular docking analysis. The binding affinity of DFO to AChE was −8.2 kcal/mol, and the reference inhibitor donepezil was −10.9 kcal/mol in the docking analysis. These results revealed that the DFO molecule can bind to the target protein at a significant level. According to ADMET analyses, DFO has, in terms of pharmacokinetic and

toxic properties consistent with its current clinical use profile. Overall, the computational findings indicate that DFO, in addition to its well-known iron chelation activity, can also interact with acetylcholinesterase, suggesting that this molecule could be considered a multitarget therapeutic candidate in Alzheimer's disease.

Acknowledgment
The author is grateful to TÜBİTAK ULAKBİM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources) for the DFT calculations.

Conflict of Interest Statement
The author declare no competing interests.

REFERENCES

Lane, C. A., Hardy, J., & Schott, J. M. (2018). Alzheimer's disease. European journal of neurology, 25(1), 59-70.
Breijyeh, Z., & Karaman, R. (2020). Comprehensive review on Alzheimer's disease: causes and treatment. Molecules, 25(24), 5789.
Monteiro AR, Barbosa DJ, Remião F, Silva R. Alzheimer's disease: Insights and new prospects in disease pathophysiology, biomarkers and disease-modifying drugs. Biochem Pharmacol. 2023;211:115522.
Belaidi, A. A., & Bush, A. I. (2016). Iron neurochemistry in Alzheimer's disease and Parkinson's disease: targets for therapeutics. Journal of neurochemistry, 139, 179-197.
Fine, J. M., Renner, D. B., Forsberg, A. C., Cameron, R. A., Galick, B. T., Le, C. & Hanson, L. R. (2015). Intranasal deferoxamine engages multiple pathways to decrease memory loss in the APP/PS1 model of amyloid accumulation. Neuroscience Letters, 584, 362-367.
Dusek, P., Jankovic, J., & Le, W. (2012). Iron dysregulation in movement disorders. Neurobiology of disease, 46(1), 1-18
Crapper McLachlan DR, Dalton AJ, Kruck TP, Bell MY, Smith WL, Kalow W, et al. Intramuscular desferrioxamine in patients with Alzheimer's disease. Lancet. 1991;337(8753):1304-8.
Tarı, Ö.,& Yağmurtaşan, R. (2023). Alzheimer hastalığı ve anti-Alzheimer etkili bileşiklerin yapılarının araştırılması. Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy, 43(2), 150-173.
Li, Z., Liu, Y., Wei, R., Khan, S., Zhang, R., Zhang, Y., & Xue, M. (2022). Iron neurotoxicity and protection by deferoxamine in intracerebral hemorrhage. Frontiers in Molecular Neuroscience, 15, 927-334.
Ashraf A, Jeandriens J, Parkes HG, et al. Iron dyshomeostasis, lipid peroxidation and perturbed expression of cystine/glutamate antiporter in Alzheimer's disease: evidence of ferroptosis. Redox Biol 2020; 32: 101494.
Thorwald, M. A., Godoy-Lugo, J. A., Garcia, G., Silva, J., Kim, M., Christensen, A., & Finch, C. E. (2025). Iron-associated lipid peroxidation in Alzheimer's disease is increased in lipid rafts with decreased ferroptosis suppressors, tested by chelation in mice. Alzheimer's & Dementia, 21(1), e14541.
Thorwald, M. A., Sta Maria, N. S., Chakhoyan, A., O'Day, P. A., Jacobs, R. E., Zlokovic, B., & Finch, C. E. (2025). Iron chelation by oral deferoxamine treatment decreased brain iron and iron signaling proteins. Journal of Alzheimer's Disease, 103(4), 1180-1190.
Dennington, R. D. I. I., Keith, T. A., & Millam, J. M. (2016). GaussView 6.0. 16. Semichem Inc.: Shawnee Mission, KS, USA, 143-150. https://gaussian.com/gaussview6/
Frisch, M. J., Trucks G.W., et al. Gaussian 09, Revision D.01 Gaussian, Inc, Wallingford, CT (2009). http://www. gaussian. com/.

Daina, A., Michielin, O., & Zoete, V. (2017). SwissADME: a free web tool to evaluate pharmacokinetics, drug-likeness and medicinal chemistry friendliness of small molecules. Scientific reports, 7(1), 42717.
Sivakumar, K. C., Haixiao, J., Naman, C. B., & Sajeevan, T. P. (2020). Prospects of multitarget drug designing strategies by linking molecular docking and molecular dynamics to explore the protein–ligand recognition process. Drug Development Research, 81(6), 685-699.
Talevi, A. (2023). Computer-aided drug discovery and design: recent advances and future prospects. Computational Drug Discovery and Design, 1-20.

KOAGÜLASYON VE FLOKÜLASYON YÖNTEMİ, PRENSİBİ VE YAYGIN OLARAK KULLANILAN KLASİK KOAGÜLANTLAR

Öğr. Gör. Dr. Selin YILMAZ
Cukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry
Balcalı
ORCID: 0000-0001-7958-9927
Arş. Gör. Dr. Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ
Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Environental Engineering
Balcalı
ORCID: 0000-0003-3331-3209
Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
Cukurova University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry
Balcalı
ORCID: 0000-0003-3030-4518

ÖZET

Su ve atıksu arıtımında kirlilik giderilmesinde karşılaşılan büyük zorluklardan biri kolloidal yapıda asılı kalan ve kendi kendine çökelemeyen partiküllerin sudan uzaklaştırılmasıdır. Bu sorunun çözümünde fizikokimyasal bir arıtma yöntemi olan koagülasyon ve flokülasyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Koagülasyon ve flokülasyon metodunun il aşaması koagülasyon aşamasıdır ve suya eklenen kimyasal reaktifler aracılığıyla partiküller arasındaki elektriksel itme kuvvetlerinin (zeta potansiyeli) nötralize edilerek kolloidal kararlılığın bozulmasını sağlamaktadır. Devamında ise flokülasyon süreci gelerek destabilize olmuş bu küçük partiküllerin yavaş karıştırma koşulları altında birleşerek çökelebilir büyüklükteki yumaklara/floklara dönüşmesini hedeflenmektedir. Meydana gelen yumaklar ise çöktürme işlemi gerçekleştirilerek sudan uzaklaştırılmaktadır.

Bu bildiri kapsamında arıtım tesislerinde en sık tercih edilen alüminyum bazlı (alüminyum sülfat, polialüminyum klorür) ve demir bazlı (demir (III) klorür, demir sülfat) koagülantların kimyasal reaksiyonları, avantajları ve kısıtlılıkları karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Sistem verimliliğini doğrudan etkileyen sistemin pH değeri, alkalinite oranları, kavanoz testi (jar test) ile belirlenen optimum dozaj ihtiyacı, su sıcaklığı ve karıştırma hızları gibi işletme parametreleri detaylandırılmıştır. Klasik inorganik koagülantlar, uygun maliyetleri, kolay erişilebilirlikleri ve kanıtlanmış yüksek arıtım verimleri sayesinde içme suyu ve endüstriyel atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmakta olup yüksek miktarda kimyasal çamur üretimi ve kalıntı metal (alüminyum toksisitesi) riskleri gibi önemli çevresel dezavantajlar arıtma işlemi sonucunda meydana getirmektedir. Bu bildiri metni içerisinde koagülasyon ve flokülayon metodunun su ve atıksularda uygulanması, meydana gelen fizikokimyasal süreçler ve işletme parametreleri hakkında detaylara yer verilmiştir. Ayrıca klasik olarak kullanılan yaygın koagülantlar, bu koagülantların uygun işletme koşulları ve laboratuvar ortamında sürecin işleme aşamaları yer almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kimyasal Arıtma, Kolloid Stabilitesi, Su ve Atıksu Arıtımı, Yük Nötralizasyonu, Çöktürme

COAGULATION AND FLOCULATION METHODS, PRINCIPLES, AND COMMONLY USED CLASSIC COAGULANTS

ABSTRACT

One of the major challenges in water and wastewater treatment is removing particles that remain suspended in a colloidal structure and cannot settle on their own. Coagulation and flocculation, a physicochemical treatment method, is widely used to solve this problem. The first stage of the coagulation and flocculation method is the coagulation stage, where the electrical repulsive forces (zeta potential) between the particles are neutralized through the addition of chemical reagents to the water, thus disrupting colloidal stability. Following this, the flocculation process aims to transform these destabilized small particles into settleable flocs under slow mixing conditions. The resulting flocs are then removed from the water by a sedimentation process.

This paper comparatively examines the chemical reactions, advantages, and limitations of aluminum-based (aluminum sulfate, polyaluminum chloride) and iron-based (iron (III) chloride, iron sulfate) coagulants, which are the most frequently preferred in treatment plants. The operating parameters that directly affect system efficiency, such as pH value, alkalinity levels, optimum dosage requirement determined by jar test, water temperature, and mixing speeds, are detailed. Classic inorganic coagulants are widely used in drinking water and industrial wastewater treatment due to their cost-effectiveness, easy accessibility, and proven high treatment efficiencies. However, they present significant environmental disadvantages such as high chemical sludge production and residual metal risks (aluminum toxicity). This paper details the application of coagulation and flocculation methods in water and wastewater, the resulting physicochemical processes, and operating parameters. It also includes commonly used coagulants, their appropriate operating conditions, and the stages of the process in a laboratory setting.

Keywords: Chemical Treatment, Colloid Stability, Water and Wastewater Treatment, Load Neutralization, Precipitation

1) KOLLOİD KAVRAMI, SU VE ATIKSULARDA KOLLOİDLER

Su ve atıksu arıtımında kirlilik giderilmesinde karşılaşılan en temel zorluklardan biri kolloidal yapıda asılı kalan partiküllerin sudan uzaklaştırılmasıdır. Kolloidler, boyutları tipik olarak 1 nanometre (nm) ile 1 mikrometre (µm) arasında değişen, sıvı faz içerisinde asılı halde bulunan ince katı partiküllerdir. Doğal sularda ve endüstriyel atıksularda yaygın olarak bulunan bu yapılar; kil mineralleri, hümik asitler, proteinler, sentetik organik polimerler ve çeşitli mikroorganizmalardan oluşabilmektedir. Sahip oldukları aşırı küçük boyutlar ve düşük yoğunluklar nedeniyle yerçekimi kuvveti, kolloidlerin sudaki askıda kalma direncini yenmek için yetersiz kalır ve bu nedenle kendi kendilerine çökelerek sudan ayrılamazlar.

Kolloidlerin su ve atıksu içerisindeki mevcudiyetini ve akıbetini belirleyen en önemli faktör yüzeylerinde taşıdıkları elektriksel yükler ve bunun yarattığı itme kuvvetleridir (zeta potansiyeli). Atıksulardaki kolloidal partiküllerin büyük bir çoğunluğu, yapısal özellikleri veya suyun pH'ına bağlı iyonizasyon süreçleri neticesinde negatif bir yüzey yüküne sahiptir. Bu eş yükler, partiküllerin birbirine yaklaşmasını engelleyerek elektrostatik bir bariyer oluşturur ve sistemin termodinamik olarak kararlı (stabil) kalmasına neden olur. Brown hareketleri (moleküllerin rastgele termal hareketi) ile sürekli çarpışan ancak yüzeylerindeki elektriksel itme kuvveti nedeniyle birleşemeyen bu partiküller, aylar hatta yıllar boyunca çökmeden su kolonunda askıda kalmaya devam edebilirler (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012).

Kolloidal partiküllerin atıksulardaki varlığı, hem çevresel ekosistemler hem de arıtım tesisi operasyonları açısından ciddi problemlere yol açmaktadır. Fiziksel olarak suda yüksek oranda bulanıklık ve renk problemine neden olan kolloidler, alıcı ortamlara deşarj edildiklerinde ışık geçirgenliğini azaltarak sucul ekosistemdeki fotosentetik faaliyetleri sekteye uğratırlar. Bunun yanı sıra kolloidler, hacimlerine oranla son derece geniş bir spesifik yüzey alanına sahip olduklarından; ağır metaller, pestisitler, toksik organik bileşikler ve patojenik mikroorganizmalar gibi tehlikeli kirleticileri yüzeylerinde adsorbe ederek (tutarak) su kütlesi boyunca taşırlar (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2014). Bu durum, toksik maddelerin çevreye kontrolsüz yayılımını ve besin zincirine karışma riskini doğrudan artırmaktadır.
Sonuç olarak, kolloidlerin kendi kendine çökelememe özelliği ve toksik maddeler için bir taşıyıcı matris görevi görmesi, bu kirleticilerin ızgara veya basit çökeltim havuzları gibi standart fiziksel yöntemlerle arıtılmasını mümkün kılmaktadır. Bu kirlilik yükünün sudan uzaklaştırılabilmesi için kolloidal stabilitenin kimyasal yollarla bozulmasını zorunlu hale getirmektedir (Bratby, 2016).

2) KOAGÜLASYON VE FLOKÜLASYON PROSESİ

Su ve atıksu arıtımında kolloidal kararlılığın bozularak kirleticilerin uzaklaştırılması, birbirini takip eden koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme aşamalarından oluşan fizikokimyasal bir arıtma yöntemi ile gerçekleştirilir. Bu metodun ilk basamağı olan koagülasyon (pıhtılaştırma) aşaması, termodinamik olarak stabil olan kolloidlerin kararlılığının bozulması edilmesi prensibine dayanmaktadır. Hızlı karıştırma ünitelerinde suya yüksek enerjili bir türbülans ile kimyasal reaktif/koagülant eklenmektedir. Bu kimyasallar kolloidal partiküllerin etrafını sararken kolloidlerin birbirlerine yaklaşmasını engellemektedir. Aynı zamanda elektriksel itme kuvvetlerini (zeta potansiyeli) nötralize etmektedir. Zıt yüklü (genellikle pozitif) koagülant iyonlarının kolloid yüzeyine adsorbe olmasıyla zeta potansiyeli sıfıra yaklaştırmakta ve elektrostatik itme bariyerini ortadan kaldırmaktadır. Bu sayede partiküller arası çekim kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri) itme kuvvetlerine baskın gelerek partiküllerin birbirlerine tutunmasına olanak tanımaktadır (Droste & Gehr, 2018).
Koagülasyon aşamasında destabilize olan mikroskobik boyutlardaki partiküllerin büyütülmesi işlemi prosesin ikinci basamağı olan flokülasyon (yumaklaştırma) aşaması ile sağlanmaktadır. Bu aşamada suya verilen enerji azaltılarak yavaş ve kontrollü bir karıştırma işlemi uygulanırken yavaş karıştırma koşulları altında destabilize olmuş bu küçük partiküllerin birbirleriyle çarpışma olasılıkları arttırılarak gözle görülebilir, yumaklara dönüşmesi gerçekleştirilmektedir. Karıştırma hızının optimizasyonu bu aşamada hayati öneme sahip olmaktadır. Eğerki karışım hızı yavaş olursa partiküller yeterince çarpışamayarak floklaşma sağlanamaz tam tersi durumda çok hızlı olursa meydana gelen flok yapıları parçalanarak yumaklaşma için uygun koşullardan uzaklaşırlar (Bratby, 2016).
Prosesin son mekanizması olan çöktürme aşaması, flokülasyon havuzlarında yeterli iriliğe ve yoğunluğa ulaşan yumakların yerçekimi kuvveti etkisiyle sıvı fazdan ayrılarak dibe çökmesini ifade etmektedir. Meydana gelen yumaklar, çöktürme işlemi gerçekleştirilerek sudan uzaklaştırılır ve arıtılmış berrak su sistemden savaklanırken, tabanda biriken kimyasal çamur bertaraf edilmek üzere sistemden alınır. Koagülasyon işlemi sırasında yük nötralizasyonuna ek olarak suya eklenen metal tuzları çözünürlüğü düşük ve amorf metal hidroksit (örneğin alüminyum hidroksit veya demir hidroksit) ağları oluşturur (yük nötralizasyonu). Bu ağlar, çökeltim havuzunun tabanına doğru bir battaniye gibi çökelirken, yollarındaki diğer küçük kolloidal partikülleri de fiziksel olarak içlerinde tutmaktadır (Gregory, 2006). Bu iki

mekanizma (yük nötralizasyonu ve süpürme flokülasyonu) bir arada çalışarak fizikokimyasal arıtımın yüksek verimle sonuçlanmasını sağlamaktadır.

3) KLASİK İNORGANİK KOAGÜLANTLAR VE KİMYASAL REAKSİYONLARI

Su ve endüstriyel atıksu arıtımında uygun maliyetleri, kolay erişilebilirlikleri ve kanıtlanmış yüksek arıtım verimleri sayesinde klasik inorganik koagülantlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Arıtım tesislerinde kirlilik yükünün giderilmesi amacıyla en sık tercih edilen kimyasallar alüminyum bazlı ve demir bazlı metal tuzlarıdır. Bu inorganik tuzlar suya eklendiklerinde basitçe çözünmeyip su molekülleri ile anında reaksiyona girerek çok hızlı bir hidroliz sürecine tabi olurlar. Bu hidroliz süreci sonucunda, kolloidlerin etrafındaki negatif yükleri nötralize edecek olan yüksek pozitif yüklü metal kompleksleri ile nihai aşamada kirlilikleri fiziksel olarak hapsedecek olan çözünmez amorf metal hidroksit çökeltileri meydana getirirler (Edzwald, 2011).

Alüminyum bazlı koagülantlar kategorisinde, alüminyum sülfat (alum) ve polialüminyum klorür (PAC) en yaygın olarak kullanılan reaktiflerdir. Geleneksel bir koagülant olan alüminyum sülfat suya ilave edildiğinde, Al^{3+} iyonları serbest kalarak su ile reaksiyona girmekte ve hidrojen iyonlarını H^{+} açığa çıkarmaktadır. Bu durum ortamın asidikleşmesine neden olurken pH değerinin optimum aralıkta tutulması şartıyla nihai ürün olarak çözünürlüğü çok düşük olan alüminyum hidroksit $[Al(OH)_3]_k$ meydana gelmektedir. Ayrıca polialüminyum klorür (PAC) gibi önceden kısmen hidrolize edilmiş alüminyum polimerleri yapısal olarak yüksek oranda pozitif yüklü polimerik türler (Al_{13} vb.) içermekte olup suya eklendiğinde daha az alkalinite tüketir ve sıcaklık değişimlerine karşı geleneksel aluma göre çok daha dirençli bir reaksiyon kinetiği sergilemektedir (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012).

Arıtım tesislerinde sıklıkla tercih edilen diğer bir temel grup ise demir (III) klorür ve demir sülfat gibi demir bazlı koagülantlardır. Demir tuzlarının kimyasal reaksiyon mekanizması alüminyum tuzlarına oldukça benzer bir hidroliz yolu izlerler.; Fe^{3+} veya Fe^{2+} iyonları su ile tepkimeye girerek pozitif yüklü ara kompleksler oluşturur ve son olarak katı demir hidroksit ($Fe(OH)_3$) formunda çökelerek reaktörün dibine çökerler. Fakat demir tuzları, alüminyum bazlı koagülantlara kıyasla genellikle çok daha geniş bir pH aralığında etkili olabilme avantajına sahiptirler. Bu durum ise meydana gelen demir hidroksit floklarının alüminyum hidroksit floklarına göre daha ağır ve yoğun bir yapıda oluşmasına sebep olmaktadır. Bu teorik farklılık ise çöktürme havuzlarında demir bazlı flokların çok daha hızlı ve kompakt bir biçimde çökeltilebilmesine olanak tanımaktadır (Droste & Gehr, 2018).

Klasik koagülantların hidroliz reaksiyonları ve hangi metal komplekslerinin oluşacağı amfoterik karakterleri gereği tamamen suyun pH değerine bağlıdır. Çok düşük pH değerlerinde çözünür pozitif yüklü türler ortama hakim olurken (yük nötralizasyonu için etkilidir ancak flok ağı oluşturmaz) uygun pH aralığında çökeltiyi oluşturan nötr metal hidroksitleri maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Suyun pH değerinin çok yüksek olduğu bazik koşullarda ise alüminat $Al(OH)_4^{-}$ gibi negatif yüklü ve suda çözünen türler meydana gelmektedir. Bu bazik durum ise koagülasyon sürecini tamamen durdurmanın yanı sıra arıtılmış suya toksik çözünmüş metallerin karışmasına (kalıntı metal) sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, kullanılan inorganik koagülantın türüne özgü kimyasal termodinamik ve reaksiyon sınırlarının iyi bilinmesi başarılı bir arıtım süreci için oldukça önemli bir husus olmaktadır.

4) OPERASYONEL SÜREÇLERİ VE GİDERİM VERİMİNİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Koagülasyon ve flokülasyon proseslerinin arıtım verimliliği tesisin işletme koşullarına ve ham suyun fizikokimyasal özelliklerine doğrudan bağlıdır. Bu süreçte reaksiyon kinetiğini belirleyen en kritik parametrelerin başında suyun pH değeri ve alkalinite seviyesi gelmektedir. Her koagülantın (örneğin alüminyum veya demir tuzları) sudaki çözünürlüğünün en düşük olduğu ve çökelebilir flok oluşumunun en yüksek seviyeye ulaştığı spesifik bir optimum pH aralığı bulunmaktadır. Ortama ilave edilen inorganik koagülantlar asidik reaksiyon gösterdiğinden, suyun doğal alkalinitesinin bu asitliği tamponlayarak pH'ın optimum seviyede kalmasını sağlaması gerekir. Yeterli alkalinitenin bulunmadığı durumlarda pH hızla düşerek koagülasyon verimini sekteye uğratır ve ortama dışarıdan kireç, sodyum hidroksit veya soda külü gibi kimyasalların eklenerek tamponlama kapasitesinin artırılmasını zorunlu kılmaktadır (Shammas & Wang, 2012).

Sistem hidroliği ve karıştırma hızları, flokların başarılı bir şekilde oluşturulmasında ve sistemin sürdürülebilirliğinde bir diğer belirleyici unsurdur. Sürecin ilk adımı olan hızlı karıştırma ünitesinde, kimyasal reaktifin suya saniyeler içinde ve homojen bir biçimde dağıtılması amaçlanır; bu sayede kolloidal partiküllerin zeta potansiyeli anında nötralize edilir. Ardından gelen yavaş karıştırma (flokülasyon) aşamasında ise suya aktarılan enerji kademeli olarak düşürülür. Yavaş karıştırma sırasındaki mekanik enerji, partiküllerin birbirine çarpışıp yapışması için yeterli bir frekans sağlamalı; ancak oluşan narin flok yapılarını parçalayacak kadar şiddetli olmamalıdır (Hendricks, 2006).

Suyun temel fiziksel parametrelerinden biri olan sıcaklık da kimyasal reaksiyon hızları ve suyun viskozitesi üzerinde doğrudan etkilidir. Düşük sıcaklıklarda suyun kinematik viskozitesinin artması, floklaşma sürecindeki partikül çarpışma hızlarını yavaşlatır ve yumakların çökelme verimini olumsuz yönde etkiler. Aynı zamanda, özellikle alüminyum sülfat gibi geleneksel koagülantların hidroliz reaksiyonları soğuk sularda ciddi şekilde yavaşlama eğilimi gösterir. Bu tür düşük sıcaklık koşullarında işletme verimliliğini koruyabilmek için karıştırma sürelerinin (hidrolik bekletme süresinin) uzatılması veya sıcaklık değişimlerine karşı daha dirençli olan, önceden hidrolize edilmiş koagülantların (örneğin polialüminyum klorür) tercih edilmesi yaygın bir operasyonel stratejidir (Spellman, 2013).

Tüm bu dinamik değişkenlerin laboratuvar ölçeğinde simüle edilerek arıtım tesisi için en uygun işletme şartlarının belirlenmesi kavanoz testi diğer adı ile jar test olarak isimlendirilen laboratuvar çalışmaları ile gerçekleştirilir. Kavanoz testi eş zamanlı çalışan çoklu karıştırıcılar kullanılarak aynı atıksu numunesine farklı dozajlarda koagülant eklenmesi ile birlikte prosesin karıştırma sürelerinin küçük ölçekte uygulanması prensibine dayanmaktadır. Bu deney sayesinde sadece en uygun koagülant ve miktarı hassas bir şekilde belirlenmekle olup aynı zamanda yüksek hacimli kimyasal çamur üretiminin ve artan işletme maliyetlerinin önüne geçilmiş olmaktadır (Shammas & Wang, 2012).

5) KLASİK KOAGÜLANTLARIN AVANTAJLARI VE MEYDANA GETİRDİĞİ ÇEVRESEL PROBLEMLER

Su ve atıksu arıtım endüstrisinde alüminyum ve demir bazlı klasik inorganik koagülantların uzun yıllardır temel arıtma kimyasalı olarak kalmasının başlıca nedenlerinin başında uygun yatırım ve işletme maliyetleri, ticari olarak kolay erişilebilirlikleri ve kanıtlanmış yüksek arıtım verimleri gelmektedir. Bu kimysallar kirlilik yükü eğişken olan farklı endüstriyel atıksularda dahil olmak üzere kolloidal kararlılığın hızla bozulmasını ve yüksek organik madde giderimini başarılı bir şekilde sağlayabilmektedir. Ayrıca biyolojik arıtma metotlarına kıyasla çok daha

hızlı reaksiyon sürelerine sahip olmaları, uygun işletme koşulları sunmaları ve tesis kurulumunda daha az alana gereksinim duymaları bu kimyasalları mühendislik uygulamalarında son derece cazip kılmaktadır.

Tüm bu pratik ve ekonomik avantajlarına rağmen, inorganik koagülantların kullanımı arıtım tesisleri için yönetilmesi oldukça güç olan birtakım çevresel kısıtlılıklar getirmektedir. Bu dezavantajların en başında, çöktürme havuzu tabanında yüksek miktarda kimyasal atık çamur oluşumu gelmektedir. Eklenen metal tuzları, suyla girdikleri reaksiyonlar neticesinde kirliliklerin yanı sıra kendi kütlelerini de büyük bir hacme dönüştürerek amorf metal hidroksit çökeltileri oluşmaktadır (Davis, 2010). Meydana gelen bu kimyasal çamurlar bünyelerinde yüksek oranda su tuttukları için susuzlaştırma işlemleri hem enerji yoğun hem de maliyetli olmaktadır. Ayrıca içerdikleri inorganik bileşikler nedeniyle düzenli depolama (bertaraf) süreçlerinde toprak ve yeraltı suyu sistemleri için ekolojik riskler yaratırlar (Sillanpää, Ncibi, & Matilainen, 2018).

Klasik koagülant kullanımının meydana getirdiği bir diğer kritik ekolojik sorun ise kalıntı metal riskidir. Arıtım prosesi sırasında suyun pH değeri ve alkalinitesi optimum reaksiyon sınırlarının dışına çıktığında, dozlanan koagülantın tamamı katı flok formuna dönüşemez ve çözünmüş halde arıtılmış su fazında kalır. Tesisten deşarj edilen bu çözünmüş alüminyum ve demir iyonları, alıcı ortamlara karıştığında sucul biyoçeşitlilik üzerinde doğrudan toksik etkiler yaratırken; içme suyu şebekelerinde kalıntı alüminyum bulunması nörolojik sağlık riskleriyle ilişkilendirilmektedir (Srinivasan & Viraraghavan, 2010).

Belirtilen bu çevresel riskler ve gün geçtikçe artan atık çamur bertaraf maliyetleri, modern arıtım stratejilerinde klasik kimyasallara alternatif arayışlarını hızlandırmıştır. Çamur hacmini azaltmak, toksik metal riskini ortadan kaldırmak ve biyolojik olarak daha kolay bozunabilir (doğa dostu) bir arıtım süreci tasarlamak amacıyla Kitosan, *Moringa oleifera*, kaktüs müsilajı ve çeşitli bitkisel tohumlar gibi doğal koagülantların kullanımı günden güne araştırılarak yeni materyallerin kullanımları gerçekleştirilmektedir.

6) SONUÇLAR

Su ve atıksu arıtımında koagülasyon ve flokülasyon prosesleri, kolloidal yapıda asılı kalan kirleticilerin ve organik maddelerin giderilmesinde kendini kanıtlamış, yüksek arıtım verimliliği sağlayan temel fizikokimyasal yöntemlerden biridir. Klasik inorganik koagülantlar (alüminyum sülfat, polialüminyum klorür, demir klorür vb.), uygun maliyetleri ve kolay erişilebilirlikleri sayesinde endüstriyel tesislerde geniş çapta tercih edilmektedir. Ancak bu yüksek kimyasal performans; arıtım süreci sonucunda bertarafı oldukça zor, hacimli ve su içeriği yüksek kimyasal çamur üretimi ile sonuçlanmaktadır. Ayrıca, işletme şartlarının (pH, alkalinite vb.) optimum seviyede tutulamadığı durumlarda ortaya çıkan alüminyum toksisitesi gibi kalıntı metal riskleri, bu inorganik tuzların en büyük çevresel handikaplarını oluşturmaktadır.

Geleneksel inorganik reaktiflerin yarattığı kimyasal çamur problemini ve çevresel toksisiteyi bertaraf etmek amacıyla, son yıllarda doğal ve biyolojik kökenli koagülant sentezlerine yönelik araştırmalar hız kazanmıştır. Literatürde Kitosan, *Moringa oleifera*, kaktüs ve çeşitli bitkisel tohumlar gibi doğal koagülantların kullanımı, atıksu arıtımında hem yüksek bulanıklık hem de KOİ giderimi sağlayabilen çevre dostu alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Biyolojik kökenli bu materyallerin yanı sıra, tarımsal atıklar ve uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünlerin geri kazanılarak eko-uyumlu koagülant ve flokülant sentezlerinde öncü madde olarak kullanılması, döngüsel ekonomi açısından büyük bir potansiyel taşımaktadır. Bu tür atık biyokütle kaynaklı sentezlemeler, arıtım tesislerinde kimyasal madde bağımlılığını azaltırken, oluşan çamurun

biyolojik olarak çok daha kolay bozunabilir ve ikincil toksisite yaratmayan bir yapıda olmasını sağlamaktadır.

Yüksek kirlilik yüküne sahip endüstriyel atıksuların arıtımında klasik koagülantların kısa vadede endüstriyel hakimiyetini koruması beklenmektedir. Ancak sistemin çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilir kılınması için; kavanoz testleri ile dozaj optimizasyonunun titizlikle yapılması, pH-alkalinite dengesinin sürekli izlenmesi ve inorganik yükü hafifletecek doğal, tarımsal atık tabanlı veya hibrit (inorganik-organik) koagülant sistemlerinin tesislere entegre edilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Bratby, J. (2016). Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment (3rd ed.). IWA Publishing.

Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G. (2012). MWH's water treatment: Principles and design (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Davis, M. L. (2010). Water and wastewater engineering: Design principles and practice. McGraw-Hill.

Droste, R. L., & Gehr, R. L. (2018). Theory and practice of water and wastewater treatment (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Edzwald, J. K. (Ed.). (2011). Water quality & treatment: A handbook on drinking water (6th ed.). McGraw-Hill.

Hendricks, D. W. (2006). Water treatment unit processes: Physical and chemical. CRC Press.

Shammas, N. K., & Wang, L. K. (2012). Water engineering: Hydraulics, distribution and treatment. John Wiley & Sons.

Sillanpää, M., Ncibi, M. C., & Matilainen, A. (2018). Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. Journal of Environmental Management, 208, 56-76.

Spellman, F. R. (2013). Handbook of water and wastewater treatment plant operations (3rd ed.). CRC Press.

Srinivasan, P. T., & Viraraghavan, T. (2010). Characterization and environmental impact of aluminum in drinking water. Water SA, 28(1), 103-108.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

AZOTUN BİYOLOJİK ÖNEMİ, ÇEVRESEL RİSKLERİ VE GİDERİM TEKNOLOJİLERİ

Arş. Gör. Dr. Hasan Kıvanç YEŞİLTAŞ
Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Environental Engineering Balcalı
ORCID: 0000-0003-3331-3209
Doç. Dr. Behzat BALCI
Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering Balcalı
ORCID: 0000-0002-4636-4235

ÖZET
Azot, proteinlerin, enzimlerin ve nükleik asitlerin temel yapı taşı olarak yeryüzündeki biyolojik yaşamın devamlılığı ve hücresel fonksiyonların sürdürülebilmesi için vazgeçilmez bir makro besin elementi olmasının yanı sıra, su kaynaklarının kirlenmesinde başrol oynayan kritik bir parametredir. Tarımsal verimliliğin ve küresel gıda güvenliğinin önemli bir parçası olan azot, doğal döngüsü içerisinde ekosistem dengesini korurken; insan müdahalesi ve özellikle endüstriyel gübre üretimi sonucunda doğal döngüsünün dışına çıkarak alıcı ortamlar için ciddi bir çevresel tehdit haline gelmektedir. Bu bildiri çalışmasının temel amacı, azotun biyolojik ve ekolojik işlevlerini, sucul ekosistemler ile halk sağlığı üzerinde yarattığı çok boyutlu riskleri ve bu riskleri bertaraf etmeye yönelik güncel arıtma teknolojilerini bütüncül bir yaklaşımla incelemektir.

Özellikle tarımsal yüzey akışları, evsel ve endüstriyel atıksular aracılığıyla alıcı su ortamlarına ulaşan aşırı azot yükü (amonyum, nitrat ve nitrit formlarında), sucul ekosistemlerde istenmeyen şiddetli olumsuzluklara yol açmaktadır. Durgun ve yavaş akan su kütlelerinde ötrofikasyona ve oksijensiz "ölü bölgelerin" (hipoksi) oluşumuna sebep olan bu durum, sucul biyoçeşitliliğin hızla kaybına neden olmaktadır. Bununla birlikte, içme suyu kaynaklarına sızan nitrat bileşikleri, özellikle bebeklerde ölüme yol açabilen mavi bebek sendromu (methemoglobinemi) gibi çok ciddi halk sağlığı riskleri barındırmaktadır. Bu hususta, azot türevlerinin kontrol edici su kalitesi parametreleri olması sebebiyle, su kalitesi yönetiminde ve çevresel sürdürülebilirlikte stratejik bir önem taşımaktadır. Son yıllarda, nüfus artışı ve endüstriyel faaliyetlerin sürekliliği sebebiyle artan çevresel baskılar ve küresel iklim değişikliğinin etkileri altında, azotun sadece arıtılması gereken bir atık değil, geri kazanılması gereken değerli bir kaynak olduğu anlayışı gelişmiştir. Bu doğrultuda, azot yönetim süreçlerinde yalnızca giderim metotları üzerine yoğunlaşılmamış, döngüsel ekonomi ilkeleri açısından büyük önem arz eden geri kazanım ve yeniden kullanım alternatifleri de değerlendirilmiştir. Bu bildiri, azotun yaşam için vazgeçilmezliği ile çevre ve insan sağlığı için yarattığı risk arasındaki hassas dengeyi ve mühendislik çözümlerini detaylıca ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Azot, Ötrofikasyon, Biyolojik Arıtma, Kimyasal Çöktürme, Su Kalitesi.

BIOLOGICAL IMPORTANCE OF NITROGEN, ENVIRONMENTAL RISKS AND REMOVAL TECHNOLOGIES

ABSTRACT

Nitrogen, as a fundamental building block of proteins, enzymes, and nucleic acids, is an indispensable macronutrient for the continuity of biological life on Earth and the maintenance of cellular functions. However, it is also a critical parameter playing a leading role in the pollution of water resources. While nitrogen, a vital component of agricultural productivity and global food security, maintains ecosystem balance within its natural cycle, human intervention, particularly industrial fertilizer production, disrupts this natural cycle, transforming it into a serious environmental threat to receiving environments. The main objective of this paper is to examine, from a holistic perspective, the biological and ecological functions of nitrogen, the multifaceted risks it poses to aquatic ecosystems and public health, and current treatment technologies aimed at mitigating these risks. In particular, excessive nitrogen loads (in the forms of ammonium, nitrate, and nitrite) reaching receiving water environments through agricultural surface runoff, domestic and industrial wastewater lead to severe and undesirable negative impacts on aquatic ecosystems. In stagnant and slow-flowing water bodies, this situation, which causes eutrophication and the formation of oxygen-deprived "dead zones" (hypoxia), leads to the rapid loss of aquatic biodiversity. Furthermore, nitrate compounds seeping into drinking water sources pose very serious public health risks, particularly in infants, such as blue baby syndrome (methemoglobinemia), which can be fatal. In this regard, nitrogen derivatives are of strategic importance in water quality management and environmental sustainability because they are controlling water quality parameters. In recent years, under increasing environmental pressures due to population growth and the continuity of industrial activities, and the effects of global climate change, the understanding has developed that nitrogen is not just a waste product to be treated, but a valuable resource to be recovered. Accordingly, nitrogen management processes have not only focused on removal methods, but also evaluated recovery and reuse alternatives, which are of great importance in terms of circular economy principles. This paper details the delicate balance between the indispensability of nitrogen for life and the risks it poses to the environment and human health, and the engineering solutions involved.

Keywords: Nitrogen, Eutrophication, Biological Treatment, Chemical Precipitation, Water Quality.

1) AZOT ELEMENTİ VE TARİHÇESİ

Azot, ekosistemlerde bulunan tüm canlıların yapısında, proteinlerin, enzimlerin ve nükleik asitlerin (DNA ve RNA) sentezi başta olmak üzere yaşam süreçlerinin bütününde temel bir nütrienttir. Alıcı ortamlara yapılacak deşarj parametreleri arasında karbon ve fosfor parametreleri ile birlikte en belirleyici kontrol parametrelerinden biri azot elementi olmaktadır. Canlılar için oldukça değerli olan reaktif azot bileşiklerinin alıcı ortamlarda miktarının artması neticesinde önemli bir çevresel problem olan ötrofikasyon meydana gelmektedir (Vitousek vd., 1997).

Azot bileşiklerinin üretimi için temel kaynak pratik olarak sınırsız olan atmosferik azot (N_2) gazıdır. Ancak endüstriyel ve tarımsal faaliyetler ile artan popülasyonun gıda ihtiyacını karşılamak amacıyla atmosferden yapay yollarla fikse edilen devasa boyuttaki azot miktarı neticesinde azot döngüsünün doğal dengesini günden güne daha da hızlı bir şekilde tehdit edilmektedir. Mevcut durumda canlılık için alternatifi olmayan azotun kontrolü, alıcı ortamlara deşarjının sınırlandırılması ve yönetimi çevre mühendisliğinin en öncelikli konularından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca küresel olarak azotun tarım ve hayvancılık sistemlerinde

verimli kullanımı sadece %30-40 dolaylarında olup, geriye kalan büyük kısmının yüzey akışları, yeraltı sularına sızma ve gaz emisyonları ile ekosisteme karışarak ciddi bir kirlilik yükü oluşturması problemin diğer boyutu olmaktadır (Galloway vd., 2004).
Azot gazı ilk olarak 1772 yılında İskoç hekim ve kimyager Daniel Rutherford tarafından havanın yanmayı desteklemeyen inert bileşeni olarak keşfedilmiştir. 19. yüzyılda Justus von Liebig gibi bilim insanlarının çalışmalarıyla azotun bitki büyümesi ve tarımsal verimlilik için temel bir besin olduğu anlaşılmıştır. 1909 yılında ise F. Haber ve C. Bosch'un atmosferik azotu amonyağa dönüştüren endüstriyel fiksasyon yöntemini geliştirmesiyle, reaktif azotun küresel gıda üretimindeki ve biyosferdeki kritik rolü belirgin hale gelmiştir (Erisman vd., 2008). Doğada yer alan azot döngüsü, insan müdahalesi olmaksızın şimşek aktiviteleri ve biyolojik fiksasyon yapan bakterilerin (Rhizobium, siyanobakteriler vb.) faaliyetleri ile doğal olarak dengede sürdürülmektedir. Sanayileşme neticesinde Haber-Bosch prosesinin devasa boyutlarda sentetik gübre üretiminde kullanılması ve endüstriyel faaliyetler (fosil yakıt yanması) neticesinde ise doğal döngü önemli ölçüde sekteye uğramıştır (Gruber & Galloway, 2008; Smil, 2001).

2) AZOTUN CANLILIK İÇİN ÖNEMİ

Azot, yerküre üzerindeki bulunan yaşam formları için temel bir element olmaktadır. Canlıların bünyesinde gerçekleşen metabolik faaliyetlerde azot elementinin süreçlerin temelinde yer alması sebebiyle başka bir element onun yerini alamamaktadır. Azotun canlılar bünyesindeki en önemli kullanım alanlarından biri aminoasitlerin ve dolayısıyla proteinlerin ile DNA ve RNA'nın (azotlu bazlar) yapısında yer almasıdır. DNA ve RNA ise genetik bilginin nesilden nesile depolanması ve aktarılması aşamasında oldukça önemli görevlere sahiptir (Nelson ve Cox, 2017). Bu durum ise azot elementinin canlı bünyesinde bulunmaması durumunda hücre bölünmesi, üreme ve protein sentezi gibi temel yaşam fonksiyonlarının biyokimyasal olarak sürmemesi anlamına gelmektedir (Berg, Tymoczko ve Stryer, 2012).
Canlı bünyesinde DNA, RNA ve protein yapısı haricinde diğer kritik rolü de metabolik reaksiyonların katalizlenmesi ve hücresel sinyal iletimidir. Hücrede biyokimyasal reaksiyonları hızlandıran ve yöneten enzimlerin tamamı azot içeren protein yapısındadır. Ayrıca azot elementi bitkilerde fotosentez süreçleri için gerekli olan ve güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüşmesinde görevli olan klorofil molekülünün temel bir bileşenidir (Taiz ve Zeiger, 2010). Besin sindiriminden hücresel solunuma, fotosentezden aktif madde taşınmasına kadar yaşam için gerekli olan tüm biyolojik süreçler, azotun oluşturduğu bu dinamik yapılar sayesinde sürdürülmektedir.
Tüm canlı organizmalar, hücresel bütünlüğü ve fiziksel formu korumanın yanı sıra vücut içi iletişimde de azota bağımlıdır. İnsan ve hayvanlarda kas dokusunu oluşturan aktin ve miyozin proteinleri ile bağ dokusuna esneklik ve sağlamlık kazandıran kolajen büyük oranda azottan oluşmaktadır. Ayrıca azot elementi canlılarda hücreler arası iletişimi sağlayan nörotransmitterlerin (serotonin ve dopamine vb.) ve homeostaziyi düzenleyen birçok hormonun yapısında temel bir bileşen olarak yer almaktadır (Lodish vd., 2016). Bu moleküler yapı, canlının hem yapısal bütünlüğünü sağlamakta hem de karmaşık yaşamsal faaliyetleri düzenlemektedir.

3) AZOTUN ÇEVRESEL ÖNEMİ

Canlı yapısının en değerli elementlerinden biri olan azot, alıcı ortamlara kontrolsüz bir şekilde ulaşması neticesinde su kaynakları için yıkıcı bir çevresel problem haline gelebilmektedir. Liebig'in Minimum Yasası'na göre, alglerin ve su bitkilerinin büyümesi ortamda en az bulunan (sınırlayıcı) elemente bağlıdır (Liebig, 1840). Tatlı sularda genellikle fosfor sınırlayıcı

durumdayken deniz, haliç ve acı su ekosistemlerinde azot elementi temel sınırlayıcı besin maddesi olarak nitelendirilmektedir (Ryther ve Dunstan, 1971; Howarth ve Marino, 2006). Yeni hücre sentezi ve biyolojik arıtma süreçlerinin sağlıklı işleyebilmesi için ortamdaki besin maddesi dengesi kritik öneme sahip olmaktadır. Genel kabul gören yaklaşıma göre mikroorganizmaların 100 birim karbon kaynağını (BOİ) metabolize edebilmesi için 5 birim azot ve 1 birim fosfor elementine ihtiyaç duymaktadır (Metcalf & Eddy, 2014; Eckenfelder, 2000). Biyokütle sentezinde fosfora kıyasla çok daha yüksek oranda (5 kat) ihtiyaç duyulan azotun, tarımsal yüzey akışları ve atıksularla azot sınırlaması olan alıcı ortamlara deşarjı, bu engeli ortadan kaldırarak mavi-yeşil alglerin (siyanobakteriler) ve fitoplanktonların hızla hücre yapımında bu elementi değerlendirmesini ve kontrolsüzce çoğalmasını sağlamaktadır. Bu durum ise ciddi bir çevresel kriz olan ötrofikasyon olarak adlandırılmaktadır.

Ötrofikasyon problemi meydana gelmesi durumunda alıcı ortamların yüzeyinde yoğun bir alg tabakası (alg patlamaları) oluşumu meydana gelmektedir. Bu durum neticesinde su yüzeyinin geçirgenliği etkilenmekte ve alt tabakalara doğru ışık geçirgenliği ciddi oranda azalmaktadır. Işık girmeyen su içindeki bölgelerde fotosentetik canlılar fotosentez işlevini yerine getiremeyerek ortamda çözünmüş olarak yer alan oksijen miktarı hızla tükenmektedir (hipoksi). Bu durum ise ekosistemde geri döndürülemez tahribatlara sebep olarak balıkların ve daha düşük yapılı sucul canlıların toplu ölümü olarak sonuçlanmaktadır. Ayrıca bu organik bozunma süreçleri, koku problemlerine ve ilgili ekosistemde estetik olarak hoş olmayan, bulanık ve toksik bir görüntüye sebep olmaktadır.

4) AZOT GİDERİM YÖNTEMLERİ

Evsel ve bazı endüstriyel atıksular arıtılmadan deşarj edilemeyecek konsantrasyonlarda azot içerirler. Atıksularda azot; amonyum, nitrat, nitrit ve organik azot (proteinler, aminoasitler, üre vb.) formunda bulunur (Metcalf & Eddy, 2014). Sucul ortamlara yeteri kadar arıtılmadan verilen azotlu atıksular ötrofikasyona ve toksisiteye sebep olmalarından dolayı, birçok ülkede azot bakımından deşarj limitleri çok düşük konsantrasyonlara çekilmiştir. Geleneksel atıksu arıtma tesislerinin birçoğu başlangıçta sadece karbon giderimine odaklanmış olsa da günümüzde alıcı ortamların korunması amacıyla nütrient giderimi zorunlu hale getirmiştir (Sedlak, 1991; SKKY, 2004). Hâlihazırda atıksulardan azot giderimi için biyolojik ve fizikokimyasal yöntemlerin yaygın olarak kullanılmasına rağmen azot konsantrasyonunu daha düşük seviyelere düşürebilecek ve enerji maliyetlerini minimize edebilecek ekonomik yöntemler (örneğin ANAMMOX prosesi) için çok yoğun araştırmalar sürmektedir (Ahn, 2006). Atıksulardan azot giderimi, alıcı ortam standartlarının giderek sıkılaşmasıyla birlikte temel olarak fiziko-kimyasal ve biyolojik yöntemler olmak üzere iki ana kategoride uygulanmaktadır (Metcalf & Eddy, 2014). Fizikokimyasal yöntemler (amonyak sıyırma, kırılma noktası klorlaması veya iyon değiştirme), tarihsel süreçte oldukça yaygın kullanılmış olup biyolojik sistemlere alternatif olarak uygulanmaktadır. Örneğin amonyak sıyırma işleminde, atıksuya kireç veya sodyum hidroksit gibi alkaliler ilave edilerek atıksuyun pH'ı yüksek seviyelere çıkarılır. Çözünmüş haldeki amonyum iyonları (NH_4^+), bu yüksek pH koşullarında serbest amonyak (NH_3) gazına dönüşür ve sisteme verilen hava akımı ile sıyrılarak sudan uzaklaştırılır. Fizikokimyasal yöntemler %90'ın üzerinde yüksek giderim verimi sağlasa da, işletme maliyetini artıran sürekli kimyasal madde tüketimi, kış aylarında azalan verim ve atmosfere amonyak gazı salınımı gibi ciddi dezavantajlara sahip olmaktadır (EPA, 2000; Sedlak, 1991).

Biyolojik yöntemler, azotun mikrobiyal süreçlerle azot gazına (N_2) dönüştürülerek atmosfere verilmesi ile sürdürülmektedir. İlgili biyolojik sistem, bakterilerin sırasıyla aerobik (oksijenli) ve anoksik (oksijensiz) koşullara tabi tutulması ile işletilmektedir. Aerobik fazda, ototrof nitrifikasyon bakterileri (Nitrosomonas ve Nitrobacter vb.) atıksudaki amonyumu oksitleyerek

nitrit ve nitrata dönüştürür. Sonraki aşamada ise anoksik fazda, heterotrof denitrifikasyon bakterileri karbon kaynağı kullanarak bu nitratı zararsız azot gazına indirgemekte ve azotun sistemden uzaklaştırılmasını sağlamaktadır (Metcalf & Eddy, 2014).

Azotun yeniden kullanılması amacıyla uygulanan kristalizasyon süreçleri azot giderilmesinde ve geri kazanımında bir diğer azot tutma yöntemi olmaktadır. Kristalizasyon sürecinde atıksudaki amonyum, sisteme ilave edilen magnezyum ve fosfat iyonları ile reaksiyona sokularak struvit ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) adı verilen amonyum-fosfat mineraline dönüştürülmektedir. Süreç sonunda elde edilen struvit katısı, tarımsal faaliyetlerde yavaş salınımlı gübre olarak doğrudan kullanılabilirken, aynı zamanda su ortamından azotun verimli bir şekilde uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Le Corre vd., 2009). Ayrıca, çıkış suyunda kalan eser miktardaki azot türevlerini tutmak ve alıcı ortamı tam korumak amacıyla adsorpsiyon yöntemleri ve membran teknolojileri gibi ileri arıtım teknikleri de hassas su havzalarının yönetiminde entegre bir biçimde kullanılabilmektedir (Bhatnagar ve Sillanpää, 2011).

5) SONUÇLAR

Azot, biyolojik yaşamın sürdürülebilirliği için oldukça önemli ve vazgeçilmez bir makro besin elementidir. Fakat alıcı ortamlara yeterince arıtılmadan deşarj edilmesi durumunda, sucul ekosistemler için ciddi bir tehdit olan ötrofikasyon ve amonyak toksisitesi gibi problemlere sebep olmaktadır. Aminoasitlerin, proteinlerin, enzimlerin ile DNA ve RNA gibi canlılık için gerekli temel moleküllerin yapısında bulunması azotu biyolojik süreçler için alternatifsiz bir element olarak nitelendirirken alıcı ortamlarda temel sınırlayıcı bileşen olması ötrofikasyon riskini beraberinde getirmektedir.

Biyosferdeki azot dengesinin ve mevcut canlılık aktivitelerinin sürdürülmesi amacıyla, azot elementi yönetiminde aoztun geri kazanılması ya da tekrar kullanılabilir şekilde toplanması gerekmektedir. Yüksek enerji gerektiren endüstriyel azot fiksasyonu dikkate alındığında, azotun bir atık olarak atmosfere veya suya deşarj edilmesi yerine, struvit kristalizasyonu veya sıvı gübre geri kazanımı gibi yenilikçi teknolojilerle atıksulardan geri kazanılarak yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, özellikle kapalı körfezler, göller ve içme suyu havzaları gibi hassas su ekosistemlerine yapılan deşarjlarda, biyolojik arıtma (ANAMMOX vb.) çıkış sularının adsorpsiyon veya ileri membran teknolojileri ile desteklenerek azot konsantrasyonlarının yasal mevzuatlar ile daha sıkı standartlara bağlanması ve arıtılmadan yapılan deşarjların kesinlikle önüne geçilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Ahn, Y. H. (2006). Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: A review. *Process Biochemistry, 41*(8), 1709-1721.

Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2012). *Biochemistry* (7. baskı). W. H. Freeman.

Bhatnagar, A., & Sillanpää, M. (2011). A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. *Chemical Engineering Journal, 168*(2), 493-504.

Eckenfelder, W. W. (2000). *Industrial water pollution control*. McGraw-Hill.

EPA (Environmental Protection Agency). (2000). *Wastewater technology fact sheet: Ammonia stripping*. Washington, DC: EPA.

Erisman, J. W., Sutton, M. A., Galloway, J., Klimont, Z., & Winiwarter, W. (2008). How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience, 1*(10), 636-639.

Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., Boyer, E. W., Howarth, R. W., Seitzinger, S. P., Asner, G. P., Cleveland, C. C., Green, P. A., Holland, E. A., Karl, D. M., Michaels, A. F., Rabalais, N. N., Russell, J. M., Townsend, A. R., & Vösmarty, C. J. (2004). Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry, 70*(2), 153-226.

Gruber, N., & Galloway, J. N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature, 451*(7176), 293-296.
Howarth, R. W., & Marino, R. (2006). Nitrogen as the limiting nutrient for eutrophication in coastal marine ecosystems: evolving views over three decades. *Limnology and Oceanography, 51*(1 part 2), 364-376.
Le Corre, K. S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P., & Parsons, S. A. (2009). Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 39*(6), 433-477.
Liebig, J. (1840). *Chemistry in its application to agriculture and physiology*. Taylor and Walton.
Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., vd. (2016). *Molecular cell biology* (8. baskı). W. H. Freeman.
Metcalf, L., & Eddy, H. P. (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5. Baskı). McGraw-Hill Education.
Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2017). *Lehninger principles of biochemistry* (7. baskı). W. H. Freeman.
Ryther, J. H., & Dunstan, W. M. (1971). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in the coastal marine environment. *Science, 171*(3975), 1008-1013.
Sedlak, R. I. (1991). *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater: Principles and practice*. CRC Press.
SKKY (Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği). (2004). *T.C. Resmi Gazete*, 25687.
Smil, V. (2001). *Enriching the earth: Fritz Haber, Carl Bosch, and the transformation of world food production*. MIT Press.
Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5. baskı). Sinauer Associates.
Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H., & Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications, 7*(3), 737-750.

AFET SONRASI DEMOGRAFİK KAYMA: 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ DEPREMLERİ SONRASI KIRSALA GÖÇÜN İŞ GÜCÜ ve AİLE İÇİ İLİŞKİLERE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Hurigül EKEN
Selçuk University, Faculty of Letters, Department of Sociology,42130, Konya
ORCID ID: 0000-0001-9914-9718

ÖZET

6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli olarak meydana gelen şiddetli depremler, Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en ağır fiziksel, mekânsal ve sosyo-ekonomik yıkımlarından birine sebep olmuştur. Afetin hemen ardından, depremden etkilenen 11 il genelinde kent merkezlerindeki altyapının çökmesi, binaların yıkılması ve ciddi bir barınma krizinin ortaya çıkması, görülmemiş boyutta kitlesel bir nüfus hareketliliğini tetiklemiştir. Bu demografik hareketliliğin en dikkat çekici ve sosyolojik açıdan özgün boyutunu, şehir merkezlerinden çevredeki kırsal yerleşim yerlerine, köy ve mezralara doğru gerçekleşen tersine göç dalgası oluşturmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu afetin tetiklediği demografik kaymanın hem makro hem de mikro düzeydeki toplumsal ve ekonomik yansımalarını bütüncül ve akademik bir perspektifle analiz etmeyi amaçlamaktadır. Makro düzeyde, afet sonrasında kırsal alanlara akın eden nüfusun bölgenin temel ekonomik taşıyıcısı konumundaki tarımsal iş gücü piyasalarına eklemlenme biçimleri incelenmektedir. Ani nüfus artışıyla birlikte ortaya çıkan iş gücü fazlası, ücretsiz aile işçiliğinin yaygınlaşması, enformel istihdam rekabetinin tırmanması ve üretim süreçlerindeki dönüşümler detaylıca ele alınmaktadır.

Mikro düzeyde ise kırsal hane halkı yapısında meydana gelen dönüşümler ile aile içi ilişkiler ve dinamikler mercek altına alınmaktadır. Kentten köye ani ve hazırlıksız dönüşlerin yarattığı mekânsal sıkışma, sınırlı fiziki imkânların ortak kullanımı ve değişen yaşam koşulları, hane halkı bireyleri arasında rol çatışmalarına yol açmıştır. Ayrıca çalışma, kriz anlarında geleneksel toplumsal cinsiyet rollerinin yeniden üretilme veya dönüşme biçimlerini, kadınların ev içi ve tarımsal emek süreçlerindeki değişen yüklerini sosyolojik ve ekonomik kuramlar ışığında tartışmaktadır. Sonuç olarak çalışma, afet sonrası kırsal kalkınma, iş gücü planlaması ve sosyal politika müdahaleleri için stratejik bir zemin sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 6 Şubat Depremleri, Tersine Göç, Tarımsal İş Gücü, Aile İçi İlişkiler, Toplumsal Cinsiyet, Kırsal Sosyoloji.

THE IMPACT OF REVERSE RURAL MIGRATION ON LABOR MARKETS AND INTRA-FAMILY RELATIONS AFTER THE FEBRUARY 6, 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES

ABSTRACT

The devastating earthquakes centered in Kahramanmaraş on February 6, 2023, caused one of the most severe physical, spatial, and socio-economic crises in the history of the Republic of Türkiye. In the immediate aftermath of the disaster, the structural collapse of urban infrastructure and the emerging acute housing crisis across the 11 affected provinces triggered massive population mobility. One of the most distinctive and sociologically significant patterns of this movement has been the reverse migration wave flowing from heavily damaged urban centers toward peripheral rural areas, villages, and hamlets.

This study comprehensively analyzes the structural impacts of this disaster-induced demographic shift from an academic perspective, examining both macro-economic and micro-sociological dimensions. At the macro level, the research investigates how the sudden influx of displaced urban populations integrated into rural agricultural labor markets—the primary economic backbone of the region. It critically addresses key dynamics such as the absorption of surplus labor, the surge in unpaid family labor, intensifying informal labor competition, and shifting agricultural production patterns.
At the micro level, the paper examines the structural transformations within rural households and intra-family dynamics. Spatial overcrowding resulting from abrupt urban-to-rural returns, shared use of limited physical resources, and altered living conditions have engendered role conflicts and negotiated family dynamics. Furthermore, through the lens of sociological and economic theories, the study discusses how traditional gender roles are reproduced or reshaped under crisis conditions, with a specific focus on women's shifting burdens in domestic and agricultural labor. Ultimately, this work provides a strategic foundation for post-disaster rural development policies, labor market planning, and targeted social policy interventions.
Keywords: February 6 Earthquakes, Reverse Migration, Agricultural Labor Force, Intra-Family Relations, Gender, Rural Sociology.

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Konusu ve Önemi

Doğal afetler; ani gelişmeleri ve yıkıcı etkileriyle toplumsal yapıda derin izler bırakan, makro düzeydeki sosyo-mekânsal kırılma noktalarıdır (Quarantelli, 2005). 6 Şubat 2023 tarihinde gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremler, Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en büyük fiziksel ve demografik yıkımlarından birine sebep olmuştur. Kent merkezlerindeki konut stokunun, ticari alanların ve temel kentsel altyapının çökmesi, hayatta kalan nüfusu acil bir barınma ve güvenlik arayışına itmiştir. Bu doğrultuda, kentsel alanlardan çevre illere ve etkilenen kentlerin kendi kırsal çeperlerine doğru kitlesel bir nüfus hareketi (demografik kayma) tetiklenmiştir. Kırsal alanların afet dönemlerinde üstlendiği bu "güvenli liman" rolü, bölgedeki sosyoekonomik ve sosyokültürel dengeleri yeniden şekillendirdiği için sosyolojik açıdan incelenmesi gereken kritik bir konudur.

1.2. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı, 6 Şubat Depremleri sonrasında kent merkezlerinden kırsal bölgelere yönelen zorunlu göç hareketinin, kırsal alandaki tarımsal iş gücü dinamikleri ile hanehalkı ve aile içi ilişkiler üzerindeki etkilerini yapısal bir perspektifle analiz etmektir. Çalışma kapsamında; ani nüfus artışının tarımsal üretim süreçlerine yansımaları, ücretsiz aile işçiliği mekanizmalarının geçirdiği dönüşüm ve kentsel çekirdek ailelerin kırsal geniş aile yapılarına eklemlenmesiyle ortaya çıkan hane içi güç ve rol değişimleri ayrıntılı olarak ele alınmaktadır. Coğrafi kapsam olarak depremden en ağır hasarı alan Hatay, Kahramanmaraş, Malatya ve Adıyaman illerinin kırsal bölgelerine odaklanılmıştır.

1.3. Yöntemsel Yaklaşım ve Sınırlılıklar

Bu makale, afet sosyolojisi, göç çalışmaları ve tarım sosyolojisi literatüründeki kuramsal yaklaşımlardan beslenen niteliksel bir durum analizi olarak tasarlanmıştır. Çalışmada, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri, ilgili bakanlık raporları, sahada yürütülen akademik projelerin ön raporları ve ikincil veriler harmanlanarak kavramsal bir model sunulmuştur. Çalışmanın en temel sınırlılığı, deprem sonrası bölgedeki demografik hareketliliğin halen dinamik bir süreç izlemesi ve uzun vadeli nicel verilerin tam olarak olgunlaşmamış olmasıdır.

2. Kuramsal ve Kavramsal Çerçeve

2.1. Göç Kavramı ve İtici/Çekici Güçler Kuramı

Göç, bireylerin veya toplulukların ekonomik, sosyal, siyasi ya da doğal/çevresel faktörlerin etkisiyle kalıcı ya da geçici olarak yerleşim yerlerini değiştirmeleri eylemidir (Castles ve Miller, 2008). Afet literatüründe bu durum çoğunlukla "zorunlu yerinden edilme" (*forced displacement*) olarak kavramsallaştırılır.

Lee (1966) tarafından formüle edilen İtici ve Çekici Güçler Kuramı, göç hareketlerini kaynak yerdeki olumsuzluklar ve hedef yerdeki avantajlar dengesi üzerinden okur. Olağan koşullarda kırsal alanlar ekonomik yetersizlikler nedeniyle "itici", kentler ise istihdam ve konfor imkânlarıyla "çekici" konumdadır. Ancak büyük bir afet anında bu denklem tersine döner. Deprem sonrası kent merkezleri; yıkım, altyapı yoksunluğu, salgın hastalık riskleri ve güvenlik sorunları ile ekstrem birer itici güç odağı haline gelir. Buna karşılık kırsal alanlar; müstakil yerleşim dokusu, açık alan avantajı, geçimlik gıda üretimine erişim imkânı ve tanıdık akrabalık ağlarının sunduğu sosyal sermaye ile güçlü birer çekici güç alanına dönüşür (Boyle vd., 1998).

2.2. İlişkisel ve Yapısal Yaklaşım: Göç Sistemleri ve Ağ Teorisi

Modern göç hareketleri, sadece bireysel kararlar veya ekonomik farklar ile açıklanamayacak kadar karmaşıktır. Ağ (*Network*) Teorisi, göçün bir kez başladıktan sonra göçmenler ile geride kalanlar arasında kurulan sosyal akrabalık bağları, hemşerilik ilişkileri ve bilgi akışları sayesinde kendi kendini besleyen bir sürece dönüştüğünü savunur. Bu sosyal sermaye, sonraki göç dalgalarının riskini ve maliyetini azaltır (Güven, 2023, s. 142).

Ağ teorisini daha geniş bir çerçeveye oturtan Göç Sistemleri Kuramı ise, göç veren ve göç alan bölgeler arasındaki sadece insan akışını değil; tarihsel, kültürel, siyasi ve teknolojik bağların oluşturduğu bütüncül bir "sistemik alanı" inceler. Afet dönemlerinde kentsel alanlardan kırsal çeperlere yönelen tersine göçler, bu iki mekân arasında daha önceden var olan organik bağların ve kentsel-kırsal sistem ağlarının kriz anında bir güvenlik supabı olarak devreye girmesiyle açıklanır (Güven, 2023, s. 149).

2.3. Deprem ve Afet Sosyolojisi Perspektifi

Deprem, jeolojik açıdan yer kabuğundaki fay hatlarında biriken enerjinin ani kırılmasıyla yeryüzüne sismik dalgalar halinde yayılmasıdır. Sosyolojik açıdan ise deprem, toplumsal sistemin işleyişini kesintiye uğratan, mevcut sınıfsal, toplumsal cinsiyete dayalı ve mekânsal eşitsizlikleri kristalize eden kolektif bir kriz durumudur (Oliver-Smith, 1996).

Afet Sosyolojisi, toplumların afetler karşısındaki kırılganlıklarını, adaptasyon kapasitelerini, risk yönetim stratejilerini ve kriz anlarında geliştirdikleri kitlesel dayanışma veya çatışma örüntülerini inceler (Quarantelli, 1998). Afet sosyolojisi perspektifinden bakıldığında, 6 Şubat Depremleri sonrası yaşanan kırsala göç, bireylerin kolektif travma karşısında geliştirdikleri temel "başa çıkma ve uyum" (*coping*) mekanizmalarından biridir.

2.4. Yeni Ekonomi Göç Teorisi: Hanenin Kolektif Stratejisi

Neoklasik kuramın "bireysel rasyonalite" vurgusuna eleştirel bir alternatif olarak gelişen Yeni Ekonomi Göç Teorisi (*New Economics of Migration*), göç kararının bireysel değil, kolektif bir hanehalkı stratejisi olduğunu ileri sürer. Haneler sadece gelir artışını hedeflemez; aynı zamanda yerel piyasalardaki riskleri (ürün kaybı, işsizlik, piyasa başarısızlıkları ve doğal afetler) minimize etmek ve gelir kaynaklarını çeşitlendirmek adına üyelerinden bazılarını göç ettirirler (Gök ve Taş, 2025, s. 204).

Kriz ve afet sosyolojisi literatüründe bu kuram, hanenin hayatta kalma reflekslerini anlamada kritik bir araçtır. Afet sonrasında hane üyelerinin bir kısmının kırsala dönerek tarımsal üretime katılması, bir kısmının ise şehirde kalarak alternatif iş kollarını zorlaması, hanenin karşı karşıya kaldığı mutlak riski bölme ve ekonomik şokları absorbe etme stratejisidir (Gök ve Taş, 2025, s. 211).

2.5. Tarımsal İş Gücü ve Kırsal Üretim İlişkileri

Tarımsal iş gücü; bitkisel yetiştiricilik, hayvancılık, ormancılık ve su ürünleri gibi doğrudan toprağa ve doğaya bağımlı üretim kollarında, fiziksel ya da zihinsel emeğini ortaya koyarak üretim sürecine katılan insan kaynağıdır (Boratav, 2003). Tarımsal iş gücü yapısı; ücretli/yevmiyeli daimi işçiler, mevsimlik tarım işçileri, kendi hesabına çalışan toprak sahipleri ve herhangi bir nakdi ücret almadan hane içi üretime katılan "ücretsiz aile işçileri"nden meydana gelir (Keyder ve Yenal, 2013). Tarım sektörü, sanayi ve hizmet sektörlerine kıyasla esnek, kayıt dışılığa açık ve aile odaklı bir emek organizasyonu yapısına sahiptir. Ani nüfus şokları, bu hassas emek dengesini ve üretim ilişkilerini doğrudan sarsma potansiyeline sahiptir.

3. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri ve Tersine Göç Hareketleri

6 Şubat 2023 tarihinde öngörülmeyen bir şiddetle meydana gelen çifte deprem, bölgedeki sanayi ve hizmetler sektörünü felç ederken kentsel yaşam alanlarını yaşanamaz kılmıştır. Depremin hemen ardından ilk birkaç hafta içinde, özellikle Hatay, Malatya ve Adıyaman gibi şehirlerin merkezlerinden çevre kırsal ilçelere ve köylere doğru kontrolsüz ve yoğun bir nüfus akışı gerçekleşmiştir (TÜİK, 2024).

Yıllardır süregelen kırsaldan kente göç dalgası bu büyük yıkımla birlikte tersine dönmüştür. Kentte apartman dairelerinde yaşayan mülk sahibi veya kiracı nüfus; köylerdeki akrabalarının yanına, varsa kendi eski taş/kerpiç evlerine, bağ evlerine ya da kurulan geçici çadır/konteyner alanlarına sığınmıştır. Bu demografik kayma, kırsal yerleşimlerin nüfus yoğunluğunu aniden ikiye, bazı bölgelerde üçe katlayarak kırsal ekoloji üzerinde beklenmedik bir sosyoekonomik baskı yaratmıştır (Escarus, 2024).

4. Kırsala Göçün İş Gücü Üzerindeki Etkileri

6 Şubat Depremleri, kentsel ekonomik altyapıyı felce uğratarak sanayi ve hizmet sektöründe radikal istihdam kayıplarına yol açmıştır. Kent merkezlerindeki iş yerlerini ve üretim araçlarını kaybeden depremzedelerin kırsal çeperlere sığınması, kırsal iş gücü piyasalarında eşi benzeri görülmemiş bir emek arzı şokuna neden olmuştur. Kırsal ekonominin sınırlı istihdam kapasitesi, aniden bölgeye dahil olan heterojen ve kent kökenli iş gücü nüfusunu absorbe etmekte yetersiz kalmıştır (Karaca, 2024, s. 142). Kentte ticaret, üretim veya hizmet sektöründe uzmanlaşmış depremzedeler, kırsal alanda kendi mesleki formasyonlarına uygun işler bulamadıkları için ciddi bir istihdam şoku ve mesleki de-kalifikasyon (beceri kaybı) süreciyle karşı karşıya kalmışlardır (Karaca, 2024, s. 145).

Bu yapısal tıkanıklık, acil geçim stratejilerinin bir parçası olarak kayıt dışı ve güvencesiz çalışma biçimlerini kırsal alanda kitleselleştirmiştir. Maddi varlıklarını yitiren depremzede bireyler, sosyal güvenceden yoksun, asgari ücretin altındaki gündelik işlerde (enkaz kaldırma sonrası yerel inşaat faaliyetleri, lojistik, depolama ve küçük ölçekli fason üretimler) çalışmaya mecbur bırakılmıştır (Güneş ve Özkan, 2025, s. 89). İstihdam piyasasındaki bu aşırı yığılma, kırsal bölgelerdeki genel ücret seviyelerinin aşağı çekilmesine ve yerel emek piyasasında çalışanların da hak kayıpları yaşamasına neden olan bir "emeğin ucuzlaması" sarmalını tetiklemiştir.

Özellikle kadın depremzedelerin iş gücüne katılım pratikleri bu dönemde tamamen kayıt dışı ve ev içi eksenli hale gelmiştir. Kentte ücretli bir işte çalışan birçok kadın, kırsal alandaki yeni çadır/konteyner yaşamının getirdiği hane içi bakım yükümlülükleri ve kırsaldaki sınırlı iş imkânları nedeniyle kamusal iş gücü piyasasından çekilmek zorunda kalmıştır (Güneş ve Özkan, 2025, s. 94). Bu durum, deprem sonrasında kadın istihdamında dramatik bir gerilemeye ve kadının hane içindeki bağımlılık ilişkilerinin yeniden üretilmesine yol açmıştır. Kırsal iş gücündeki bu dönüşüm, afetin yarattığı ekonomik yıkımın, toplumsal cinsiyet rolleri ve emek sömürüsü üzerinden kırsalda nasıl derinleştiğini açıkça göstermektedir (Şahin, 2024, s. 211).

4.1. Genel İş Gücü Üzerindeki Temel Boyutlar

İş Gücü Arzında Yığılma ve İstihdam Krizi: Kentte esnaflık, hizmet sektörü çalışanlığı, tekstil işçiliği veya sanayi ustalığı yapan nitelikli ya da yarı nitelikli depremzede nüfus, kırsal alana geçtiğinde kendi mesleklerini icra edebilecekleri alanlar bulamamıştır. Bu durum kırsalda gizli işsizlik ve emek yığılması yaratmıştır.

Kayıt Dışı Çalışma ve Emeğin Ucuzlaması: Ekonomik birikimlerini kaybeden depremzedeler, nakit ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına kırsaldaki en güvencesiz, düşük ücretli ve kayıt dışı işleri kabul etmek zorunda kalmışlardır.

Mesleki Deformasyon ve Beceri Uyuşmazlığı: Kent kökenli iş gücünün mesleki becerileri ile kırsal ekonominin talep ettiği iş gücü profili (fiziksel güce dayalı işler, tarım ve hayvancılık) uyuşmamıştır. Bu durum entegrasyonu geciktirmiştir.

4.2. İş Gücü Arzındaki Değişim ve Üretim İlişkileri

Kente göç etmiş ancak deprem sebebiyle işini, dükkânını veya ofisini kaybetmiş kentsel iş gücünün köye dönüşü, kırsalda nicel bir iş gücü arzı fazlası yaratmıştır. Ancak kent kökenli bu nüfusun tarımsal üretim pratiklerine (çapa, ilaçlama, budama, sağım vb.) yabancılaşmış olması, iş gücü niceliği artsa dahi niteliksel verimliliğin aynı oranda artmasını engellemiştir (Kriter Dergi, 2023).

Ayrıca depremde ahırların yıkılması, hayvanların telef olması ve traktör/tarım aletlerinin göçük altında kalması sebebiyle sermaye stoku azalan tarım sektörü, bu yeni iş gücünü absorbe etmekte zorlanmıştır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2023). Sonuç olarak, geleneksel küçük üreticiler kendi topraklarında daha fazla boşa düşen emekle karşı karşıya kalmış, bu da tarımsal emeğin değersizleşmesi veya gizli işsizlik riskini beraberinde getirmiştir.

4.3. Kadın ve Çocuk Emeğinin Dönüşümü

Kırsal alanda tarımsal iş gücünün görünmez omurgasını oluşturan kadın emeği, afet sonrası göçle birlikte katmerli bir sömürü sarmalına girmiştir. Köy hanelerine kentsel alanlardan eklemlenen yeni nüfus, ev içi bakım emeği (yemek, temizlik, çocuk ve yaşlı bakımı) yükünü radikal şekilde artırmıştır (İlkkaracan, 2014). Kadınlar bir yandan bu genişleyen ev içi talepleri karşılamaya çalışırken, diğer yandan bütçe açıklarını kapatabilmek adına tarlada ve hayvancılık faaliyetlerinde daha aktif rol almak zorunda kalmışlardır. Eğitim altyapısının çökmesi ve okulların kapanması ise çocukların eğitim dışı kalmasına ve tarımsal iş süreçlerine (özellikle hayvan bakımı ve hasat dönemlerinde) "ücretsiz aile işçisi" olarak eklemlenmesine yol açmıştır.

5. Kırsala Göçün Aile İçi İlişkilere Etkisi

5.1. Mekânsal Sıkışmışlık ve Hanehalkı Yapısının Genişlemesi

Deprem öncesinde bağımsız, mahrem ve kentsel konfor standartlarına sahip çekirdek ailelerde yaşayan bireyler, afetin yıkıcı etkisiyle kırsaldaki ebeveyn evlerine dönerek "zorunlu geniş aile" formuna bürünmüşlerdir. Kırsal konut yapısının fiziki yetersizliği, birden fazla çekirdek ailenin aynı çatı altında, ortak mutfak ve banyo alanlarını paylaşarak yaşamasını zorunlu kılmaktadır. Erving Goffman'ın (1959) *Benliğin Sunumu* teorisi bağlamında değerlendirildiğinde; bireylerin kendilerine ait "arka sahne" (*private/back stage*) alanlarının tamamen yok olması ve sürekli "ön sahnede" (*public/front stage*) yaşamak zorunda kalmaları, mekânsal sıkışmışlığı ve buna bağlı psikolojik yıpranmayı tetiklemiştir.

Afetlerin ardından yaşanan kitlesel yer değiştirmeler, hanehalkı yapısını mekânsal ve işlevsel olarak yeniden inşa etmektedir. 6 Şubat Depremleri sonrasında Kahramanmaraş ve çevre illerden kırsal bölgelere yönelen göç dalgası, ilk etapta barınma krizinin aşılması adına hanelerin birleşmesine ve dolayısıyla aile yapısının niceliksel olarak büyümesine yol açmıştır. Ancak bu durum mekânsal sıkışmışlığı ve mahremiyet krizini beraberinde getirmiştir. Kriz dönemlerinde genişleyen aile modellerinde, bireyler arası sınırların muğlaklaşması hane içi

çatışma riskini artırmaktadır (Öztürk ve Yılmaz, 2024, s. 45). Özellikle çadır ve konteyner kentlerdeki yaşam, geleneksel aile içi karar alma süreçlerini sekteye uğratmış, ekonomik kaynakların yönetimi eşler arasında yeni güç mücadelelerine neden olmuştur.

5.2. Aile Yapısı ve Kuramsal Dinamikler

Aile; aralarında evlilik, kan veya evlat edinme yoluyla kurulan biyolojik ve hukuki bağlar bulunan, genellikle aynı mekânı paylaşan, çocukların bakımı ve sosyalleşmesi ile hanenin ekonomik idamesinden sorumlu olan en küçük toplumsal kurumdur (Kongar, 1972). Aile içi ilişkiler ise hanehalkını oluşturan bireyler arasındaki güç dengelerini, yaş ve cinsiyete dayalı iş bölümünü, karar alma hiyerarşilerini, duygusal bağlılıkları ve kuşaklararası iletişim süreçlerini kapsar. Afetler, çekirdek aileni sınırlarını zorlayarak onu akrabalık ağlarıyla genişlemeye zorlar ve hane içi geleneksel statüleri istikrarsızlaştırır (Kandiyoti, 1988).

Kırsala göç, konut (mekân) ve iş gücü (üretim) ekseninde aile içi rolleri tamamen yeniden üretmiştir. İlişkisel sosyoloji penceresinden bakıldığında, roller sabit kalmamış; mekânsal sıkışmışlığa göre esnemiş veya kırılmıştır. Yapısal dönüşüm şu süreç üzerinden ilerlemektedir:

[Kentsel Yıkım] ⟶ [Kırsal Konuta Sığınma] ⟶ [Mekânsal Sıkışma & Mahremiyet Kaybı]
↓
[Geleneksel Sektör kaybı / Ücretsiz Tarım İşçiliği] ⟶ [Ekonomik Bağımlılık & Rol Çatışması]

Konut ve Mahremiyet Krizi

Deprem öncesinde çekirdek aile modelinde (anne-baba-çocuklar) yaşayan bireyler, kırsalda geniş aile (kayınvalide, kayınpeder, elti, görümce) düzenine ani bir geçiş yapmıştır (Sevim, 2024, s. 15).

- **Mahremiyet Kaybı:** Sınırlı alanlarda birden fazla çekirdek ailenin bir arada barınması, eşler arasındaki özel hayatı sınırlandırmış; bu durum evli çiftler arasında tahammülsüzlüğe ve gizli gerilimlere neden olmuştur.
- **Rol Çatışmaları:** Kentte kendi evinin yöneticisi konumundaki kadın, kırsal geniş aile evinde "gelin" pozisyonuna geri dönmüştür. Mutfak yönetimi, temizlik rutinleri ve çocuk yetiştirme pratikleri üzerinde hane büyükleriyle yaşanan otorite alan mücadeleleri, aile içi huzursuzluğu tırmandırmıştır.

İş Gücü Dinamikleri ve Ekonomik Bağımlılık

Kentteki düzenli işini, dükkânını veya fabrikadaki pozisyonunu kaybeden erkek ve kadınlar, kırsalda ekonomik olarak işlevsizleşmiştir.

- **Geriye Doğru İş Gücü Kayması:** Kentteki nitelikli iş gücü, kırsalda "ücretsiz aile işçisi" konumuna düşmüş veya kayıt dışı gündelik işlere yönelmiştir.
- **Ataerkil Rol Krizi ve Şiddet Eğilimi:** Geleneksel yapıda "evi geçindiren" rolündeki erkeğin, kendi babasının veya kayınpederinin evinde ekonomik olarak bağımlı hale gelmesi ciddi bir otorite ve rol krizine yol açmıştır (Yıldırım, 2015, s. 969). Bu ekonomik yetersizlik hissi ve stres, aile içinde kadına ve çocuklara yönelik sözel/fiziksel şiddet riskini artırmıştır.

5.3. Aile İçi İlişki Tipleri

5.3.1. Eşler Arası İlişkiler

Deprem öncesinde kentte belirli bir iş bölümüne dayalı olan eşler arası dinamikler, kırsala göçle altüst olmıştır. Kırsalda tarımsal iş gücüne katılım zorunluluğu kadınların üzerindeki yükü iki katına çıkarmıştır; kadınlar hem hane içi bakım emeğini (çadır/konteyner düzeni, çocuk bakımı) sürdürmek hem de tarlada/bahçede çalışmak zorunda kalmışlardır.

Mekânsal mahremiyetin kaybı, eşler arasındaki duygusal ve fiziksel paylaşımları minimuma indirmiştir. Ekonomik belirsizlikler ve gelecek öngörüsünün kaybı, aile içi kararlarda (örneğin yardımların kullanımı, kente geri dönüş planlaması) çatışmaları tetiklemiştir. Geleneksel karar alma mekanizmaları, kriz anında erkeğin "koruyucu ve sağlayıcı" rolünün sarsılmasıyla kriz yaşamış, bu durum ev içi şiddet riskini ve boşanma eğilimlerini artırmıştır.

Kırsal alana göçün getirdiği tarımsal iş yükü, kadının emeğini hem hane içinde hem de üretim alanında çifte sömürüye maruz bırakmıştır. Erkek figürünün sosyoekonomik statü kaybı ve "evi geçindiren" rolünün sarsılması, hane içi gerilimleri tırmandırmıştır (Çelik, 2025, s. 112). Bu durum, afet sonrası dönemlerde boşanma eğilimleri ve aile içi şiddet vakalarındaki artışla doğrudan ilişkilidir.

5.3.2. Ebeveyn-Çocuk İlişkisi

Afet sonrası ebeveyn-çocuk ilişkisindeki en dramatik dönüşüm, "ebeveyn kaybı" ve buna bağlı gelişen rol değişimleridir. Depremde bir veya her iki ebeveynini birden kaybeden çocuklar, akraba korumasına girseler dahi derin bir güvensizlik duygusu yaşamışlardır. Hayatta kalan ebeveynler ise kendi travmaları ve yas süreçleriyle baş etmeye çalışırken, çocuklarına ihtiyaç duydukları psikososyal desteği vermekte yetersiz kalmışlardır.

Bu süreçte en dikkat çeken olgu "erken olgunlaşma" (*parentification*) sürecidir. Çocuklar, yetişkinlerin dünyasındaki krizi erkenden göğüslemek zorunda kalmış; ebeveynlerinin acısına ortak olmak, kardeşlerine bakmak veya haneye su/odun taşımak gibi sorumluluklar üstlenmiştir. Ebeveynlerin çocuk üzerindeki koruyucu kalkanı kırsal yaşamın getirdiği hayatta kalma mücadelesi içinde gevşemiş, bu da ebeveyn-çocuk arasındaki dikey hiyerarşiyi bozarak çocuğu erken yaşta bir "ortak mücadele partneri" haline getirmiştir.

Ebeveyn kayıpları ve ebeveynlerin yaşadığı derin yas süreci, çocuklarda erken olgunlaşma sendromunu tetiklemiştir (Kaya, 2023, s. 78). Yaşlarından büyük sorumluluklar alan çocuklar, hane içi bakım süreçlerine ve ekonomik hayata dahil olmuşlardır. Bu durum, kırsaldaki en büyük yapısal sorunlardan biri olan çocuk işçiliği ile doğrudan kesişmektedir. Eğitime erişimin kesintiye uğraması ve tarımsal iş gücü açığı, çocukların tarla ve bahçelerde güvencesiz işçi olarak istihdam edilmesini hızlandırmıştır (Demir ve Arslan, 2024, s. 203). Kardeşler arası dayanışma, kısıtlı kaynaklara (alan, gıda, ebeveyn ilgisi) ulaşma mücadelesi sebebiyle zaman zaman yerini çatışmalara bırakmıştır (Kaya, 2023, s. 82).

5.3.3. Çocuklar Arası İlişkiler ve Akran Dinamikleri

Kardeşler veya hane içine yeni dahil olan kuzenler arasındaki ilişkiler, kriz döneminde ikircikli bir yapı sergilemiştir. Bir yandan, dış tehditlere karşı kardeşler arasında güçlü bir dayanışma ve kenetlenme duygusu gelişmiş; büyük kardeşler ebeveynlerin yetersiz kaldığı durumlarda küçüklerin koruyuculuğunu üstlenmiştir. Diğer yandan, kısıtlı kaynakların (sınırlı yiyecek, giysi, ilgi veya kişisel alan) paylaşımı, çocuklar arasında örtük veya açık rekabeti beslemiştir. Kırsal alanda hanehalkı iş gücü ihtiyacı arttıkça, hangi çocuğun eğitime devam edeceği veya hangisinin tarlada çalışacağı yönündeki ayrışmalar adalet duygusunu zedelemiştir.

Birden fazla ailenin aynı kırsal konutta veya bahçede yaşamak zorunda kalması, çocuklar arasındaki ilişkileri şu boyutlarda etkilemiştir:

- **Travma Paylaşımı ve Akran Desteği:** Aynı afet deneyiminden geçen kuzenlerin veya köydeki çocukların bir araya gelmesi, ilk etapta yalnızlık hissini azaltmıştır. Yaşanan korku, oyunlar aracılığıyla ("depremcilik oynamak" gibi yıkım ve yeniden inşa temalı oyunlar) somutlaştırılarak kolektif bir iyileşme aracına dönüşmüştür.
- **Mekân Daralması ve Paylaşım Krizleri:** Kentteki odasını ve kişisel eşyalarını kaybeden göçmen çocuk, kırsalda her şeyi paylaşmak zorunda kalmıştır. Bu durum mülkiyet kavgalarına ve gerilime yol açmıştır.

- **"Kentsel-Kırsal" Kimlik Çatışması ve Akran Zorbalığı:** Kentten gelen çocukların alışkanlıkları, köyde yerleşik olan çocuklar tarafından "yabancılaşma" olarak algılanmıştır. "Şehirli-köylü" ayrımı üzerinden dışlama veya kentsel kökenli çocukların köy koşullarını küçümsemesi gibi karşılıklı gerilimler yaşanmıştır.
- **Ebeveyn İlgisi İçin Rekabet:** Kaynakların azaldığı ortamlarda çocuklar ebeveyn ilgisi ve şefkati alabilmek için yarışır hale gelmiş, bu durum kardeşler ve kuzenler arasında kıskançlığı artırmıştır.

5.4. Sosyo-Psikolojik Yapı ve Kuşaklararası Rol Çatışmaları

Geleneksel kırsal aile yapısı, yaş ve cinsiyet temelli hiyerarşik bir düzene dayanır. Kentten gelen, ekonomik özgürlüğe ve seküler yaşam alışkanlıklarına sahip genç kuşakların bu yapıya dahil olması ciddi rol çatışmalarını beraberinde getirmiştir (Kandiyoti, 1988). Hane içi bütçenin kimin tarafından yönetileceği, mutfaktaki otoritenin kime ait olacağı gibi mikro iktidar mücadeleleri; gelin-kayınvalide ve baba-oğul çatışmalarını derinleştirmiştir.

Özellikle kentte ekonomik bağımsızlığa sahipken işini kaybedip babasının köydeki otoritesine ve toprağına bağımlı hale gelen erkek figürlerinde yaşanan statü kaybı, hane içi sözel/fiziksel şiddet eğilimlerini besleyen bir risk faktörüne dönüşmüştür. Madalyonun diğer yüzünde ise, Türk aile yapısının köklü dayanışma ve geniş aile akrabalık bağları, dışarıdan gelen psikososyal yardımların ulaşamadığı noktalarda akut travmanın atlatılmasında hayati bir tampon işlevi görmüştür.

6. Sonuç, Tartışma ve Politika Önerileri

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında yaşanan kentsel yıkım ve bunun tetiklediği kırsala yönelen zorunlu göç hareketi, sadece mekânsal bir yer değiştirme süreci değildir. Bu süreç; toplumsal yapı, normlar, habitus, toplumsal cinsiyet rolleri ve sınıf ilişkileri düzeyinde yaşanan derin bir makro-sosyolojik sarsıntıdır. Afet sosyolojisi literatüründe kriz anlarının toplumsal yapıları sarsma ve var olan eşitsizlikleri derinleştirme biçimleri incelendiğinde, bu deprem sonrasındaki kırsala sığınma pratiğinin toplumsal yapıyı kökten değiştiren dinamiklere sahip olduğu görülmektedir.

Bu sürecin sosyolojik boyutunu kavramak adına ilk olarak Anthony Giddens'ın **"ontolojik güvenlik"** kuramı üzerinden bir okuma yapmak gerekir. Giddens'a göre ontolojik güvenlik, bireyin kendi varoluşunun, yaşadığı çevrenin ve gündelik hayatın sürekliliğine duyduğu temel güvendir. Deprem, bu güven zincirini radikal bir biçimde koparmıştır. Bireyler sadece evlerini değil, yarını tahmin edebilme ve gündelik rutinlerini sürdürebilme yetilerini de kaybetmişlerdir. Pierre Bourdieu'nün **"habitus"** kavramı çerçevesinden bakıldığında ise, kentte yaşamış bireylerin geliştirdiği algı ve eylem şemaları (kentsel habitus), kırsal alanın kodlarıyla (kırsal habitus) sert bir biçimde çarpışmıştır. Kent hayatının getirdiği zamanın dakikliği, bireysel alan bilinci ve tüketim kalıpları; kırsalın mevsimsel zaman algısı, kolektif alan kullanımı ve enformel toplumsal denetim mekanizmalarıyla çelişmiştir. Kentten köye göç eden depremzede, içine düştüğü yeni alanda elindeki sosyal ve kültürel sermayenin değersizleştiğini hissetmiştir. Bu durum, bireylerde bir tür "habitus bölünmesi" ve kimlik krizine yol açarak kırsala uyum sürecini sancılı hale getirmiştir (Gaziantep Üniversitesi Ayıntab Araştırmaları Dergisi, 2025, s. 118).

Kırsala göçün bir diğer önemli sosyolojik çıktısı, zayıflamış olan geniş aile bağlarının zorunlu olarak yeniden canlanmasıdır. Émile Durkheim'ın **"Mekanik ve Organik Dayanışma"** kuramı bu noktada açıklayıcı bir zemin sunar. Kentteki organik dayanışma (farklılaşma ve kurumsal ağlara dayalı yapı) çökünce, bireyler hayatta kalabilmek için akrabalık temelli mekanik dayanışmaya (geleneksel bağlar ve kolektif bilinç) sığınmak zorunda kalmıştır. Ancak bu dönüş pürüzsüz bir dayanışmadan ziyade yeni tahakküm biçimlerini beraberinde getirmiştir. Kent hayatının sunduğu anonimlik ve bireysel özgürlük alanı, kırsalda yerini mahalle baskısına

ve aile içi gözetime bırakmıştır. Kendine ait ekonomik gücü ve alanı kalmayan çekirdek aile, kırsaldaki hane reisinin otoritesine boyun eğmek zorunda kalmıştır. Bu durum aile içindeki güç asimetrisini keskinleştirerek örtük bir yapısal şiddet ve bağımlılık ilişkisi üretmiştir (Yıldırım, 2015, s. 971).

Toplumsal cinsiyet rolleri açısından bakıldığında, kriz anları toplumsal cinsiyet rollerini çoğunlukla muhafazakârlaştırmaktadır. Kırsala göç, kadınlar açısından iki katmanlı bir yükümlülük yaratmıştır. Kentte ekonomik bağımsızlığa veya çekirdek aile içi eşitlikçi bir iş bölümüne sahip olan kadın, kırsal göç sonrasında geniş aile hiyerarşisinde yeniden "gelin" statüsüne gerilemiştir. Bu durum sosyolojide **"ataerkil pazarlık"** olarak adlandırılan, kadının huzurunu sürdürebilmek için geleneksel normlara boyun eğmesi sonucunu doğurmuştur. Kadınlar hane bakım yükünü ve ortak yaşam alanı yönetimini üstlenerek büyük bir "duygusal emek" harcamışlardır. Erkeklik ekseninde ise kentteki istihdam olanaklarının kaybı, erkeğin haneyi geçindirme iktidarına darbe vurmuştur. Kırsalda ailesinin evine sığınan ve maddi olarak bağımlı hale gelen erkeğin yaşadığı bu otorite kaybı, hane içi çatışmaların, şiddetin ve boşanma eğilimlerinin temel tetikleyicilerinden biri haline gelmiştir (Sevim, 2024, s. 19).

Mekânsal sıkışmışlık ve sosyal anomi kavramları da bu sürecin açıklanmasında critical bir öneme sahiptir. Robert K. Merton'ın **"Anomi Teorisi"**, toplumsal olarak onaylanmış hedeflere ulaşma araçlarının aniden yok olması durumunda yaşanacak kuralsızlık durumunu açıklar. Kırsal konutlardaki aşırı yoğunlaşma ve mekânsal sıkışmışlık (*overcrowding*), bireylerin alan ihtiyacını tıkamıştır. Aynı çatı altında sıkışan nüfus; kaynak kıtlığıyla birleştiğinde toplumsal bağların zayıflamasına, bireylerin kendi içlerine kapanmasına veya hane içinde patlayıcı öfke nöbetlerine neden olan bir anomi ortamını beslemektedir (Toplum Çalışmaları Enstitüsü, 2026, s. 52).

Son olarak, bu göç hareketinin sınıfsal bir filtreye sahip olduğu göz ardı edilmemelidir. Deprem sonrasında maddi sermayesi veya başka şehirlerde mülkü olan orta ve üst sınıflar büyük kentlere göç edip buralarda yeni bir kentsel hayat kurabilirken; alt-orta ve alt sınıflar çaresizlik içinde en ucuz barınma alternatifi olan kırsala, akraba yanına sığınmıştır. Bu durum, yoksulluğun mekânsal olarak yer değiştirmesine ve kırsallaşmasına yol açmıştır. Kentte görece düzenli bir geliri olan işçi sınıfı, kırsalda güvencesiz, mevsimlik veya tamamen bağımlı bir alt-sınıfa (*underclass*) dönüşme riskiyle karşı karşıya kalmıştır. Bu da afetin yarattığı toplumsal eşitsizliğin, sınıfsal dinamiklerle kırsal alanda nasıl kökleştiğini ve nesiller arası aktarım potansiyeli taşıdığını net bir biçimde ortaya koymaktadır.

Özetle, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Türkiye'nin demografik haritasını değiştirirken kırsalı geçici ve zorunlu bir rehabilitasyon merkezine dönüştürmüştür. Kentten kırsala yönelen bu zorunlu nüfus akışı, sadece bir barınma krizi çözümü olmanın ötesinde; tarımsal üretim ilişkilerini, kırsal emek piyasalarını ve hane içi güç dengelerini köklü bir biçimde dönüştüren yapısal bir olgu olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Boratav, K. (2003). *Türkiye iktisat tarihi 1908-2002*. İmge Kitabevi.

Boyle, P., Halfacree, K., & Robinson, V. (1998). *Exploring contemporary migration*. Routledge.

Castles, S., & Miller, M. J. (2008). *Göç çağı: Modern dünyada uluslararası göç hareketleri* (B. U. Topal, Çev.). İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.

Çelik, A. (2025). Afet sonrası kırsal alanda değişen hane içi dinamikler ve toplumsal cinsiyet rolleri. *Toplum ve Sosyal Hizmet Dergisi*, 36(1), 105-120.

Çelik, H. (2025). *Afet sosyolojisi ve aile: Deprem sonrası hane içi dinamiklerin dönüşümü*. Çizgi Kitabevi.

Demir, E., & Arslan, M. (2024). Deprem sonrası kırsal alanda çocuk işçiliği ve eğitime erişim sorunları. *Kırsal Sosyoloji Dergisi*, 12(2), 195-210.
Erdoğan, M. (2024). *Afet sonrası mekânsal planlama ve kalıcı konut politikaları: 6 Şubat depremleri analizi*. Akademik Altyapı Yayınları.
Escarus (TSKB Sürdürülebilirlik Danışmanlığı). (2024). *Deprem felaketinin tarım üzerine etkileri / 6 Şubat depremleri sonrası kırsal kalkınma ve demografik dönüşüm raporu*. https://escarus.com/deprem-felaketinin-tarim-uzerine-etkileri/
Gaziantep Üniversitesi Ayıntab Araştırmaları Dergisi. (2025). Kentsel yıkım ve kırsal habitusa uyum: Depremzedelerin sosyo-kültürel entegrasyonu. *Gaziantep Üniversitesi Ayıntab Araştırmaları Dergisi*, 8(1), 110-125.
Giddens, A. (1990). *The consequences of modernity*. Polity Press.
Goffman, E. (1959). *The presentation of self in everyday life*. Anchor Books.
Gök, K., & Taş, S. (2025). Afet odaklı zorunlu göçlerde Yeni Ekonomi Göç Teorisi: Hanelerin risk yönetimi ve geçim stratejileri. *Afet ve Risk Dergisi*, 8(1), 200-218.
Gök, M., & Taş, S. (2025). Hanehalkı hayatta kalma stratejileri ve yeni ekonomi göç teorisi: Kriz dönemlerinde emek hareketliliği. *Nüfus ve Toplum Çalışmaları Dergisi*, 21(2), 198–218.
Güneş, H., & Özkan, Y. (2025). Afet sonrası enformel emek piyasaları ve kadın istihdamında gerileme: 6 Şubat Depremleri örneği. *Çalışma ve Toplum*, 84(1), 85-102.
Güneş, R., & Özkan, S. (2025). Afet ekonomisi ve güvencesizlik: 6 Şubat depremleri sonrası kırsal emek piyasalarının dönüşümü. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, 22(1), 78–101.
Güven, M. (2023). Göç kuramları ışığında ilişki ağları ve sistemik yaklaşımlar. *Sosyoloji Araştırmaları Dergisi*, 26(2), 138-155.
Güven, R. (2023). *Göç sosyolojisinde çağdaş yaklaşımlar: Ağlar, sistemler ve transnasyonal alanlar*. Siyasal Kitabevi.
İlkkaracan, İ. (2014). *Emeğin toplumsal cinsiyet açısından analizi ve bakım ekonomisi*. İTÜ Yayınları.
İTÜ Polen. (2024). *Afet sonrası geçici yerleşim alanlarında kentsel tarım: Hatay Umutkent örneği* [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Akademik Arşiv.
Kandiyoti, D. (1988). Bargaining with patriarchy. *Gender & Society*, 2(3), 274-290.
Karaca, M. (2024). *Yıkılan kentler, sıkışan kırsal: Deprem sonrası iş gücü göçü ve istihdam krizleri*. Detay Yayıncılık.
Karaca, R. (2024). Deprem sonrası kırsal emek piyasalarında beceri uyuşmazlığı ve mesleki de-kalifikasyon. *İktisat ve Toplum Dergisi*, 162, 140-152.
Kaya, N. (2023). Afet travması sonrası çocuklarda erken olgunlaşma (Parentification) ve hane içi rol değişimleri. *Çocuk ve Gençlik Ruh Sağlığı Dergisi*, 30(2), 75-88.
Keyder, Ç., & Yenal, Z. (2013). *Bildiğimiz tarımın sonu: Küresel parçalanma ve modern dünyada tarım*. İletişim Yayınları.
Kongar, E. (1972). *Türkiye'de toplumsal değişme*. Remzi Kitabevi.
Kriter Dergi. (2023). Depremin tarıma etkileri üzerine / 6 Şubat sonrası kırsal alanda üretim ilişkileri. *Kriter Dergi*, 8(78), 42-45. https://kriterdergi.com/dosya-deprem-ve-afet-yonetimi/depremin-tarima-etkileri-uzerine
Lee, E. S. (1966). A theory of migration. *Demography*, 3(1), 47-57.
Oliver-Smith, A. (1996). Anthropological research on hazards and disasters. *Annual Review of Anthropology*, 25, 303-328.
Öztürk, A., & Yılmaz, B. (2024). Deprem sonrası demografik hareketlilik ve hanehalkı kompozisyonundaki değişimler. *Akdeniz Üniversitesi Sosyolojik Analiz Dergisi*, 12(1), 38–55.
Öztürk, S., & Yılmaz, B. (2024). Geçici barınma alanlarında mahremiyet krizi ve hane içi çatışma dinamikleri. *Afet Sosyolojisi Dergisi*, 5(1), 40-52.

Quarantelli, E. L. (Ed.). (1998). *What is a disaster? Perspectives on the question*. Routledge.
Quarantelli, E. L. (2005). What is a disaster? New answers to old questions. *International Research Committee on Disasters / Natural Hazards Review*, 6(3), 120-128.
Sevim, C. (2024). Zorunlu geniş aileye dönüş: Deprem sonrası kırsal konutlarda mekânsal sıkışma ve cinsiyet rolleri. *Mekân ve Toplum Dergisi*, 11(1), 12-24.
Sevim, M. (2024). 6 Şubat deprem afetinin aile ve sosyal ilişkilere etkisi üzerine nitel bir analiz. *Uluslararası Anadolu Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 1-22.
Soylu, F., & Demir, A. (2025). Deprem sonrası tarımsal destekleme politikaları ve kırsal emeğin korunması krizi. *Tarım ve Kalkınma Sosyolojisi Dergisi*, 31(2), 85–102.
Şahin, E. (2024). Depremzede kadınların çalışma yaşamı: Kırsala göç, ev içi emek ve görünmeyen istihdam / Çifte sömürü. *Toplum ve Sosyal Hizmet Dergisi*, 35(2), 203–218.
T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2023). *6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri tarım ve hayvancılık sektörü hasar tespit ve eylem planı raporu*. https://www.tarimorman.gov.tr
Toplum Çalışmaları Enstitüsü. (2026). *6 Şubat depremlerinin nüfus üzerindeki etkisi, göç hareketleri ve toplumsal uyum raporu* (Yayın No: 14, s. 45-60). Toplum Çalışmaları Enstitüsü Yayınları.
TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2024). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) iç göç istatistikleri ve deprem bölgesi demografik hareketlilik verileri, 2023*. TÜİK Matbaası.
Yalçın, A. (2024). Klasikten moderne göç kuramlarının epistemolojik dönüşümü. *Uluslararası Sosyolojik Analizler Dergisi*, 16(1), 75–94.
Yıldırım, A. / K. (2015). Göçün aile üzerindeki etkisi, kriz dönemlerinde erkeklik rolleri, statü kaybı ve hane içi şiddet ilişkisi. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi / Atatürk Kültür, Dil ve Tarih Yüksek Kurumu Yayınları*, 4(4), 965-978.
Yılmaz, H. (2024). Kriz dönemlerinde aktif iş gücü piyasası politikaları: 6 Şubat depremleri sonrası istihdam teşvikleri. *Çalışma Ekonomisi ve Sosyal Siyaset Dergisi*, 19(3), 201–222.

OTONOM SIRA-ÜSTÜ ÇAPALAMA TARIM ROBOTU İÇİN MISIR VE YABANİ OT AYRIMINDA DERİN ÖĞRENME TABANLI SEGMENTASYON MİMARİLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Uğur GÜNEY
Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0009-0000-3145-2948
Doç. Dr. Ali YILDIZ
Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3904-6017
Prof. Dr. Ali AKDAĞLI
Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3312-992X

ÖZET
Bu çalışmada, sıra-üstü otonom çapalama yapan bir tarım robotu için mısır bitkisi ile yabani otların gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukla ayrıştırılması problemi ele alınmıştır. Piksel tabanlı semantik segmentasyon yaklaşımını temsil eden ResNet-50 omurgalı DeepLabv3 ile çoklu görev yürüten örnek segmentasyon mimarileri YOLOv8s-Seg ve YOLOv11s-Seg, aynı donanım ve veri ekosisteminde kontrollü deney koşullarında eğitilerek karşılaştırılmıştır. Toplam 3.544 görüntüden oluşan tarımsal segmentasyon veri seti, 3.285 eğitim, 166 doğrulama ve 93 test görüntüsü içerecek biçimde ayrılmış; Arka Plan, Mısır ve Yabani Ot olmak üzere üç sınıfta yapılandırılmıştır. Sonuçlar, DeepLabv3 modelinin mısır sınıfında çok yüksek piksel doğruluğu sağlamasına karşın (AP: 0,988), sınıf dengesizliği nedeniyle yabani otların %52'sini doğrudan arka plana karıştırarak ıskaladığını göstermiştir (Yabani Ot AP: 0,484). Buna karşılık YOLO tabanlı mimariler, yabani otu bağımsız bir nesne olarak izole ederek yakalama başarısını belirgin biçimde artırmıştır. YOLOv11s-Seg, yabani ot kutu AP değerini 0,790'a ve genel kutu mAP@0,5 değerini 0,856'ya çıkararak karşılaştırılan modeller arasında en kararlı performansı sergilemiştir. Ayrıca görüntü başına 6,0 ms (yaklaşık 166 FPS) işlem süresiyle gerçek zamanlı saha kullanımı için en uygun aday olarak belirlenmiştir. YOLOv11s-Seg'de kutu ve maske mAP değerleri arasındaki farkın yalnızca %0,6 düzeyinde kalması, gelecek saha entegrasyonunda maske üretim yükünü ortadan kaldıran nesne tespiti yaklaşımına geçilmesinin uygun bir mühendislik stratejisi olduğunu göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Otonom tarım robotu, yabani ot tespiti, hassas tarım, YOLOv11s-Seg, DeepLabv3, semantik segmentasyon, örnek segmentasyon.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING-BASED SEGMENTATION ARCHITECTURES FOR MAIZE AND WEED DISCRIMINATION IN AN AUTONOMOUS INTRA-ROW HOEING AGRICULTURAL ROBOT

ABSTRACT
This study addresses the real-time and high-accuracy discrimination of maize plants and weeds for an autonomous intra-row hoeing agricultural robot. DeepLabv3 with a ResNet-50 backbone, representing pixel-based semantic segmentation, and the multi-task instance segmentation architectures YOLOv8s-Seg and YOLOv11s-Seg were trained and compared under controlled experimental conditions within the same hardware and data ecosystem. The agricultural

segmentation dataset comprised 3,544 images, divided into 3,285 training, 166 validation, and 93 test images, and was structured into three classes: Background, Maize, and Weed. The results show that although DeepLabv3 achieved very high pixel accuracy for the maize class (AP: 0.988), it missed 52% of weeds by directly confusing them with the background because of class imbalance (Weed AP: 0.484). In contrast, the YOLO-based architectures markedly improved weed recall by isolating weeds as independent objects. YOLOv11s-Seg delivered the most stable performance among the compared models, increasing the weed box AP to 0.790 and the overall box mAP@0.5 to 0.856. In addition, with a processing time of 6.0 ms per image, approximately 166 FPS, YOLOv11s-Seg was identified as the most suitable candidate for real-time field deployment. The small 0.6% difference between box and mask mAP values in YOLOv11s-Seg indicates that switching to an object-detection approach that eliminates mask generation overhead is an appropriate engineering strategy for future field integration.
Keywords: Autonomous agricultural robot, weed detection, precision agriculture, YOLOv11s-Seg, DeepLabv3, semantic segmentation, instance segmentation.

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusu gıda üretiminde verimlilik, gıda güvenliği ve sürdürülebilirlik odaklı teknolojik yaklaşımların önemini artırmıştır. Bu doğrultuda akıllı tarım uygulamaları; bilgi ve iletişim teknolojileri, uzaktan algılama ile derin öğrenme tabanlı veri analizi gibi yaklaşımlarla günümüz tarımsal üretiminin en kritik araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir (Kamilaris & Prenafeta-Boldú, 2018). Tarımsal verimliliği olumsuz etkileyen temel faktörlerin başında gelen yabani otlarla mücadelede, ürün kayıplarını önlemek ve hassas yabani ot yönetimini sağlamak için kültür bitkisi ile yabani ot ayrımının doğru yapılması büyük önem taşımaktadır (Wang et al., 2019). Otonom yabani ot kontrol sistemlerinde kültür bitkisinin zarar görmesini engellemek ise ürün konumunun yanı sıra toprak alanlarının da güvenilir biçimde tespit edilmesini gerektirmektedir. Bu amaçla, gerçek tarla koşullarında kültür bitkisi, yabani ot ve toprak segmentasyonu sağlamak için HSV renk uzayı ve morfolojik işlemler gibi klasik görüntü işleme tekniklerinden yaygın olarak yararlanılmaktadır (Hamuda et al., 2017).

Seçici müdahalenin başarısı, robot kamerasından elde edilen görüntülerde kültür bitkisi ile yabani otun güvenilir biçimde ayırt edilmesine bağlıdır. Bu doğrultuda, piksel düzeyinde hassas ayrım sağlayabilmek amacıyla günümüzde anlamsal bölütleme odaklı derin öğrenme mimarilerinden sıklıkla yararlanılmaktadır. Bu kapsamda öne çıkan U-Net mimarisi, kodlayıcı-şifre çözücü yapısı sayesinde nesnelerin konumunu yüksek hassasiyetle tespit edebilirken (Ronneberger et al., 2015), DeepLabv3 ve DeepLabv3+ gibi genişletilmiş evrişim tabanlı modeller ise çok ölçekli bağlamsal bilgiyi işleyerek karmaşık tahmin problemlerinde güçlü bir temel sunmaktadır (Chen et al., 2017, 2018). Doğrudan tarımsal alanlarda yürütülen kültür bitkisi ve yabani ot ayrımı görevleri için özel olarak etiketlenmiş saha verileri ise bu modellerin hassas tarım uygulamalarında eğitilmesine ve başarımının değerlendirilmesine imkân tanımaktadır (Haug & Ostermann, 2015). Diğer taraftan, derin modellerin eğitilebilirliğini artıran kalıntı öğrenme (residual learning) yaklaşımı, çok katmanlı ağların optimizasyonunu kolaylaştırarak söz konusu bölütleme mimarilerinin omurga yapılarını daha da güçlendirmektedir (He et al., 2016).

Literatürde bitki–yabani ot ayrımı için kullanılan segmentasyon tabanlı yaklaşımlar, genel olarak anlamsal bölütleme (semantik segmentasyon) ve örnek bölütleme (instance segmentation) olmak üzere iki ana grupta ele alınmaktadır. Semantik segmentasyon, görüntüdeki her pikseli önceden tanımlanmış bir sınıfa atayarak kültür bitkisi, yabani ot ve arka

plan için yoğun bir piksel haritası üretir (Long et al., 2015). Tarımsal robotik uygulamalarda bu yaklaşım, ürün sırası ve yabani ot bölgelerinin gerçek zamanlı olarak ayrıştırılmasına imkân tanıdığından, seçici müdahale kararlarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Milioto et al., 2018). Örnek (instance) segmentasyon yaklaşımı ise semantik segmentasyondan farklı olarak yalnızca piksel sınıfını değil, aynı sınıfa ait her bir bitki örneğinin (instance) ayrı birer nesne olarak belirlenmesini hedefler (He et al., 2017). Özellikle bitkilerin birbirine temas ettiği, yaprakların örtüştüğü veya kültür bitkisi ile yabani ot morfolojisinin benzerlik gösterdiği tarla koşullarında instance segmentation, her bir bitki örneğini ayrı bir maske ile temsil ederek daha ayrıntılı bir algılama çıktısı sunmaktadır (Champ et al., 2020). Dolayısıyla, semantik segmentasyon alan düzeyinde hızlı sınıf ayrımı ve genel müdahale kararları için uygun bir zemin hazırlarken; instance segmentation ise tekil bitki düzeyinde konumlandırma, sayım ve hassas müdahale gerektiren senaryolarda daha derinlemesine bir analiz imkânı sağlamaktadır (Champ et al., 2020; He et al., 2017; Milioto et al., 2018).

Tarımsal robotik alanında semantik segmentasyon yaklaşımları, kültür bitkisi, yabani ot ve arka plan sınıflarının gerçek zamanlı olarak ayrıştırılmasında başarıyla uygulanmaktadır (Milioto et al., 2018). Mısır özelinde yapılan çalışmalarda, semantik segmentasyon tabanlı modellerin mısır bitkisi piksellerini başarıyla ayırdığı, bu maskenin dışında kalan yeşil bitki bölgelerini ise yabani ot olarak tanımlayabildiği ve gerçek zamanlı çalışmaya uygun hızlara ulaşabildiği gösterilmiştir (Liu et al., 2025). Örnek (instance) segmentasyonu ise semantik segmentasyondan farklı olarak, aynı sınıfa ait nesneleri tek bir piksel sınıfı altında birleştirmek yerine, her bir nesneyi ayrı birer varlık olarak ele alır ve her biri için bağımsız maskeler üretir (He et al., 2017). Nesne tespitini tek aşamalı bir regresyon problemi olarak modelleyen YOLO mimarisi, gerçek zamanlı algılama görevleri için güçlü bir temel oluşturmuştur (Redmon et al., 2016). Bu mimarinin güncel türevlerinden YOLOv8 tabanlı segmentasyon modelleri (özellikle hafif ve hızlı olan YOLOv8s-Seg mimarisi), çapa-bağımsız (anchor-free) algılama yapısı ve segmentasyon başlığı sayesinde örnek düzeyinde maske üretimine olanak tanıyarak mısır fidesi segmentasyonu gibi tarımsal görevlerde yüksek doğruluk ve rekabetçi hız değerleri sunmaktadır (Geng et al., 2024; Yaseen, 2024). Son dönemde geliştirilen YOLOv11 ailesi ise nesne tespiti, örnek bölütleme, poz tahmini (pose estimation) ve yönlendirilmiş nesne tespiti (oriented object detection) gibi farklı görsel algılama görevlerini destekleyen en güncel mimarilerdendir (Jocher & Qiu, 2024; Khanam & Hussain, 2024). Bu doğrultuda YOLOv11-seg türevleri (özellikle YOLOv11s-Seg), gerçek zamanlı örnek bölütleme gerektiren uygulamalarda YOLOv8 tabanlı yaklaşımlarla karşılaştırmalı olarak sıklıkla incelenmektedir.

Bu çalışmanın amacı, adı geçen üç mimariyi (DeepLabv3, YOLOv8s-Seg ve YOLOv11s-Seg) aynı veri seti, aynı donanım platformu ve sabit girdi parametreleri altında tarafsız bir şekilde kıyaslamak ve gerekçesini doğruluk karşılaştırma matrisi, F1-Güven eğrisi, Precision–Recall eğrisi ve çıkarım hızı metrikleri üzerinden ortaya koymaktır. Çalışma, akademik segmentasyon başarımını tescil etmenin yanı sıra, robotun gömülü (embedded) donanımı üzerinde gerçek zamanlı saha entegrasyonuna yönelik somut bir mühendislik yol haritası da sunmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Kullanılan tarımsal segmentasyon veri seti, veri artırım (augmentation) boru hatları, modele özgü etiket dönüşümleri, donanım-yazılım altyapısı ve eğitim hiperparametreleri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Üç mimarinin tarafsız kıyaslanabilmesi için donanım platformu, yazılım ekosistemi ve giriş çözünürlüğü (640×640) mutlak olarak sabit tutulmuştur.

2.1. Veri seti, sınıf yapısı ve dağılımı

Literatürde, mısır tarlalarındaki değişken aydınlatma, toprak nemi, kamera hareketi, bitki büyüme durumu ve yabani ot yoğunluğu gibi saha koşullarının bitki–yabani ot ayrımını zorlaştırdığı, buna karşın derin öğrenme tabanlı yöntemlerle bu zorlukların aşılabildiği raporlanmıştır (Ahmad et al., 2021; Burgos-Artizzu et al., 2011; Zheng et al., 2017). Bu doğrultuda çalışmada; değişken ışık koşulları, yaprak gölgelenmeleri ve farklı büyüme evreleri gibi tarla ortamına özgü görsel değişkenlikleri barındıran yüksek çözünürlüklü mısır tarlası görüntülerinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Görüntüler, Roboflow platformu üzerinden ön işleme, etiketleme ve veri artırma adımlarına tabi tutularak model eğitimine uygun hâle getirilmiştir. Veri setinde; bitki barındırmayan toprak, taş ve gölgeleri içeren Arka Plan (Sınıf 0), korunması gereken hedef kültür bitkisini temsil eden Mısır (Sınıf 1) ve noktasal müdahale edilmesi gereken zararlı bitkileri kapsayan Yabani Ot (Sınıf 2) olmak üzere üç temel sınıf tanımlanmıştır. Modellerin genelleme yeteneğini objektif bir şekilde ölçebilmek adına veri seti; 3285 görüntü eğitim (train), 166 görüntü doğrulama (validation) ve 93 görüntü test (test) kümesi olmak üzere üç bağımsız alt kümeye ayrılmıştır.

2.2. Veri artırımı ve modele özgü ön işleme

Saha koşullarındaki ışık değişimleri, kamera sarsıntıları, odak bulanıklığı, yaprak gölgelenmeleri ve bitki morfolojisindeki çeşitliliğe karşı modellerin genelleme kabiliyetini artırmak amacıyla iki katmanlı bir veri artırma stratejisi uygulanmıştır. Çevrimdışı artırma aşamasında, Roboflow platformu üzerinden her eğitim örneği için üç varyasyon üretilmiş, yatay/dikey çevirme, parlaklık değişimi (±%20), pozlama değişimi (±%15), 2 piksele kadar Gauss bulanıklığı ve %2 oranında tuz-biber gürültüsü uygulanmıştır. Çevrimiçi artırma aşamasında ise YOLO tabanlı modeller için eğitim sürecine gömülü Mosaic, MixUp ve HSV renk uzayı tabanlı renk kaydırma işlemleri her epoch'ta dinamik olarak kullanılmıştır. HSV renk uzayı, eğitim sürecinde renk değişkenliğini artırmanın yanı sıra literatürde bitki yeşili ile toprak ve arka plan bölgelerinin ayrıştırılmasında kullanılan klasik görüntü işleme yaklaşımları açısından da önemli bir yere sahiptir (Hamuda et al., 2017).

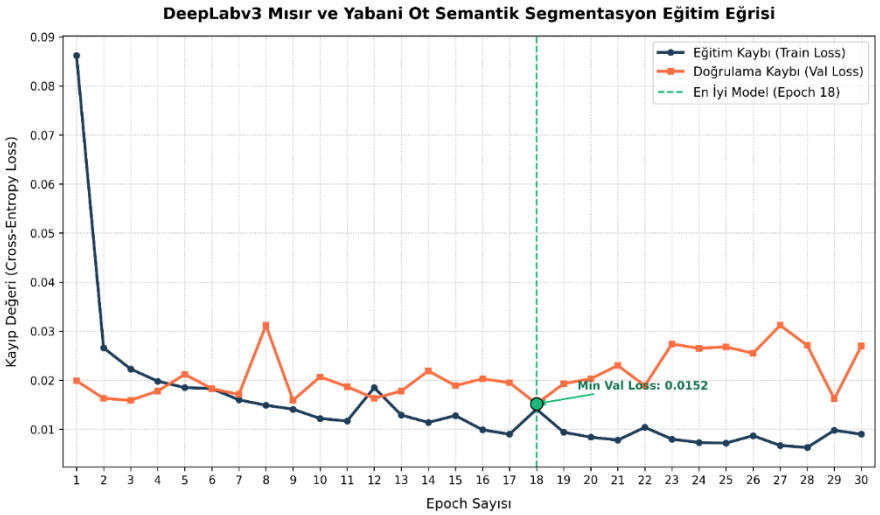
Etiket dönüşümü açısından, YOLO tabanlı instance segmentation modellerinde her nesne örneği için sınıf etiketi ve 0–1 aralığında normalize edilmiş poligon koordinatlarını içeren .txt etiket dosyaları kullanılmıştır. DeepLabv3 tabanlı semantik segmentasyon modelinde ise COCO JSON formatındaki poligon anotasyonlarından tek kanallı .png maske görüntüleri üretilmiş ve piksel değerleri arka plan, kültür bitkisi ve yabani ot sınıflarını temsil edecek şekilde sırasıyla 0, 1 ve 2 olarak kodlanmıştır.

2.3. Donanım, yazılım ve hiperparametreler

Deneysel süreçlerin tamamı HP Victus yerel iş istasyonu üzerinde yürütülmüştür. Kullanılan sistem, NVIDIA GeForce RTX 4060 Laptop GPU (8 GB GDDR6), AMD Ryzen 5 işlemci, 16 GB DDR5 bellek ve Windows 11 işletim sisteminden oluşmaktadır. Model eğitimi, doğrulama ve test aşamalarında Python 3.12 tabanlı bir yazılım ortamı kullanılmış; derin öğrenme işlemleri CUDA 12.1 destekli PyTorch ile gerçekleştirilmiştir. YOLO tabanlı segmentasyon modellerinin eğitimi ve değerlendirilmesi için Ultralytics kütüphanesinden yararlanılmıştır. Hiperparametreler, her mimarinin hesaplama karakteristiği ve VRAM sınırları dikkate alınarak belirlenmiştir. Tüm modellerde, ağırlık sönümlemesini öğrenme oranından ayrıştırarak uygulayan AdamW optimizasyon algoritması kullanılmıştır. YOLOv8s-Seg ve YOLOv11s-Seg modellerinde paket boyutu 16 olarak seçilirken, DeepLabv3 modelinde ASPP modülü ve decoder yapısından kaynaklanan bellek yükü nedeniyle paket boyutu 6 olarak ayarlanmıştır. Tablo 1, üç model için kullanılan temel hiperparametreleri özetlemektedir.

2.4. Eğitim süreci ve yakınsama davranışı

DeepLabv3 modeli, atrous convolution ve ASPP tabanlı semantik segmentasyon yapısı ile ön eğitimli ResNet-50 omurgasının sağladığı transfer öğrenimi avantajından yararlanarak hızlı yakınsama göstermiştir. Eğitim kaybı ilk epoch'ta 0,0862 iken ikinci epoch'ta 0,0266'ya gerilemiş; en iyi doğrulama kaybı 18. epoch'ta 0,0152 olarak elde edilmiş ve en iyi model ağırlıkları bu noktada kaydedilmiştir. 18. epoch sonrasında eğitim kaybı 0,009 bandına kadar düşerken doğrulama kaybının 0,020–0,027 aralığına yerleşmesi, modelin genelleme performansı açısından overfitting sınırına yaklaştığını göstermektedir (Şekil 1). YOLOv8s-Seg ve YOLOv11s-Seg modellerinde ise kutu, sınıf, maske ve dağılım kayıpları 100 epoch boyunca daha pürüzsüz bir asimptotik azalma sergilemiş; kutu ve maske tahmin başlıklarının dengeli biçimde optimize edilmesi sayesinde DeepLabv3 modelinde gözlenen keskin doğrulama kaybı dalgalanmaları oluşmamıştır.



Şekil 1. DeepLabv3 eğitim/doğrulama kayıp eğrisi, en iyi model 18. epoch'ta (Val Loss: 0,0152).

Modellerin temel eğitim hiperparametreleri Tablo 1'de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Hiperparametre	YOLOv8s-Seg	YOLOv11s-Seg	DeepLabv3
Hedef Epoch	300	100	30
Paket Boyutu (Batch)	16	16	6
Giriş Çözünürlüğü	640×640	640×640	640×640
Optimizasyon	AdamW	AdamW	AdamW
Başlangıç LR (lr0)	0,001	0,001	0,001
LR Stratejisi	Kosinüs	Kosinüs	Adımsal
Veri Yükleyici (Workers)	4	4	2
Karma Hassasiyet (AMP)	Aktif	Aktif	Aktif
Erken Durdurma (Patience)	30	30	Pasif

Tablo 1. Modellere ait temel eğitim hiperparametreleri

2.5. Değerlendirme metrikleri

Modellerin başarımı, karmaşıklık matrisi (confusion matrix), F1-Güven (F1-Confidence) eğrisi, Precision–Recall (PR) eğrisi ve ortalama keskinlik (Average Precision, AP) ile bunların sınıf

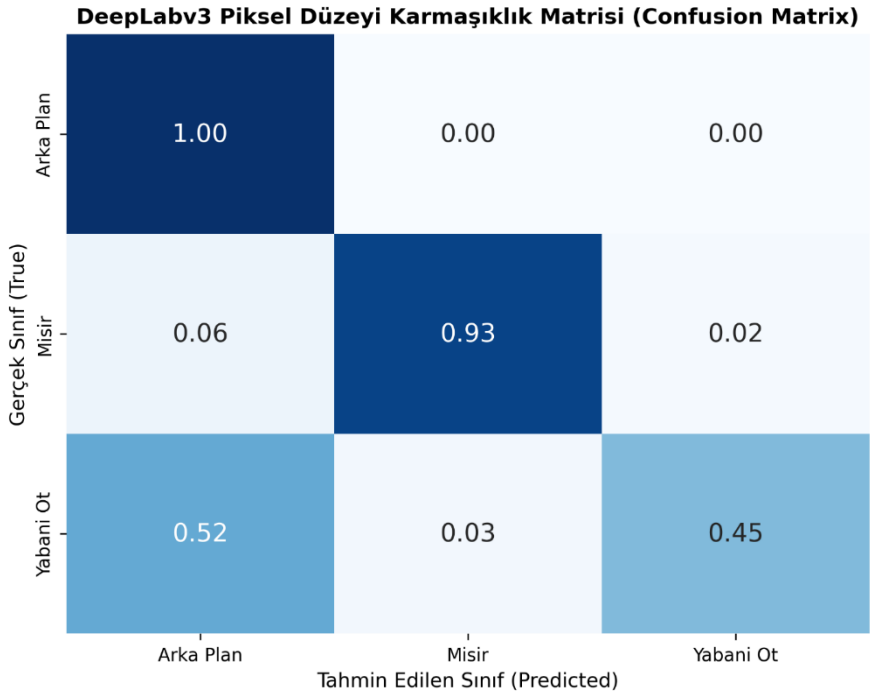
ortalaması olan mAP@0,5 metrikleri üzerinden değerlendirilmiştir. YOLO mimarisi çoklu görev yürüttüğünden, tüm metrikler hem Kutu (Box) hem de Maske (Mask) düzeyinde ayrı ayrı raporlanmıştır. Ayrıca robotun gerçek zamanlı saha kullanımı için çıkarım (inference) süresi ve saniyedeki kare (FPS) değerleri de ölçülmüştür. Tüm metrikler, eğitim sırasında kullanılmayan 93 görüntülük test kümesi üzerinden hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Modellerin test kümesi üzerindeki nihai başarım düzeyi, başarım metrikleri, karmaşıklık matrisleri, birleştirilmiş performans tablosu, F1 ve Precision–Recall eğrileri ile çıkarım hızları temelinde değerlendirilmiştir.

3.1. Sınıf bazında hata dağılımı (Karmaşıklık matrisleri)

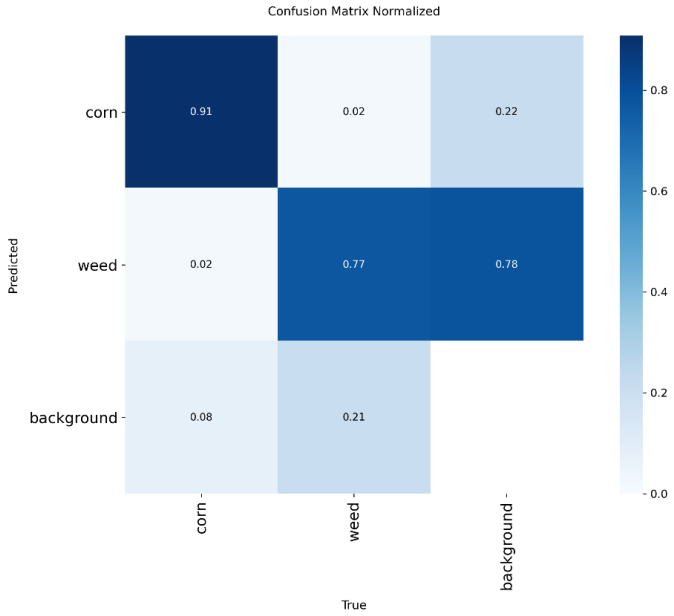
DeepLabv3 modeline ait piksel düzeyi karmaşıklık matrisi (Şekil 2), sınıf dengesizliğinin yarattığı kritik riski ortaya koymaktadır. Model, Arka Plan sınıfını %100 ve Mısır sınıfını %93 doğrulukla tahmin etmesine rağmen, gerçek yabani ot piksellerinin yalnızca %45'ini doğru sınıflandırabilmiş, %52'sini ise doğrudan "Arka Plan" zannederek tamamen ıskalamıştır (False Negative). Görüntü alanında baskın yer kaplayan toprak pikselleri, küçük boyutlu ve düzensiz dağılım gösteren yabani ot yapraklarını sınıf temsili açısından baskılamaktadır. Model, yabani ot piksellerini arka plan sınıfına atama eğilimi göstermektedir.



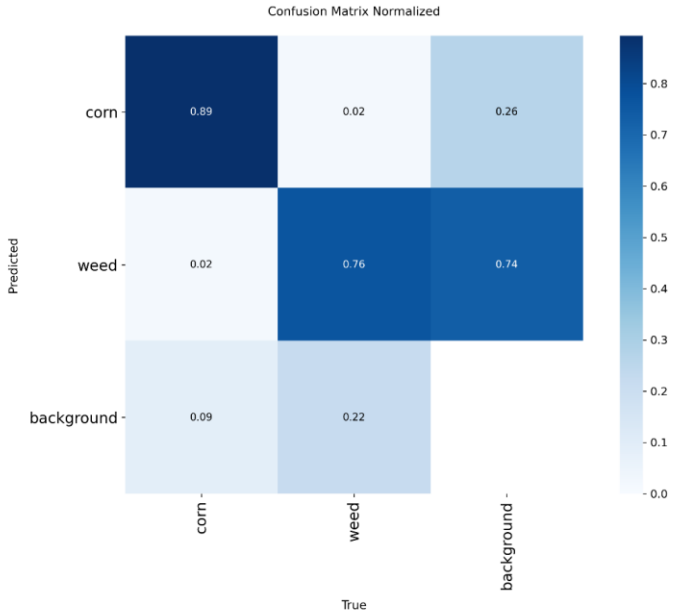
Şekil 2. DeepLabv3 piksel düzeyi karmaşıklık matrisi, yabani otların %52'si arka plana karışmaktadır.

YOLO mimarisinin nesne odaklı örnek segmentasyon matrisleri (Şekil 3 ve Şekil 4) ise yabani otu nesne olarak izole ederek yakalama başarısını radikal şekilde artırmıştır. YOLOv8s-Seg mısırı %91, yabani otu %77 doğruluk yakalarken, YOLOv11s-Seg ise mısırı %89, yabani otu %76 doğrulukla yakalamıştır. YOLO modellerinde görülen arka plan karışımları, bitkinin

tamamen ıskalanmasından değil, yaprak kenarlarındaki piksellerin milimetrik olarak toprağa taşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. YOLOv8s-Seg örnek segmentasyon karmaşıklık matrisi



Şekil 4. YOLOv11s-Seg örnek segmentasyon karmaşıklık matrisi

3.2. Birleştirilmiş performans matrisi (mAP@0,5)

Tablo 2'de, üç modelin test kümesi üzerindeki AP ve genel mAP@0,5 değerleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. DeepLabv3 modelinin genel maske mAP değeri 0,895 ile yüksek görünmesine karşın, bu başarımın büyük ölçüde mısır sınıfındaki yüksek AP değerinden (0,988) kaynaklandığı görülmektedir. Buna karşılık, aynı modelde yabani ot sınıfına ait AP değeri 0,484 düzeyinde kalmıştır. YOLOv11s-Seg modeli ise yabani ot sınıfında kutu tabanlı AP değerini 0,790'a yükselterek, karşılaştırılan modeller arasında en yüksek genel kutu mAP değerine (0,856) ulaşmıştır.

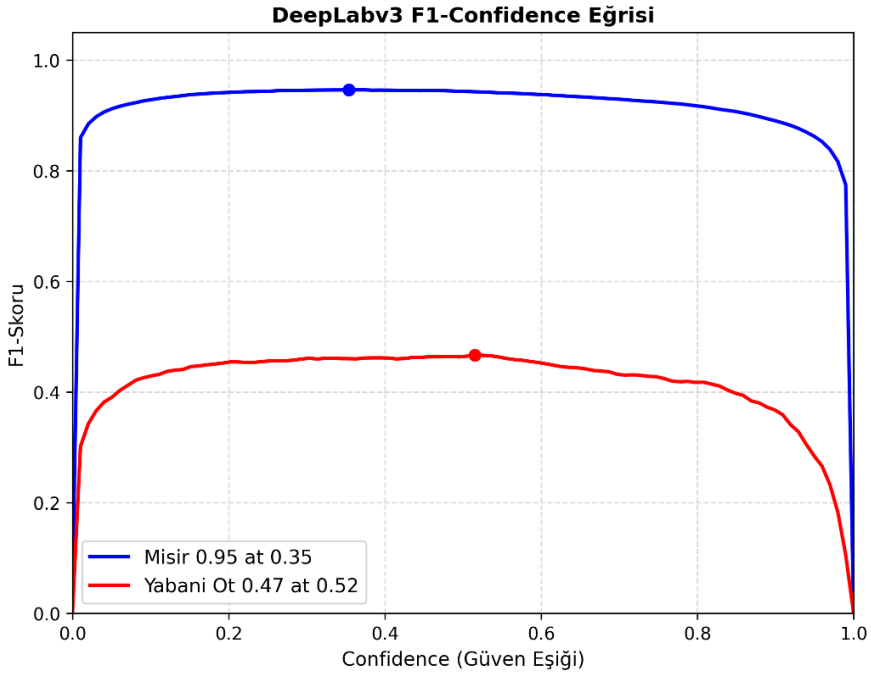
Tablo 2. Test kümesi AP ve mAP@0,5 değerleri

Model / Görev	Mısır AP	Yabani Ot AP	Genel mAP@0,5
DeepLabv3 (Maske)	0,988	0,484	0,736
YOLOv8s-Seg (Kutu)	0,918	0,767	0,843
YOLOv8s-Seg (Maske)	0,925	0,776	0,851
YOLOv11s-Seg (Kutu)	0,922	0,790	0,856
YOLOv11s-Seg (Maske)	0,912	0,789	0,850

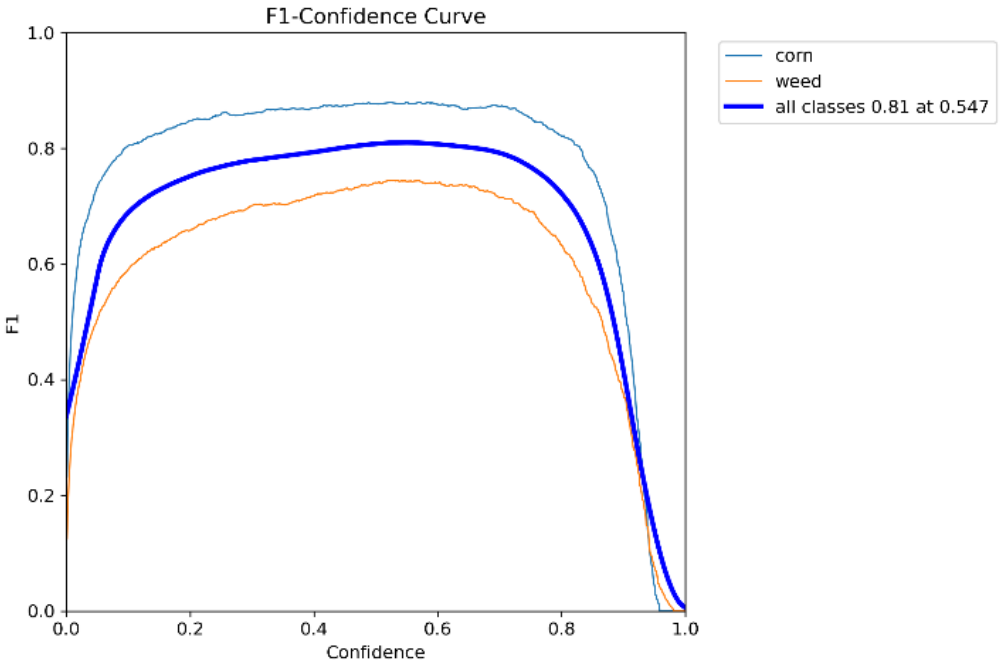
Tablodan elde edilen en önemli çıkarım, YOLOv11s-Seg'de kutu mAP değeri (0,856) ile maske mAP değeri (0,850) arasındaki farkın yalnızca %0,6 düzeyinde kalmasıdır. Modelin nesneyi kutu düzeyinde tespit ettiği aşamada teorik alan başarımının büyük ölçüde en yüksek düzeye ulaştığı görülmektedir.

3.3. F1-Güven Eğrisi, operasyonel eşik ve çıkarım hızı

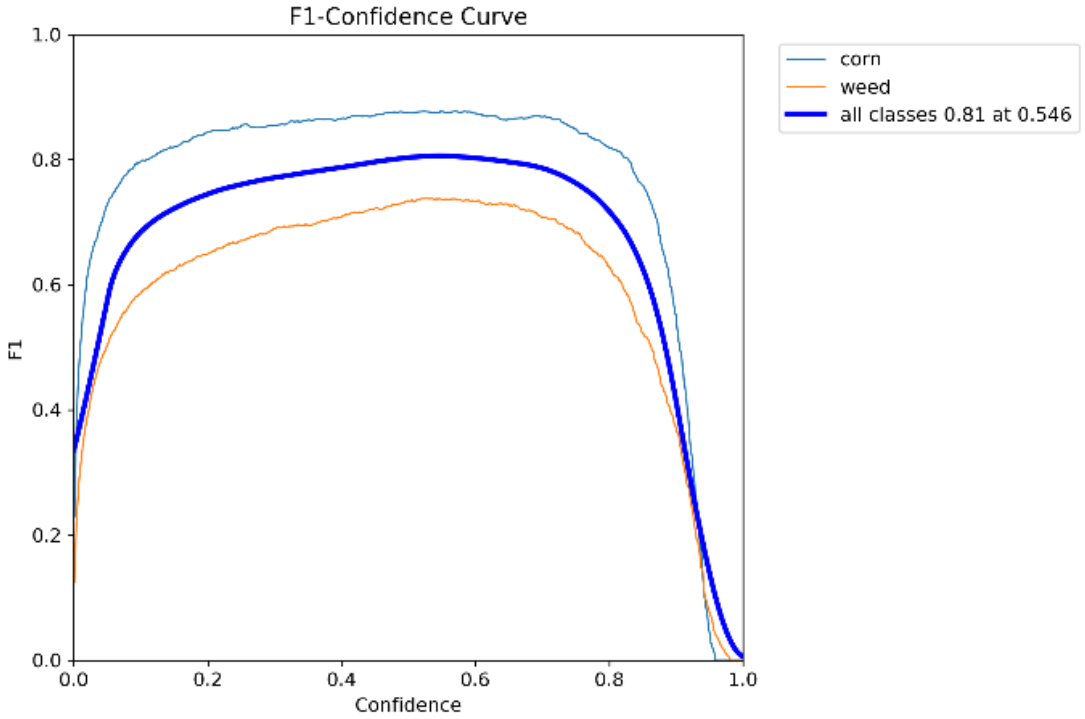
DeepLabv3 F1-Güven eğrisinde (Şekil 5) mısır sınıfı 0,35 eşiğinde 0,95'lik güçlü bir F1 tepe noktasına ulaşırken, yabani ot eğrisi baskılanmış bir geometriyle en fazla 0,47'ye tırmanabilmiştir. YOLOv8s-Seg modelinin maske ve kutu eğrileri (Şekil 6 ve Şekil 7) ile YOLOv11s-Seg modelinin karşılık gelen eğrileri (Şekil 8 ve Şekil 9), her iki görev türünde de yaklaşık 0,81 genel F1 skorunun korunduğunu göstermektedir. Özellikle YOLOv11s-Seg maske modeli (Şekil 8) bu skoru 0,467 gibi daha düşük bir güven eşiğinde yakalayarak daha elverişli bir kalibrasyon davranışı sergilemiştir. Kutu ve maske eğrilerinin birbirine yakın seyretmesi, robotun düşük güven sinyallerinde de kararlı karar üretebilmesi açısından önemlidir.



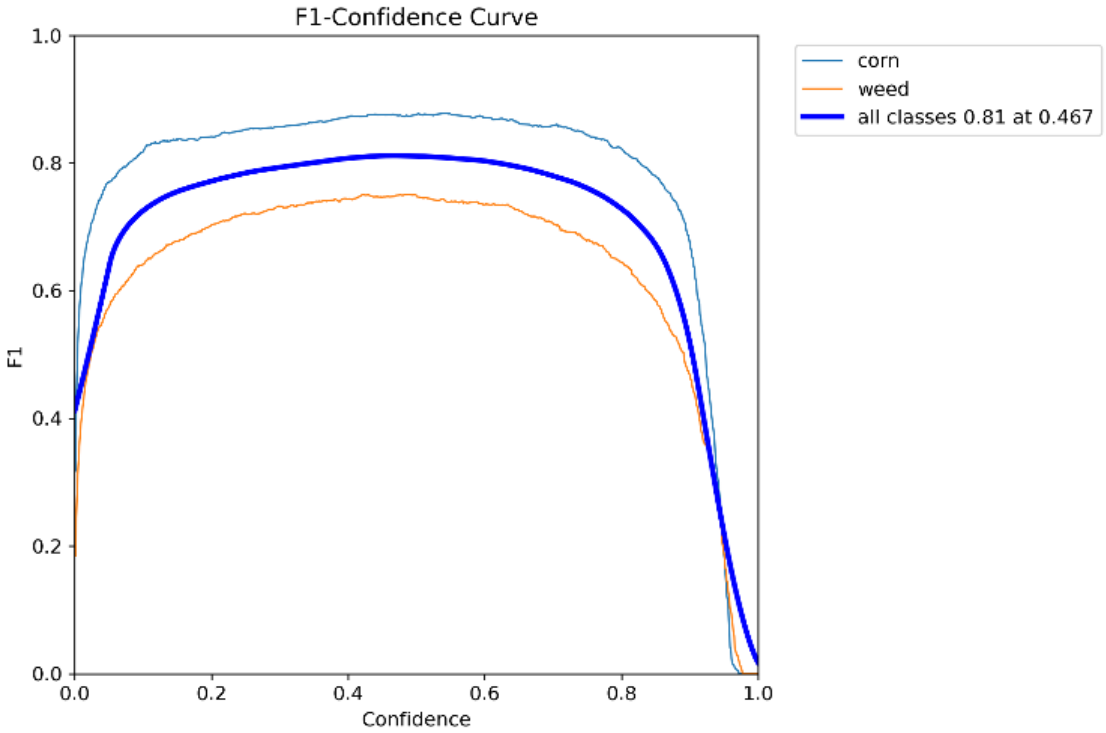
Şekil 5. DeepLabv3 F1-Güven eğrisi, mısır (0,95) ve yabani ot (0,47) arasındaki performans uçurumu



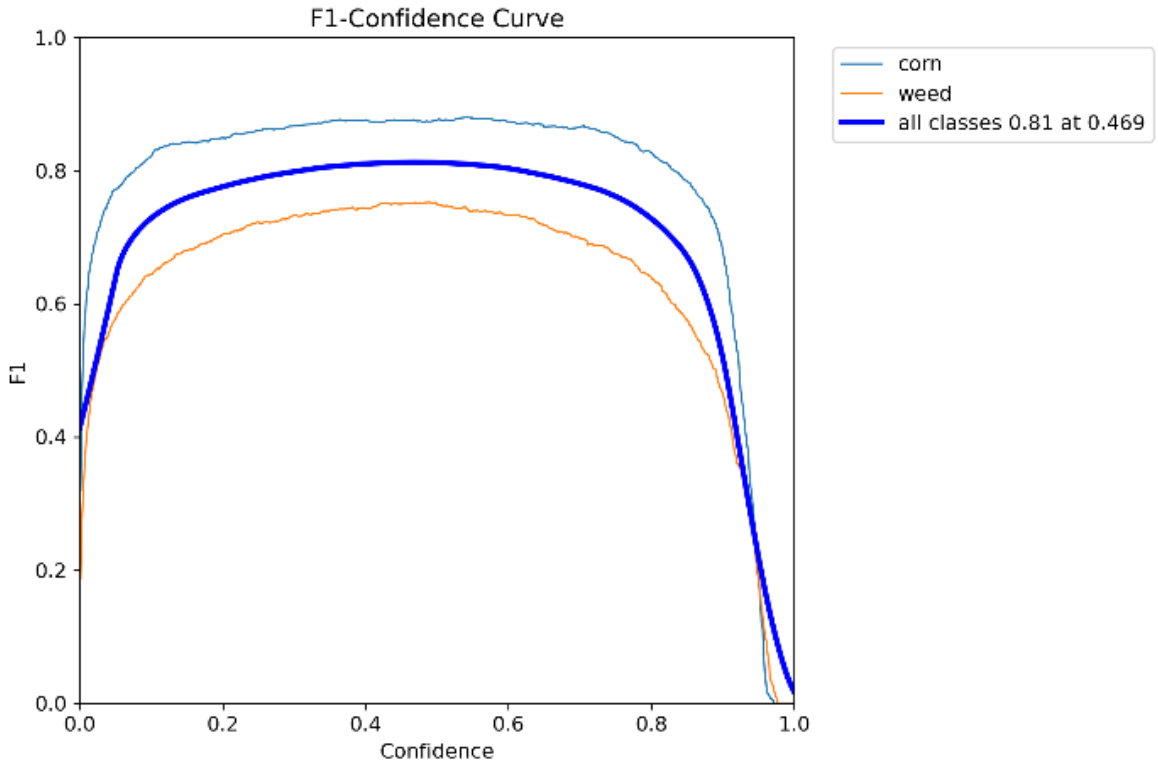
Şekil 6. YOLOv8s-Seg (Maske) F1-Güven eğrisi



Şekil 7. YOLOv8s-Seg (Kutu) F1-Güven eğrisi



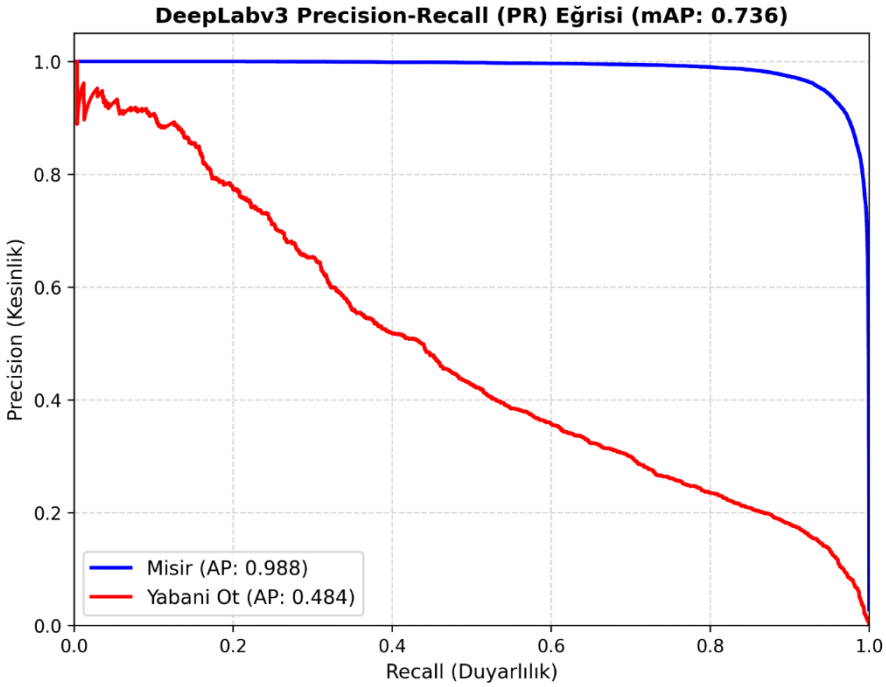
Şekil 8. YOLOv11s-Seg (Maske) F1-Güven eğrisi



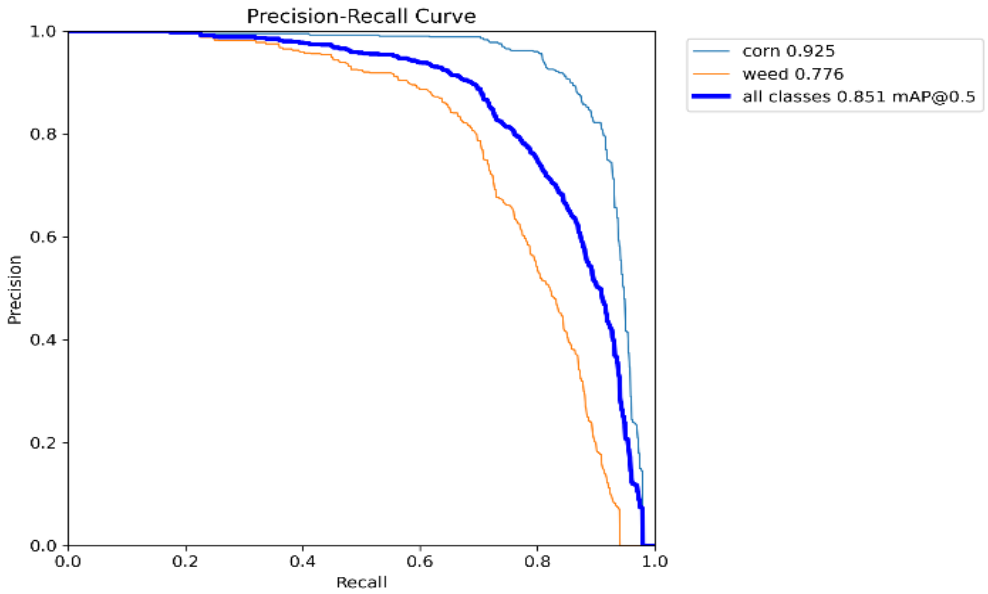
Şekil 9. YOLOv11s-Seg (Kutu) F1-Güven eğrisi

Çıkarım hızı açısından YOLOv11s-Seg, görüntü başına 0,2 ms ön işleme + 4,4 ms çıkarım + 1,4 ms son işleme olmak üzere toplam 6,0 ms (≈166 FPS) ile en hızlı modeldir. YOLOv8s-Seg 6,7 ms (≈149 FPS) süre üretirken, DeepLabv3 ağır decoder yapısı nedeniyle YOLO mimarisinin çok üzerinde bir gecikmeye sahiptir.

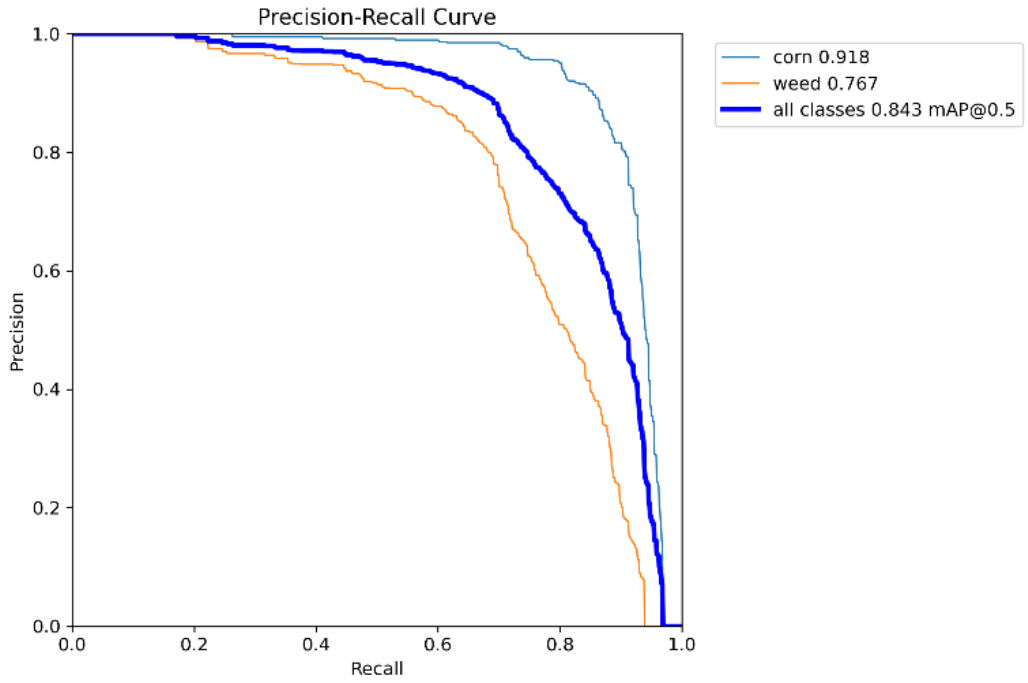
DeepLabv3'ün Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi (Şekil 10), sınıflar arasındaki belirgin performans farkını göstermektedir. Mısır eğrisi yüksek kesinlik ve duyarlılık düzeyini korurken (AP: 0,988), yabani ot eğrisi düşük duyarlılık bölgesinde dahi hızla gerilemekte (AP: 0,484) ve modelin yabani otların önemli bir bölümünü ıskaladığını doğrulamaktadır. YOLOv8s-Seg modelinin maske ve kutu eğrileri (Şekil 11 ve Şekil 12) ile YOLOv11s-Seg modelinin karşılık gelen eğrileri (Şekil 13 ve Şekil 14) birlikte değerlendirildiğinde, kutu ve maske görevlerinin birbirine yakın bir performans sergilediği görülmektedir. Bu görünüm, Tablo 2'de raporlanan küçük kutu–maske mAP farklarıyla uyumludur; özellikle YOLOv11s-Seg kutu modeli, yabani ot sınıfında 0,790 AP ve genel olarak 0,856 mAP@0,5 ile en güçlü sonucu üretmiştir.



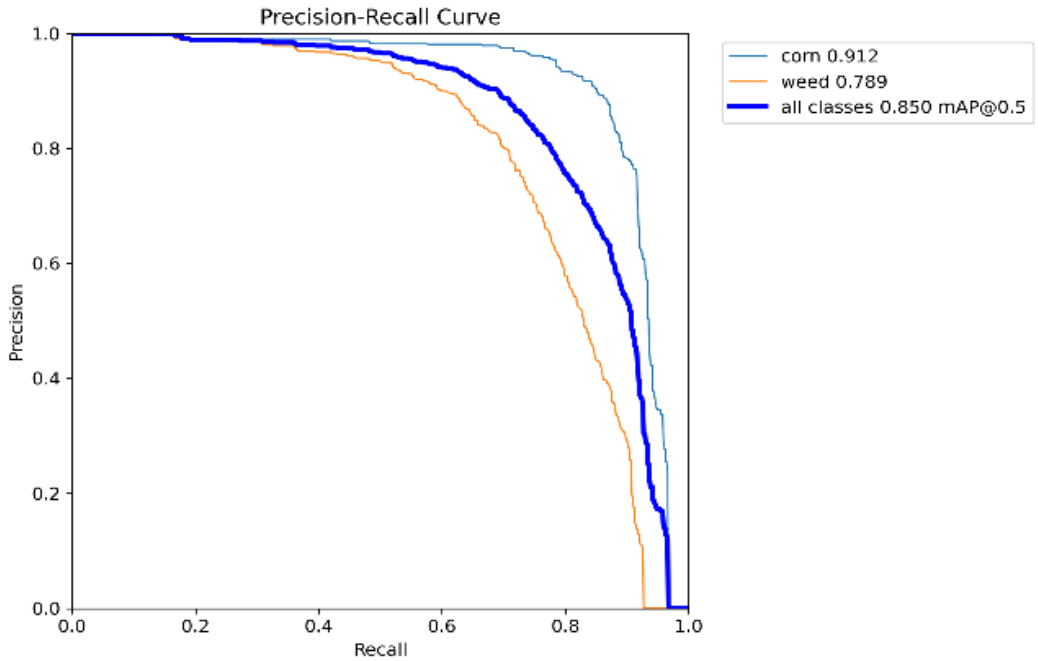
Şekil 10. DeepLabv3 Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi (mAP@0,5: 0,736)



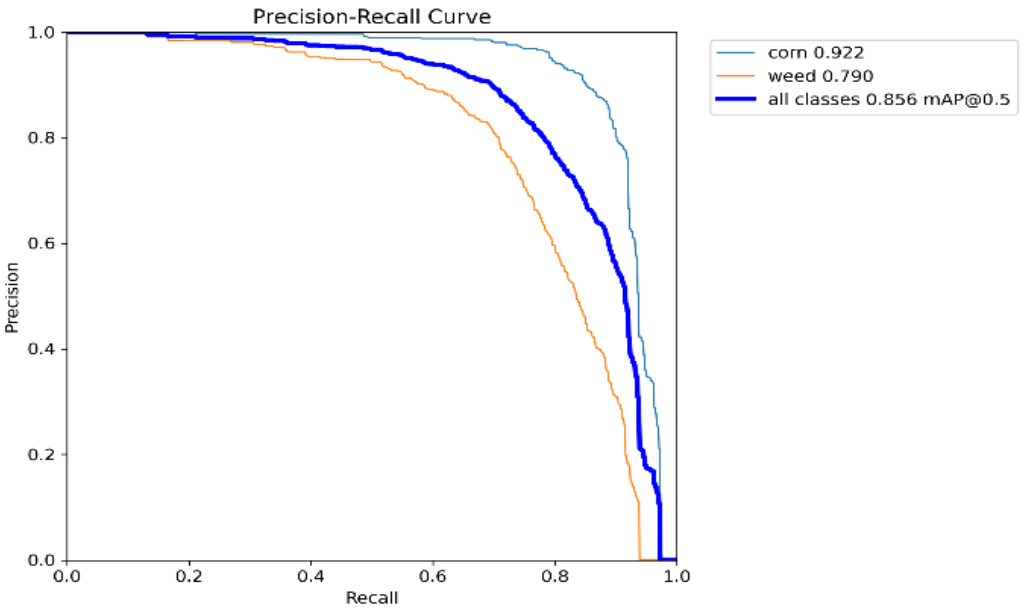
Şekil 11. YOLOv8s-Seg (Maske) Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi



Şekil 12. YOLOv8s-Seg (Kutu) Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi



Şekil 13. YOLOv11s-Seg (Maske) Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi



Şekil 14. YOLOv11s-Seg (Kutu) Kesinlik–Duyarlılık (Precision–Recall) eğrisi

4. TARTIŞMA

Çalışmanın bulguları, segmentasyon mimarisi seçiminin tarımsal sahadaki operasyonel başarıyı doğrudan etkilediğini göstermektedir. DeepLabv3 modelinin düşük doğrulama kaybı (0,015) ve yüksek mısır AP değeri (0,988), piksel düzeyinde sınıflandırma başarısının mısır sınıfı açısından güçlü olduğunu göstermektedir. Ancak veri setinde arka plan ve mısır piksellerinin baskın olması, piksel tabanlı kayıp fonksiyonlarının çoğunluk sınıflarını daha kolay optimize etmesine ve az temsil edilen yabani ot sınıfında performansın düşmesine neden olmuştur. Yabani otların %52'sinin arka plan olarak sınıflandırılması, modelin seçici müdahale senaryosunda güvenilirliğini azaltmakta ve gerçek zamanlı yabani ot imhası açısından operasyonel risk oluşturmaktadır.

YOLO tabanlı instance segmentation yaklaşımı ise yabani otları arka plan içinde eriyen piksel bölgeleri olarak değil, bağımsız nesne örnekleri olarak ele alarak yakalama oranını belirgin biçimde artırmıştır. İlgili sonuç, instance segmentation yaklaşımının tarımsal robotik uygulamalarda küçük, dağınık ve morfolojik olarak değişken bitki örneklerinin tespitinde sağladığı avantajları ortaya koyan çalışmalarla uyumludur (Champ et al., 2020). YOLOv11s-Seg modelinin C3k2 tabanlı öz nitelik çıkarım blokları ve dikkat mekanizması içeren güncel mimari bileşenleri, YOLOv8s-Seg modeline kıyasla yabani ot sınıfında daha yüksek kutu AP değeri üretmiş (0,767 → 0,790) ve daha düşük güven eşiğinde benzer F1 başarımına ulaşarak daha kararlı bir kalibrasyon davranışı göstermiştir. Elde edilen bulgular, sınıf dengesizliği ve küçük nesne tespiti problemlerinde az temsil edilen hedeflere odaklanan mimari ve kayıp fonksiyonu tasarımlarının önemini vurgulayan literatürle de örtüşmektedir (Oksuz et al., 2021).

Çıkarımların önemli noktalarından biri, YOLOv11s-Seg modelinde kutu (Box) ve maske (Mask) mAP değerleri arasındaki farkın yalnızca %0,6 olmasıdır. Model yabani ot nesnesini kutu düzeyinde doğru şekilde yakaladığında, operasyonel açıdan gerekli müdahale konumu büyük ölçüde belirlenmiş olmaktadır. Bu nedenle, poligon maske üreten segmentasyon başlığı

ek hesaplama yükü oluşturmasına rağmen saha müdahalesi açısından sınırlı katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgu, gerçek zamanlı gömülü sistem entegrasyonunda YOLOv11s-Seg yerine yalnızca bounding box çıktısı üreten daha hafif bir YOLO algılama modeline geçilmesinin mühendislik açısından daha verimli bir strateji olabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇ

Sıra-üstü otonom çapalama robotu için mısır–yabani ot ayrımı problemi kapsamında DeepLabv3, YOLOv8s-Seg ve YOLOv11s-Seg mimarileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, DeepLabv3 modelinin yüksek piksel doğruluğuna karşın yabani ot sınıfında düşük AP ve Recall değerleri nedeniyle küçük ve dağınık hedeflerin tespitinde yetersiz kaldığını göstermiştir. YOLO tabanlı modeller ise hem doğruluk hem de nesne tespit başarımı açısından daha dengeli sonuçlar ortaya koymuştur. Özellikle YOLOv11s-Seg modeli, yabani ot sınıfında 0,790 AP ve genel 0,856 mAP@0,5 değeri ile en yüksek tespit performansını elde ederken, 6,0 ms çıkarım süresi (≈166 FPS) ile gerçek zamanlı uygulamalar için en yüksek işlem hızını sağlamıştır. Ayrıca kutu ve maske mAP değerleri arasındaki farkın yalnızca %0,6 düzeyinde kalması, modelin nesne tespit ve segmentasyon görevlerini benzer doğruluk düzeyinde gerçekleştirebildiğini göstermektedir.

Bulgular değerlendirildiğinde, modeller arasında doğruluk, kararlılık ve gerçek zamanlı çalışma performansı bakımından en başarılı mimarinin YOLOv11s-Seg olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmada gerçekleştirilen robotun gövde imalatı, hesaplama ve donanım altyapısı, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından 2025-2-TP2-5509 No'lu sözleşme ile fonlanmıştır.

KAYNAKÇA

Ahmad, A., Saraswat, D., Aggarwal, V., Etienne, A., & Hancock, B. (2021). Performance of deep learning models for classifying and detecting common weeds in corn and soybean production systems. *Computers and Electronics in Agriculture, 184*, 106081. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106081

Burgos-Artizzu, X. P., Ribeiro, A., Guijarro, M., & Pajares, G. (2011). Real-time image processing for crop/weed discrimination in maize fields. *Computers and Electronics in Agriculture, 75*(2), 337–346. https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.12.011

Champ, J., Mora-Fallas, A., Goëau, H., Mata-Montero, E., Bonnet, P., & Joly, A. (2020). Instance segmentation for the fine detection of crop and weed plants by precision agricultural robots. *Applications in Plant Sciences, 8*(7), e11373. https://doi.org/10.1002/aps3.11373

Chen, L.-C., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2017). Rethinking atrous convolution for semantic image segmentation. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.05587

Chen, L.-C., Zhu, Y., Papandreou, G., Schroff, F., & Adam, H. (2018). Encoder-decoder with atrous separable convolution for semantic image segmentation. In *Computer Vision – ECCV 2018* (pp. 801–818). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01234-2_49

Geng, T., Yu, H., Yuan, X., Ma, R., & Li, P. (2024). Research on segmentation method of maize seedling plant instances based on UAV multispectral remote sensing images. *Plants, 13*(13), 1842. https://doi.org/10.3390/plants13131842

Hamuda, E., Mc Ginley, B., Glavin, M., & Jones, E. (2017). Automatic crop detection under field conditions using the HSV colour space and morphological operations. *Computers and Electronics in Agriculture, 133*, 97–107. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.11.021

Haug, S., & Ostermann, J. (2015). A crop/weed field image dataset for the evaluation of computer vision based precision agriculture tasks. In *Computer Vision – ECCV 2014 Workshops* (pp. 105–116). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16220-1_8

He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision* (pp. 2961–2969). https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 770–778). https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Jocher, G., & Qiu, J. (2024). *Ultralytics YOLO11 (Version 11.0.0)* [Computer software]. GitHub. https://github.com/ultralytics/ultralytics

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. *Computers and Electronics in Agriculture, 147*, 70–90. https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016

Khanam, R., & Hussain, M. (2024). YOLOv11: An overview of the key architectural enhancements. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.17725

Liu, T., Jin, X., Han, K., He, F., Wang, J., Chen, X., Kong, X., & Yu, J. (2025). Semantic segmentation for weed detection in corn. *Pest Management Science, 81*(3), 1512–1528. https://doi.org/10.1002/ps.8554

Long, J., Shelhamer, E., & Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 3431–3440). https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298965

Milioto, A., Lottes, P., & Stachniss, C. (2018). Real-time semantic segmentation of crop and weed for precision agriculture robots leveraging background knowledge in CNNs. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation* (pp. 2229–2235). https://doi.org/10.1109/ICRA.2018.8460962

Oksuz, K., Cam, B. C., Kalkan, S., & Akbas, E. (2021). Imbalance problems in object detection: A review. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43*(10), 3388–3415. https://doi.org/10.1109/TPAMI.2020.2981890

Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 779–788). https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91

Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015* (pp. 234–241). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24574-4_28

Wang, A., Zhang, W., & Wei, X. (2019). A review on weed detection using ground-based machine vision and image processing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture, 158*, 226–240. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.02.005

Yaseen, M. (2024). What is YOLOv8: An in-depth exploration of the internal features of the next-generation object detector. *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.15857

Zheng, Y., Zhu, Q., Huang, M., Guo, Y., & Qin, J. (2017). Maize and weed classification using color indices with support vector data description in outdoor fields. *Computers and Electronics in Agriculture, 141*, 215–222. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.028

FARKLI FOTOVOLTAİK SİSTEM MİMARİLERİNDE MAKİNE ÖĞRENİMİ VE DERİN ÖĞRENME TABANLI AKILLI TAHMİNLEME YAKLAŞIMLARININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Prof. Dr. Ali AKDAĞLI
Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3312-992X
Doç. Dr. Ali YILDIZ
Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3904-6017
Dr. Öğretim Üyesi Filiz KARAÖMERLİOĞLU
Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4677-4365
Serkan Can ŞEKERCİ
Mersin Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0009-0001-8118-2867

ÖZET
Fotovoltaik (PV) üretimin meteorolojik ve işletim koşullarına bağlı hızlı değişkenliği, şebeke planlama, enerji depolama yönetimi ve piyasa işlemleri için güvenilir güç tahminini gerekli kılmaktadır. Makine öğrenimi ve derin öğrenme yöntemleri yaygın biçimde kullanılsa da PV ölçeği, veri kaynağı, öngörü süresi ve hata ölçütlerindeki farklılıklar doğrudan karşılaştırmayı güçleştirmektedir. Bu çalışma; çatı ve dağıtık sistemler, büyük ölçekli santraller, bölgesel ve çok tesisli yapılar, bina bütünleşik PV ile mikroşebeke ve depolama mimarilerindeki akıllı tahminleme yaklaşımlarını yapılandırılmış tematik bir incelemeyle karşılaştırmaktadır. İnceleme kapsamındaki 35 temel yayın; PV mimarisi, öngörü süresi, girdi verileri, model ailesi, ölçütler, genellenebilirlik ve sınırlılıklar açısından değerlendirilmiştir. Bulgular, tek bir model ailesinin bütün mimarilerde sürekli üstün olmadığını; başarımın veri kalitesi, tesisler arası benzerlik, meteorolojik girdiler, öngörü süresi ve doğrulama tasarımına güçlü biçimde bağlı olduğunu göstermektedir. Ağaç tabanlı topluluklar tablosal ve sınırlı veride güçlü taban çizgileri sunarken, uzun kısa süreli bellek (LSTM) ağları ile evrişimli sinir ağı-LSTM (CNN-LSTM) hibritleri yeterli veri bulunduğunda zamansal ve uzamsal örüntüleri etkili biçimde öğrenebilmektedir. Adil model kıyaslaması için normalize edilmiş ölçütler, yeni tesis ve bölgelerde doğrulama, belirsizlik kalibrasyonu, hesaplama maliyeti, fiziksel tutarlılık ve açıklanabilirlik birlikte raporlanmalıdır. Bu çalışma, PV mimarisine duyarlı model seçimi ve güvenilir uygulama için bütünleşik bir değerlendirme ve araştırma çerçevesi önermektedir.
Anahtar kelimeler: fotovoltaik güç tahmini, makine öğrenimi, derin öğrenme, PV mimarileri, olasılıksal tahmin, açıklanabilir yapay zekâ

A COMPARATIVE REVIEW OF MACHINE-LEARNING- AND DEEP-LEARNING-BASED INTELLIGENT FORECASTING APPROACHES ACROSS DIFFERENT PHOTOVOLTAIC SYSTEM ARCHITECTURES

ABSTRACT
The rapid variability of photovoltaic (PV) generation with meteorological and operating conditions makes reliable power forecasting essential for grid planning, energy storage management, and market operations. Although machine learning and deep learning methods are widely used, differences in PV scale, data sources, forecasting horizons, and error metrics hinder direct comparison. This study provides a structured thematic comparison of intelligent

forecasting approaches for rooftop and distributed systems, utility-scale plants, regional and multi-site systems, building-integrated PV, and microgrid and storage architectures. The 35 core publications included in the review were evaluated by PV architecture, forecasting horizon, input data, model family, metrics, generalizability, and reported limitations. The evidence indicates that no single model family is consistently superior across all architectures and that performance depends strongly on data quality, similarity among sites, meteorological inputs, forecasting horizon, and validation design. Tree-based ensembles provide strong baselines for tabular and limited-data settings, whereas long short-term memory (LSTM) networks and convolutional neural network-LSTM (CNN-LSTM) hybrids can learn temporal and spatial patterns effectively when sufficient data are available. Fair benchmarking requires the joint reporting of normalized metrics, validation at unseen sites or regions, uncertainty calibration, computational cost, physical consistency, and explainability. The study proposes an integrated evaluation and research framework for architecture-aware model selection and reliable deployment of intelligent PV forecasting systems.

Keywords: photovoltaic power forecasting, machine learning, deep learning, PV architectures, probabilistic forecasting, explainable artificial intelligence

1. GİRİŞ

Fotovoltaik enerji, modüler yapısı sayesinde konut çatılarından yüzlerce megavatlık santrallere kadar çok farklı ölçeklerde kurulabilmektedir. Buna karşılık üretim, atmosferik koşullara ve sistem geometrisine bağlı olarak kısa zaman aralıklarında önemli değişimler gösterir. Işınım, bulut geçişleri, ortam ve modül sıcaklığı, rüzgâr, nem, gölgelenme, kirlenme ve dönüştürücü davranışı aynı gün içinde dahi üretim profilini değiştirebilir. Bu değişkenlik; gün öncesi planlama, gerçek zamanlı dengeleme, batarya çizelgeleme, talep tarafı yönetimi ve bakım kararları için PV güç tahminini temel bir işlev hâline getirmiştir (Akhter et al., 2019; Mellit et al., 2020; Voyant et al., 2017).

Klasik fiziksel modeller PV modülünün elektriksel davranışı ile meteorolojik girdiler arasındaki ilişkiyi açık biçimde temsil eder; ancak ayrıntılı tesis parametrelerine, doğru ışınım bileşenlerine ve düzenli kalibrasyona ihtiyaç duyar. İstatistiksel modeller daha hızlıdır, fakat doğrusal olmayan ve durağan olmayan örüntülerde sınırlı kalabilir. Machine Learning (ML; Makine Öğrenimi) ve Deep Learning (DL; Derin Öğrenme), tarihsel güç üretimi ile meteorolojik değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri veriden öğrenerek esnek bir çözüm sunar. Random Forest (RF; Rastgele Orman), Extremely Randomized Trees (ERT; Aşırı Rastgeleleştirilmiş Ağaçlar), Support Vector Regression (SVR; Destek Vektör Regresyonu) ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost) bazı verilerde güçlü sonuçlar verebilir. Long Short Term Memory (LSTM; Uzun Kısa Süreli Bellek), Gated Recurrent Unit (GRU; Kapılı Tekrarlayan Birim), Convolutional Neural Network (CNN; Evrişimli Sinir Ağı), Transformer ve Graph Neural Network (GNN; Grafik Sinir Ağı) ise zaman bağımlılıklarını ve tesisler arası ilişkileri modellemeyi amaçlar (Ahmad et al., 2018; Rajagukguk et al., 2020; Yu et al., 2024).

Bununla birlikte literatürdeki yüksek doğruluk iddiaları her zaman karşılaştırılabilir değildir. Çalışmalar farklı kurulu güçler, iklimler, örnekleme aralıkları, öngörü süreleri ve veri bölme stratejileri kullanmaktadır. Bir çalışmadaki Root Mean Square Error (RMSE; Kök Ortalama Kare Hata) değerinin başka bir çalışmadaki değerden küçük olması, yöntemin genel olarak daha iyi olduğunu göstermez. Ölçütlerin kurulu güce göre normalize edilmesi, gece saatlerinin ele alınışı, meteorolojik tahmin kalitesi ve test döneminin mevsimsel yapısı sonucu önemli ölçüde etkileyebilir. Pombo et al. (2022), aynı veri ve doğrulama koşullarında yürütülen fizik bilgili kıyaslamaların bu nedenle gerekli olduğunu vurgulamıştır.

PV sistem mimarisi de model başarısını belirleyen temel bir etkendir. Konut sistemlerinde ölçüm eksikliği ve sistemler arası heterojenlik öne çıkarken, büyük ölçekli santrallerde saha içi

ışınım farklılığı ve sensör yerleşimi önemlidir. Bölgesel ve çok tesisli uygulamalar uzamsal bağımlılık ile yeni tesislere aktarımı; Building Integrated Photovoltaics (BIPV; Bina Bütünleşik Fotovoltaik) sistemleri cephe yönelimi, gölgelenme ve modül özelliklerini; mikroşebekeler ise tahmin hatasının depolama ve işletme maliyetine etkisini ön plana çıkarır. Bu çalışmanın amacı, ML ve DL tabanlı PV tahmin yaklaşımlarını yalnızca algoritma adlarına göre değil, kullanıldıkları sistem mimarisi, veri ihtiyacı, öngörü hedefi ve işletme değeri üzerinden karşılaştırmaktır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, PV güç ve verim tahmini alanındaki temel yöntem makaleleri, derlemeler ve farklı sistem mimarilerinde yürütülen deneysel çalışmalar üzerinde yapılandırılmış tematik bir literatür incelemesi olarak hazırlanmıştır. Kaynak havuzu; yöntem kökenleri, PV tahmin derlemeleri, çatı ve dağıtık sistemler, büyük ölçekli santraller, çok tesisli ve bölgesel yapılar, BIPV, mikroşebeke ve depolama, olasılıksal tahmin, fizik bilgili öğrenme, transfer öğrenme ve açıklanabilir yapay zekâ temalarında sınıflandırılmıştır.

Her çalışma; PV mimarisi, öngörü süresi, girdi verileri, model ailesi, karşılaştırılan taban çizgileri, kullanılan ölçütler, genellenebilirlik testi ve bildirilen sınırlılıklar açısından değerlendirilmiştir. Ham hata değerleri yalnızca aynı veri ve benzer deney tasarımı içindeki model karşılaştırmalarında yorumlanmış; farklı çalışmalardan gelen sonuçlar doğrudan bir başarı sıralamasına dönüştürülmemiştir. Sentez üç soruya odaklanmıştır: Hangi mimaride hangi veri sorunu baskındır? Hangi model ailesi bu soruna uygun bir öğrenme yapısı sağlar? Başarımın güvenilir ve işletilebilir olduğu hangi değerlendirme düzeniyle gösterilebilir?

İnceleme sırasında çalışmaların yöntem adlarından çok deney koşulları esas alınmıştır. Aynı modelin farklı veri bölmeleri, meteorolojik kaynaklar veya normalizasyon kuralları altında çok farklı sonuçlar verebildiği göz önünde bulundurulmuştur. Derlemeler, alanın genel eğilimlerini ve ortak sorunlarını belirlemek için; deneysel çalışmalar ise mimariye özgü kanıtları karşılaştırmak için kullanılmıştır (El Hendouzi & Bourouhou, 2020; Rajagukguk et al., 2020; Yu et al., 2024). Böylece yöntem temeli ile doğrudan PV kanıtı birbirinden ayrılmıştır.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. PV TAHMİNLEME İŞ AKIŞI VE KARŞILAŞTIRMA İLKELERİ

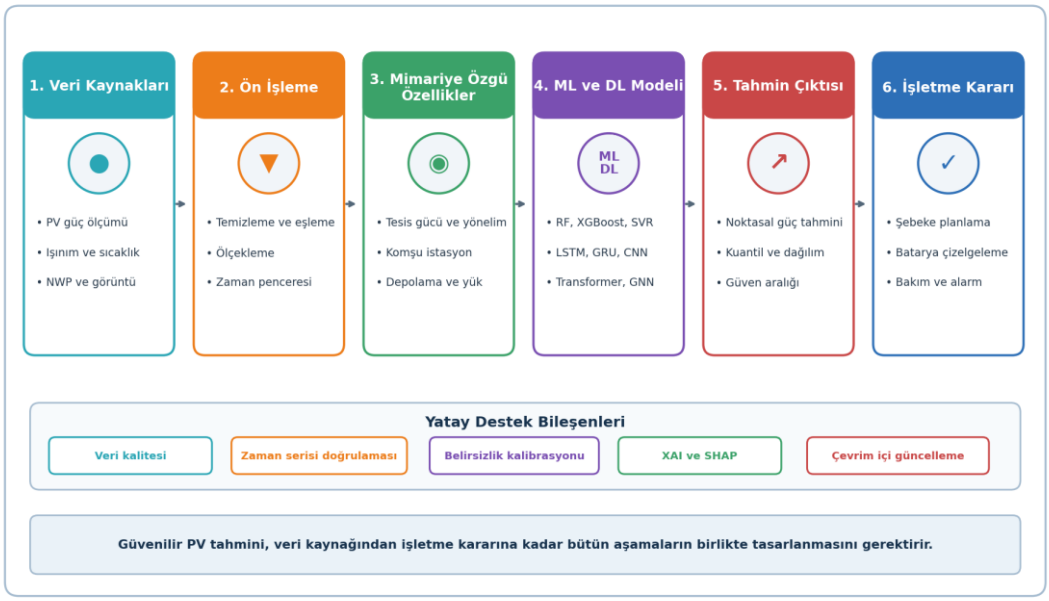
Akıllı PV tahmini, yalnızca bir algoritmanın eğitilmesinden oluşmaz. İşlem hattı; veri toplama, zaman damgalarının eşlenmesi, kalite kontrol, eksik değer işlemleri, ölçekleme, zaman pencerelerinin oluşturulması, mimariye özgü özelliklerin hazırlanması, model eğitimi, tahmin üretimi ve işletme kararına aktarım adımlarını kapsar. Tarihsel güç, ışınım ve sıcaklık çoğu çalışmanın temel girdileridir. Numerical Weather Prediction (NWP; Sayısal Hava Tahmini), gökyüzü görüntüleri, komşu tesis üretimi, modül yönelimi, batarya durumu ve kurulu güç bilgisi uygulama bağlamına göre eklenir (Kuo et al., 2022; Suresh et al., 2020; Xue et al., 2024). Explainable Artificial Intelligence (XAI; Açıklanabilir Yapay Zekâ) ve Shapley Additive Explanations (SHAP), model davranışını ve değişken etkilerini açıklamak için kullanılır. Şekil 1, bu uçtan uca hattı ve bütün aşamaları destekleyen veri kalitesi, zaman serisi doğrulaması, belirsizlik, XAI ve çevrim içi güncelleme bileşenlerini göstermektedir.

Veri bölme stratejisi karşılaştırmanın güvenilirliği açısından kritiktir. Rastgele karıştırma, gelecekteki örüntülerin eğitim kümesine sızmasına yol açabileceğinden zaman serilerinde kronolojik eğitim, doğrulama ve test ayrımı tercih edilmelidir. Çok tesisli modellerde yalnızca zaman dışı test yeterli değildir; daha önce görülmemiş bir tesisi veya bölgeyi test dışında bırakmak gerçek aktarılabilirliği daha iyi ölçer. Tucci et al. (2024) sınırlı tesise özgü veri

koşullarını, Jang et al. (2024) çok tesisli kullanım senaryosunu, Depoortere et al. (2025) ise sentetik veriden gerçek tesise transfer öğrenmeyi bu açıdan ele almıştır.

Ölçüt seçimi problem yapısına uygun olmalıdır. Mean Absolute Error (MAE; Ortalama Mutlak Hata) yorumlanabilir mutlak hata sunarken RMSE büyük hataları daha fazla cezalandırır. Mean Absolute Percentage Error (MAPE; Ortalama Mutlak Yüzde Hata), gece veya çok düşük üretim değerlerinde kararsız olabilir. Bu nedenle normalized MAE (nMAE; Normalize Edilmiş Ortalama Mutlak Hata) ve normalized RMSE (nRMSE; Normalize Edilmiş Kök Ortalama Kare Hata) gibi ölçütler çalışmalar arası karşılaştırmada daha uygundur. Olasılıksal tahminlerde yalnızca nokta hatası değil, Continuous Ranked Probability Score (CRPS; Sürekli Sıralanmış Olasılık Puanı), kapsama olasılığı ve aralık genişliği birlikte değerlendirilmelidir. İşlem hattının bileşenleri, işlevleri ve başlıca riskleri Tablo 1'de özetlenmiştir.

Öngörü süresi, model ve girdi seçimini doğrudan değiştirir. Dakikalar ile birkaç saat içindeki çok kısa dönem uygulamalarda son güç ölçümleri, yerel bulut hareketi ve yüksek çözünürlüklü meteoroloji önem kazanır. Gün öncesi tahminde ise NWP kalitesi, günlük mevsimsellik ve daha uzun geçmiş pencereleri belirleyicidir. Çok adımlı tahminde her adım için bağımsız model kurmak, doğrudan çok çıkışlı model kullanmak veya özyinelemeli tahmin yapmak farklı hata birikimi üretir. Bu nedenle model karşılaştırmasında aynı zaman aralığı ve aynı çıktı stratejisi korunmalıdır.



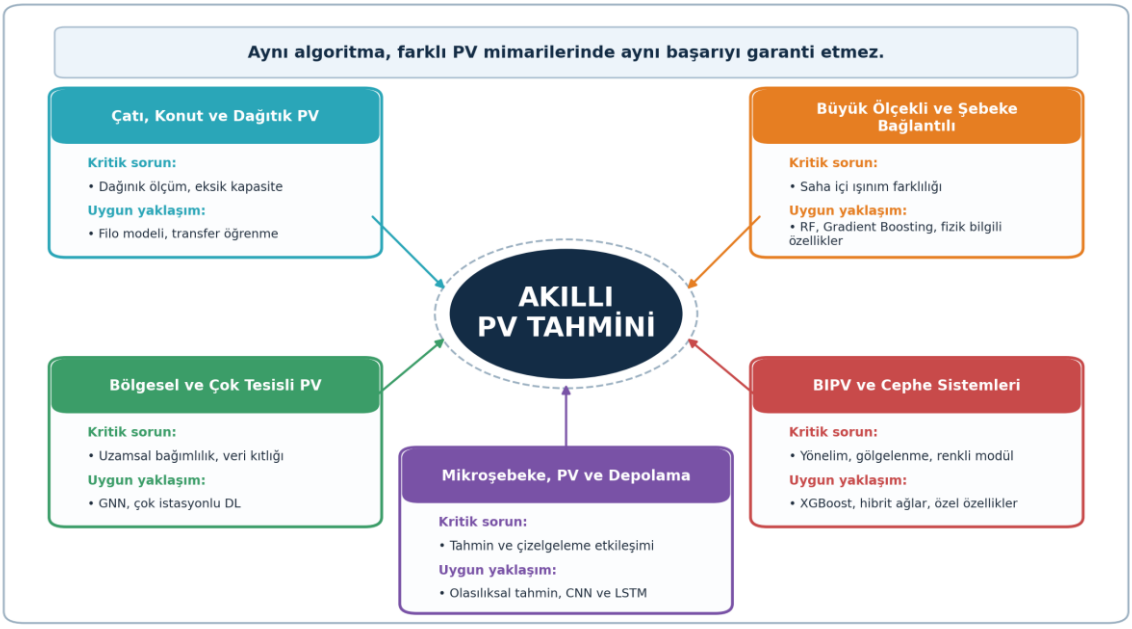
Şekil 1. Akıllı PV tahmin sisteminin uçtan uca işlem hattı ve yatay destek bileşenleri.

Tablo 1. PV tahmin işlem hattı bileşenleri, işlevleri ve başlıca riskleri.

Bileşen	Temel işlev	Başlıca risk
Veri toplama	PV güç, meteoroloji, NWP, görüntü ve işletme verisini birleştirir	Zaman damgası uyumsuzluğu, sensör hatası ve eksik veri
Ön işleme	Temizleme, ölçekleme ve zaman penceresi oluşturur	Veri sızıntısı, yanlış doldurma ve gece değerlerinin hatalı kullanımı
Özellik hazırlama	Gecikme, güneş geometrisi, komşu tesis ve fiziksel göstergeler üretir	Fazla değişken, kollineerlik ve fiziksel anlam kaybı
Modelleme	ML ve DL ile noktasal veya olasılıksal tahmin üretir	Aşırı uyum, yetersiz ayarlama ve yüksek hesaplama maliyeti
Doğrulama	Kronolojik ve tesis dışı testlerle genellenebilirliği ölçer	Rastgele bölme, gelecek bilgisi sızıntısı ve tek mevsim yanlılığı
Açıklama ve karar	SHAP, güven aralığı ve işletme etkisini sunar	Yanıltıcı açıklama, kalibrasyonsuz güven ve karar maliyetinin göz ardı edilmesi

3.2. FOTOVOLTAİK SİSTEM MİMARİLERİ

PV tahmin probleminin veri yapısı ve hata maliyeti, sistemin fiziksel ve işletimsel mimarisine göre değişir. Şekil 2, beş ana mimariyi aynı akıllı tahminleme çekirdeği çevresinde karşılaştırmakta; Tablo 2 ise her mimaride öne çıkan sorunları, uygun yöntemleri ve temel ödünleşimleri göstermektedir.



Şekil 2. Farklı PV sistem mimarileri, baskın tahmin sorunları ve uygun model yaklaşımları.

Tablo 2. PV mimarilerinde tahmin sorunları, uygun yaklaşımlar ve başlıca ödünleşimler.

PV mimarisi	Baskın tahmin sorunu	Uygun yaklaşım	Başlıca ödünleşim
Çatı, konut ve dağıtık	Az veri, heterojen yönelim, görünmeyen kapasite	Filo modeli, XGBoost ve RF, transfer öğrenme	Bireysel farklılıkların toplu modelde kaybolması
Büyük ölçekli ve şebeke bağlantılı	Saha içi ışınım farkı ve çoklu sensör	RF, Gradient Boosting, fizik bilgili özellikler ve LSTM	Sensör ve bakım maliyeti; modelin sahaya bağımlılığı
Bölgesel ve çok tesisli	Uzamsal bağımlılık ve yeni tesise aktarım	GNN, çok istasyonlu CNN ve LSTM hibriti, çok görevli model	Korelasyon yapısının bölge ve mevsime bağlı olması
BIPV ve cephe	Yönelim, gölgelenme, renkli modül ve bina geometrisi	XGBoost, fiziksel özellikler ve hibrit ağlar	Veri azlığı ve yüksek bina özgüllüğü
Mikroşebeke, PV ve depolama	Tahmin hatasının çizelgeleme ve maliyete etkisi	Olasılıksal tahmin, CNN ve LSTM hibriti, karar odaklı öğrenme	Doğruluk ile işletme maliyeti arasında farklı hedefler

3.2.1. Çatı, Konut ve Dağıtık PV Sistemleri

Çatı ve konut PV sistemleri, küçük kurulu güç, heterojen yönelim, gölgelenme ve eksik izleme altyapısı nedeniyle zor bir tahmin ortamı oluşturur. Tek tek sistemler için yeterli tarihsel veri bulunmayabilir ve dağıtım şirketi bazı tesislerin gerçek kapasitesini dahi bilmeyebilir. Kim ve Kim (2021), yetkisiz çatı PV kapasitesini tahmin sürecine ekleyerek bölgesel gün öncesi hatayı azaltmıştır. Grzebyk et al. (2023), 1102 konut sistemini tek bir XGBoost modeliyle ele almış ve bireysel tesislerin birlikte öğrenilmesinin ölçeklenebilir bir seçenek olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar, konut ölçeğinde her tesis için ayrı karmaşık ağ kurmak yerine sistem kimliği, kurulu güç ve normalize edilmiş üretim özelliklerini kullanan filo modellerinin güçlü bir başlangıç sunduğunu göstermektedir.

Veri kıtlığında transfer öğrenme ve bölgesel toplulaştırma önem kazanır. Depoortere et al. (2025), Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS; Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemi) ile üretilen sentetik veriler üzerinde ön eğitimden sonra gerçek ölçümlere ince ayar yapılmasının özellikle az gözlem bulunan tesislerde yararlı olduğunu göstermiştir. Buna karşılık aktarım başarısı, kaynak ve hedef bölgenin hava koşulları ile mevsimselliğinin uyumuna bağlıdır. Bu nedenle konut PV için model başarısı yalnızca ortalama hata ile değil, yeni tesis testi ve farklı kurulu güç sınıflarında tutarlılıkla değerlendirilmelidir.

Konut sistemleri için hata normalizasyonu ayrıca önemlidir. Aynı mutlak hata, 2 kilowatt peak (kWp; kilovat pik) ve 10 kWp sistemlerde farklı işletim anlamı taşır. Kurulu güç bilinmiyorsa geçmiş maksimum, tahmini kapasite veya bölgesel üst ölçekleme kullanılabilir; ancak seçilen normalizasyon yöntemi açıkça belirtilmelidir. Aksi durumda büyük sistemlerin hatası ortalamayı baskılayabilir ve küçük sistemlerdeki göreli başarısızlık görünmez hâle gelebilir.

3.2.2. Büyük Ölçekli ve Şebeke Bağlantılı PV Santralleri

Büyük ölçekli santraller daha düzenli sensör altyapısına sahip olsa da geniş sahadaki ışınım ve sıcaklık aynı değildir. Tek bir meteoroloji istasyonu bütün alanı temsil etmeyebilir. Talayero et al. (2023), farklı sayıda meteoroloji istasyonuna sahip üç büyük ölçekli tesiste RF'nin güçlü sonuçlar verdiğini ve saha içi bilgilerin modele eklenmesinin önemli olduğunu göstermiştir. Ağaç tabanlı yöntemler, çok sayıda meteorolojik ve işletim değişkeni arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri sınırlı ön işlemle öğrenebildiği için bu mimaride etkili taban çizgileridir.

Şebeke bağlantılı uygulamalarda saat öncesi ve gün öncesi öngörüler farklı kararları destekler. Ahmad et al. (2018), RF, ERT ve SVR'nin benzer tahmin gücüne sahip olabildiğini, ancak hesaplama maliyetlerinin farklılaştığını göstermiştir. Akhter et al. (2022) üç farklı tesiste Recurrent Neural Network (RNN; Tekrarlayan Sinir Ağı) tabanlı LSTM ile saat öncesi tahmini incelemiştir. Bu bulgular, model seçiminde tahmin hatasının yanı sıra eğitim sıklığı, çıkarım süresi ve sahadaki güncelleme gereksiniminin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.
Büyük santrallerde fiziksel bilgi model denetimi için de kullanılabilir. Işınım arttığında beklenmeyen güç düşüşü, tahmin hatası kadar kirlenme, gölgelenme, inverter sınırı veya sensör arızasına işaret edebilir. Bu durumda tahmin modeli, üretim planlamasının yanı sıra tesis performansının izlenmesinde de referans olarak kullanılabilir. Ancak bu kullanımda eğitim verisinin arızalı dönemlerden temizlenmesi ve belirsizlik bandının tanımlanması gerekir.

3.2.3. Bölgesel, Çok Tesisli ve Mikroşebeke PV Yapıları

Bölgesel tahminde komşu tesisler ortak bulut hareketlerinden ve benzer meteorolojik sistemlerden etkilenir. Bu nedenle tek tesisin geçmişi yerine tesisler arası uzamsal ve zamansal ilişki kullanılabilir. Jing et al. (2024), altı PV tesisi arasında Fourier uzayında grafik ilişkileri öğrenen bir GNN yaklaşımı önermiştir. Xue et al. (2024) ise komşu istasyonların üretim ve meteorolojik verilerini birleştirerek çok ölçekli CNN ve LSTM hibritiyle mikroşebekedeki tesisleri ortak biçimde tahmin etmiştir. Böyle bir yapı, veri miktarını artırırken her tesise ayrı model kurma zorunluluğunu azaltabilir.
Çok tesisli modellerin temel riski, coğrafi korelasyonun her mevsimde sabit kabul edilmesidir. Yeni bir tesisin iklimi, yönelimi veya veri kalitesi eğitim filosundan farklıysa, ortalama başarı yanıltıcı olabilir. Bu nedenle bölgesel modellerde bir tesisi dışarıda bırakan doğrulama, tesis bazlı hata dağılımı ve farklı hava rejimlerinde sağlamlık raporlanmalıdır. Jang et al. (2024) ve Tucci et al. (2024), tesisler arası aktarım ve sınırlı yerel veri koşullarının ayrıca incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

3.2.4. Bina Bütünleşik PV ve Cephe Sistemleri

BIPV sistemlerinde panel yalnızca enerji üretim elemanı değil, aynı zamanda bina kabuğunun bir parçasıdır. Düşey yerleşim, cephe yönü, çevresel gölgelenme ve renkli modüllerin optik özellikleri standart çatı sistemlerinden farklı üretim örüntüleri oluşturur. Shin et al. (2022), renkli BIPV modüllerinde ışınım geliş açısı ve gölgelenme etkisinin tahmine dâhil edilmesi gerektiğini göstermiştir. Polo et al. (2023), düşey cephelerde XGBoost ve Random Forest ile deterministik ve olasılıksal tahmini incelemiştir.
BIPV için genel bir çatı modeli doğrudan aktarılmamalıdır. Cepheye özgü güneş geometrisi, yönelim, görünür gökyüzü oranı ve bina çevresi özellikleri modele eklenmelidir. Choi et al. (2024), Conditional Generative Adversarial Network (cGAN; Koşullu Üretici Çekişmeli Ağ) ile BIPV tahminini güçlendirmeyi amaçlamıştır. Bu alanda daha karmaşık model her zaman daha iyi değildir; küçük veri kümelerinde Gradient Boosting ve fiziksel özellik mühendisliği, yüksek kapasiteli ağlara göre daha kararlı olabilir.

3.2.5. Mikroşebeke, PV ve Depolama Odaklı Sistemler

Mikroşebekelerde tahmin hatası doğrudan batarya şarj ve deşarj planını, dizel üretim ihtiyacını, gerilim profilini ve işletme maliyetini etkiler. Bu nedenle yalnızca tahmin metriği değil, tahminin karar problemine katkısı da değerlendirilmelidir. Energy Storage System (ESS; Enerji Depolama Sistemi) kullanımı, öngörü bilgisinin ekonomik değere dönüştüğü temel uygulamalardan biridir. Rajamand et al. (2022), PV güç tahmini ile ESS boyut ve konum optimizasyonunu birlikte ele almış; daha doğru tahminin maliyet ve güç profili üzerinde ölçülebilir yarar sağlayabildiğini göstermiştir. Suanpang ve Jamjuntr (2024) da mikroşebeke ve akıllı şehir bağlamında farklı ML modellerinin işletme kullanımını karşılaştırmıştır.

Bu mimaride olasılıksal tahmin özellikle değerlidir. Tek bir nokta tahmini yerine farklı üretim senaryoları veya güven aralıkları sunulduğunda enerji yönetim sistemi risk duyarlı çizelgeleme yapabilir. Song et al. (2025), Natural Gradient Boosting (NGBoost) ile dikkat destekli CNN ve Bidirectional Long Short Term Memory (BiLSTM; Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek) özelliklerini birleştirerek çok kısa dönem belirsizliğini modellemiş ve kalibrasyon ile keskinliğin birlikte ele alınması gerektiğini göstermiştir.

3.3. MAKİNE ÖĞRENİMİ VE DERİN ÖĞRENME YAKLAŞIMLARI

PV tahmininde model ailelerinin güçlü ve zayıf yönleri Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. İncelenen çalışmalar, model performansının sistem mimarisi ve veri koşullarına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Tablo 3. PV tahmininde kullanılan model ailelerinin güçlü yönleri, sınırlılıkları ve uygun kullanım koşulları.

Model ailesi	Güçlü yön	Sınırlılık	En uygun kullanım
Random Forest (RF) ve Extremely Randomized Trees (ERT)	Gürültüye dayanıklı, hızlı, değişken önemini verir	Zaman bağımlılığı için özellik mühendisliği gerekir	Tablosal ve sınırlı veri; güçlü taban çizgisi
Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) ve Categorical Boosting (CatBoost)	Doğrusal olmayan etkileşimlerde yüksek başarı	Ayarlama ve aşırı uyum riski	Konut filosu, büyük ölçekli santraller ve BIPV
Support Vector Regression (SVR) ve Multilayer Perceptron (MLP)	Küçük ve orta veri kümelerinde etkili	Ölçeklemeye ve hiperparametreye duyarlı	Tek tesis ve kısa süreli öngörü karşılaştırmaları
Long Short Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU)	Zamansal bağımlılığı doğrudan öğrenir	Yeterli veri ve dikkatli düzenleme gerektirir	Saat öncesi ve gün öncesi zaman serileri
CNN ve LSTM hibriti, Transformer	Yerel ve uzun dönem örüntüleri birleştirir	Yüksek karmaşıklık ve hesaplama maliyeti	Çok değişkenli ve çok adımlı tahmin

Model ailesi	Güçlü yön	Sınırlılık	En uygun kullanım
Graph Neural Network (GNN) ve uzamsal zamansal modeller	Tesisler arası ilişkileri öğrenir	Graf yapısına ve coğrafi kararlılığa duyarlı	Bölgesel, filo ve mikroşebeke tahmini
Fizik bilgili, olasılıksal ve Explainable Artificial Intelligence (XAI)	Tutarlılık, kalibrasyon ve açıklama sağlar	Ek tasarım ve değerlendirme yükü	Yüksek riskli ve işletme odaklı uygulamalar

3.3.1. Klasik Makine Öğrenimi ve Ağaç Tabanlı Topluluklar

Random Forest (RF), Extremely Randomized Trees (ERT), Support Vector Regression (SVR), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Light Gradient Boosting Machine (LightGBM) ve Categorical Boosting (CatBoost); tablosal meteorolojik verilerde, sınırlı örnek sayısında ve hızlı model geliştirme gereksiniminde güçlü seçeneklerdir. RF'nin Bootstrap Aggregating (Bagging; Bootstrap Toplulaştırma) yapısı gürültüye karşı kararlılık sağlarken, Gradient Boosting yöntemleri ardışık olarak hatalara odaklanır (Breiman, 2001; Chen & Guestrin, 2016; Ke et al., 2017). Ahmad et al. (2018) ağaç topluluklarının PV üretiminde güçlü ve hesaplama açısından verimli olabileceğini göstermiştir. Grzebyk et al. (2023), büyük bir konut filosunda XGBoost'un ölçeklenebilirliğini; Talayero et al. (2023) ise büyük santrallerde RF'nin farklı saha bilgilerini birleştirme kapasitesini ortaya koymuştur.

Bu modellerin sınırlılığı, zaman bağımlılığını doğrudan mimari içinde temsil etmemeleridir. Gecikmeli güç, hareketli ortalama, saat, gün ve mevsim gibi özellikler açıkça belirtilmelidir. Buna rağmen, küçük ve orta büyüklükteki veri kümelerinde iyi ayarlanmış bir ağaç modeli, yetersiz veriye sahip bir derin ağdan daha güvenilir olabilir. Radhi et al. (2024) ve Cantillo-Luna et al. (2023), kısa dönem PV tahmininde birden fazla ML ve DL modelini karşılaştırırken bu güçlü taban çizgilerinin korunması gerektiğini göstermektedir.

Ağaç tabanlı modeller, hata analizi için de uygundur. Değişken önemi, kısmi bağımlılık veya SHAP değerleri aracılığıyla ışınım, sıcaklık ve geçmiş güç etkileri incelenebilir. Bununla birlikte, standart önem puanları yüksek korelasyonlu değişkenlerde yanıltıcı olabilir. Bu nedenle açıklama sonuçları, mevsim, tesis ve öngörü süresi bazında yeniden değerlendirilmelidir.

3.3.2. Zaman Bağımlı Derin Ağlar

Artificial Neural Network (ANN; Yapay Sinir Ağı), RNN, LSTM ve GRU, geçmiş gözlemlerin sırasını koruyarak zamansal bağımlılıkları öğrenir. LSTM'nin kapı yapısı uzun bağımlılıklarda gradyan kaybını azaltmayı amaçlar; GRU ise daha az parametreyle benzer bir işlev sunar (Cho et al., 2014). Kuo et al. (2022), ANN, LSTM ve GRU'yu farklı hava verisi gruplarıyla karşılaştırmış; yerel ölçümler ile meteorolojik verinin birlikte kullanılmasının model seçiminden bağımsız olarak önemli olduğunu göstermiştir. Akhter et al. (2022) saat öncesi tahminde LSTM'yi üç farklı tesiste değerlendirmiştir.

Derin ağların avantajı otomatik temsil öğrenmesidir; ancak bu avantaj yeterli ve tutarlı veri gerektirir. Eğitim dönemi kısa, sensörler düzensiz veya tesis davranışı değişken olduğunda aşırı uyum riski artar. Adaptif öğrenme ve transfer öğrenme bu nedenle önemlidir. Depoortere et al. (2025), sentetik veriden ön eğitim ile veri kıtlığını azaltmıştır. Yeni panel eklenmesi, arıza veya sensör değişimi gibi kavram kaymalarında modelin düzenli olarak güncellenmesi gerekir.

Çok adımlı derin tahminde çıktı üretim biçimi ayrıca raporlanmalıdır. Özyinelemeli yapıda önceki tahmin sonraki adıma girdi olur ve hata büyüyebilir. Doğrudan çok çıkışlı ağlar bu birikimi azaltabilir, ancak daha uzak zaman adımlarında daha fazla veri ve model kapasitesi gerektirir. Modelin yalnızca ortalama hatası değil, her öngörü adımındaki hata eğrisi de sunulmalıdır.

3.3.3. CNN, LSTM, Transformer, GNN ve Hibrit Modeller

CNN yerel örüntüleri ve çok değişkenli pencereleri işlerken, LSTM zaman bağımlılığını korur. CNN ve LSTM hibritleri bu iki yeteneği birleştirmeyi amaçlar. Suresh et al. (2020), kayan pencere ile CNN ve CNN LSTM yapılarını farklı öngörü sürelerinde karşılaştırmıştır. Al-Ali et al. (2023), CNN, LSTM ve Transformer bileşimini kullanarak yerel özellik, uzun zaman bağımlılığı ve dikkat mekanizmasını aynı yapıda birleştirmiştir. Transformer'ın Self Attention (Öz Dikkat) yapısı uzak zaman adımları arasındaki ilişkiyi doğrudan modelleyebilse de hesaplama maliyeti ve veri ihtiyacı yüksektir (Vaswani et al., 2017).

Çok tesisli sistemlerde GNN ile uzamsal ve zamansal füzyon daha anlamlıdır. Jing et al. (2024) FourierGNN ile tesisler arası bağımlılığı, Xue et al. (2024) çok ölçekli CNN ve LSTM hibritiyle komşu istasyon bilgisini kullanmıştır. Hibrit modeller yüksek doğruluk potansiyeline sahiptir; ancak modüllerin katkısı Ablation Study (Bileşen Çıkarma Analizi) ile gösterilmediğinde karmaşıklığın gerçek yararı anlaşılamaz. Model, yalnızca daha fazla katman içerdiği için değil, belirli bir fiziksel veya veri sorununu çözdüğü ölçüde değer taşır.

3.3.4. Fizik Bilgili, Olasılıksal ve Açıklanabilir Yaklaşımlar

Fizik bilgili öğrenme, tam bir fiziksel model kurmak yerine PV davranışını temsil eden özellikleri veri güdümlü modele ekler. Pombo et al. (2022), PV performans modelinden türetilen özelliklerin farklı ML modellerinde tutarlı biçimde yararlı olduğunu göstermiştir. Bu yaklaşım, özellikle sınırlı veri koşullarında arama uzayını daraltabilir ve tahminlerin fiziksel olarak daha anlamlı olmasına katkı sağlayabilir.

Olasılıksal yöntemler, tahminin tek bir değer yerine bir dağılım veya kuantil olarak sunulmasını sağlar. Song et al. (2025), NGBoost ve dikkat destekli derin özellikleri birleştirerek nokta doğruluğu yanında güvenilirlik ve keskinliği değerlendirmiştir. Mikroşebeke ve piyasa uygulamalarında bu bilgi, risk duyarlı karar için nokta tahmininden daha değerlidir.

Explainable Artificial Intelligence (XAI) karmaşık modelin hangi girdilere dayandığını görünür kılar. Gomes et al. (2025), XGBoost ve TabNet için SHAP değerlerini mevsimsel olarak incelemiş ve açıklama değerlerini özellik seçimi amacıyla kullanmıştır. Levent et al. (2025), çatı PV verim tahmininde CatBoost, XGBoost ve diğer Gradient Boosting modellerini karşılaştırarak yorumlanabilirlik ihtiyacını vurgulamıştır. XAI sonuçları yalnızca renkli grafikler olarak sunulmamalı; özellik etkilerinin PV fiziğiyle uyumu, mevsimsel kararlılığı ve daha küçük model oluşturmaya katkısı da raporlanmalıdır.

3.4. DEĞERLENDİRME, GÜVENİLİRLİK VE RAPORLAMA

Şekil 3, PV tahmin değerlendirmesini yedi tamamlayıcı başlık altında ele almaktadır. Doğruluk için MAE, RMSE, nRMSE ve MAPE aynı test kümesinde birlikte yorumlanmalıdır. Sağlamlık değerlendirmesi mevsimler, açık ve bulutlu günler, eksik veri ve sensör gürültüsünü kapsamalıdır. Genellenebilirlik yeni tesis, yeni bölge ve farklı kurulu güç sınıflarında sınanmalıdır. Belirsizlik için CRPS ile Prediction Interval Coverage Probability (PICP; Tahmin Aralığı Kapsama Olasılığı) birlikte kullanılmalı, aralıkların hem güvenilir hem de yeterince dar olması aranmalıdır.

Beşinci boyut verimliliktir. Eğitim süresi, çıkarım gecikmesi, bellek ve enerji tüketimi özellikle saha sistemlerinde önemlidir. Altıncı boyut açıklanabilirlik ve fiziksel tutarlılıktır; ışınımın, sıcaklığın veya gölgelenmenin model etkisi alan bilgisiyle çelişiyorsa, yüksek doğruluk tek

başına yeterli değildir. Yedinci boyut işletme değeridir. Rajamand et al. (2022) gibi çalışmalar, tahmin iyileşmesinin depolama ve maliyet kararlarına nasıl yansıdığını göstermektedir. Tablo 4, bu boyutlar için ölçütleri ve raporlama önerilerini bir araya getirmektedir.

Yeniden üretilebilirlik için veri dönemi, zaman çözünürlüğü, gece değerlerinin ele alınışı, eksik veri kuralı, hiperparametre aralığı ve rastgele tohum açıkça belirtilmelidir. Derin model yalnızca zayıf ayarlanmış bir klasik modelle karşılaştırılmamalıdır. Persistence (Süreklilik), doğrusal model, RF ve Gradient Boosted Decision Trees (GBDT; Gradyan Artırmalı Karar Ağaçları) ile uygun bir derin ağ aynı bölmeler üzerinde değerlendirilmelidir. Pombo et al. (2022) tarafından vurgulanan ortak kıyaslama yaklaşımı, literatürdeki çelişkili üstünlük iddialarını azaltacaktır.

İstatistiksel anlamlılık ve belirsizlik de göz ardı edilmemelidir. Tek bir test yılına ait küçük hata farkları model üstünlüğü olarak yorumlanmamalı; bootstrap güven aralıkları, birden fazla başlangıç tohumu veya gün bazlı eşleştirilmiş hata testleri kullanılmalıdır. Ayrıca aşırı uç bulut geçişleri, kar, toz veya gölgelenme gibi nadir durumlar ortalama metriklerden ayrı incelenmelidir.



Şekil 3. PV tahmin sistemleri için çok boyutlu değerlendirme çerçevesi.

Tablo 4. Değerlendirme boyutları, ölçütler ve asgari raporlama önerileri.

Değerlendirme boyutu	Örnek ölçüt veya test	Başarılı sonuç nasıl yorumlanır?	Raporlama önerisi
Doğruluk	MAE, RMSE, nMAE, nRMSE, MAPE	Hata düşük ve farklı güç ölçeklerinde karşılaştırılabilir	En az iki mutlak ve normalize edilmiş ölçüt; gece kuralı açıklanmalı
Sağlamlık	Mevsim, hava sınıfı, eksik veya gürültülü veri	Model bozulmuş koşullarda kararlı kalır	Açık, bulutlu ve geçiş günleri ayrı verilmeli

Değerlendirme boyutu	Örnek ölçüt veya test	Başarılı sonuç nasıl yorumlanır?	Raporlama önerisi
Genellenebilirlik	Yeni tesis veya bölge testi; bir tesisi dışarıda bırakan doğrulama	Görülmemiş sistemde kabul edilebilir başarı	Tesis bazlı dağılım ve güven aralığı raporlanmalı
Belirsizlik	CRPS, PICP ve aralık genişliği	Tahmin aralığı hem güvenilir hem keskindir	Kalibrasyon grafiği ve nominal kapsama sunulmalı
Verimlilik	Eğitim ve çıkarım süresi, bellek ve enerji	Hedef kalite kabul edilebilir kaynakla sağlanır	Donanım ve güncelleme sıklığı belirtilmeli
Açıklanabilirlik	SHAP, bileşen çıkarma analizi ve fiziksel tutarlılık	Özellik etkileri alan bilgisiyle uyumludur	Mevsimsel, yerel ve küresel açıklama birlikte verilmelidir
İşletme değeri	Şebeke maliyeti, ESS çevrimi ve alarm yararı	Tahmin iyileşmesi karara ölçülebilir değer katar	Tahmin metriği ile karar metriği birlikte raporlanmalı

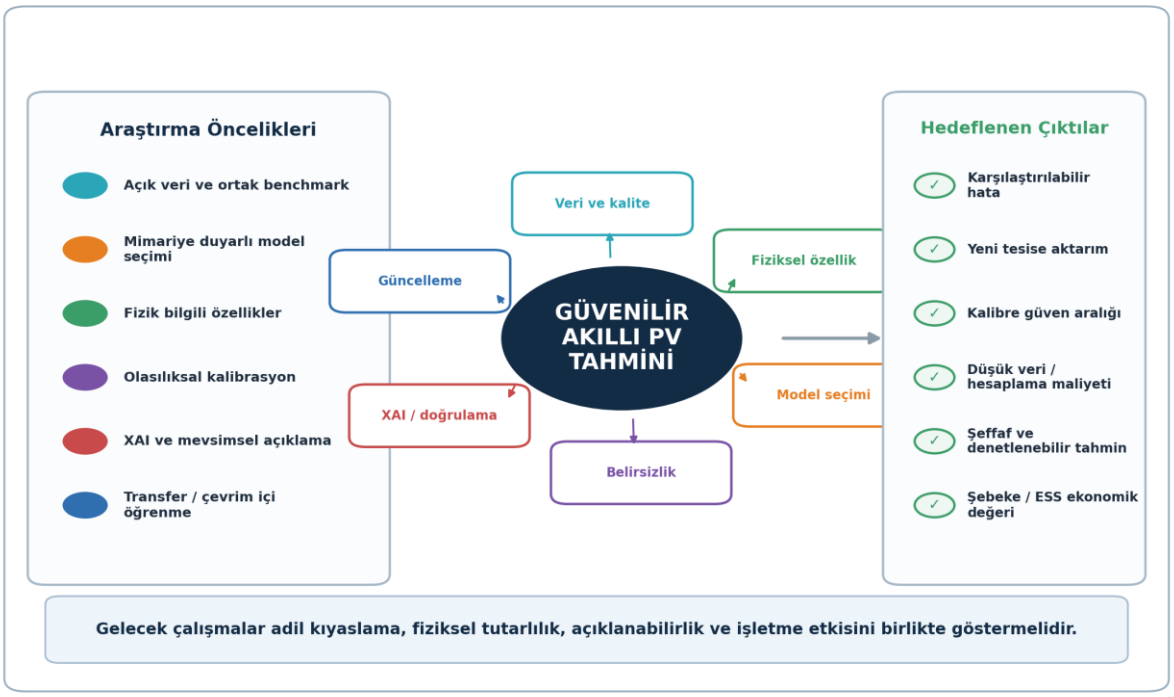
3.5. ARAŞTIRMA BOŞLUKLARI VE TASARIM ÖNERİLERİ

Literatürün ilk önemli boşluğu, ortak veri ve deney protokolleridir. Birçok çalışma tek tesis ve tek iklim üzerinde yüksek doğruluk bildirmekte, ancak yeni tesise aktarımı ölçmemektedir. Açık veri kümeleri; çatı, büyük ölçekli, BIPV ve mikroşebeke sınıflarını ayrı etiketlerle içermeli; kurulu güç, yönelim, sensör kalitesi ve meteorolojik kaynak bilgisi standartlaştırılmalıdır. İkinci boşluk, mimariye duyarlı model seçimidir. Filo ve bölgesel sistemlerde uzamsal modeller; BIPV'de güneş geometrisi; mikroşebekede belirsizlik ve karar etkisi öncelikli olmalıdır.

Üçüncü boşluk, fiziksel tutarlılık ile açıklanabilirliğin birlikte ele alınmasıdır. SHAP veya dikkat haritaları yalnızca en önemli değişken listesini vermemeli; mevsimler ve hava rejimleri arasında kararlı olup olmadığı da sınanmalıdır. Dördüncü boşluk çevrim içi öğrenmedir. Yeni panel, bakım, kirlenme ve sensör değişimi model dağılımını etkiler. Kavram kaymasını tespit eden ve güvenli biçimde güncellenen modeller uzun dönem işletme için gereklidir. Beşinci boşluk, nokta tahmininin karar etkisine bağlanmasıdır. Tahmin hatasının şebeke dengesizliği, batarya çevrimi, enerji maliyeti veya bakım alarmı üzerindeki etkisi raporlanmalıdır.

Şekil 4, bu gereksinimleri veri kalitesi, fizik bilgili özellik, model seçimi, belirsizlik, XAI ve güncelleme döngüsü içinde birleştirmektedir. Gelecek çalışmaların amacı yalnızca daha karmaşık bir ağ önermek değil; aynı veri üzerinde adil kıyaslama yapmak, yeni tesislere aktarımı göstermek, belirsizliği kalibre etmek ve modelin ekonomik/işletimsel katkısını açıklamak olmalıdır.

Araştırma çıktılarının uygulamaya aktarımı için bir model yaşam döngüsü de tanımlanmalıdır. Veri sürümü, yeniden eğitim eşiği, sensör değişiklikleri, model gerilemesi ve geri alma planı izlenmelidir. Özellikle depolama ve şebeke kontrolünde model güncellemesi, doğrulanmadan doğrudan işletmeye alınmamalıdır. Tahmin sisteminin performansı zaman içinde izlenmeli ve veri dağılımı değiştiğinde güvenli bir yeniden kalibrasyon süreci uygulanmalıdır.



Şekil 4. Güvenilir akıllı PV tahmini için araştırma öncelikleri ve tasarım yol haritası.

4. SONUÇ

Bu çalışma, ML ve DL tabanlı PV tahminini tek bir algoritma yarışı olarak değil, sistem mimarisi ile veri ve karar bağlamının birlikte belirlediği bir tasarım problemi olarak değerlendirmiştir. Ağaç tabanlı topluluklar sınırlı ve bazı verilerde güçlü ve verimli taban çizgileri sunarken, LSTM, CNN ve LSTM hibritleri, Transformer ve GNN yapıları, yeterli veri bulunduğunda zaman ve uzam bağımlılıklarını öğrenmede avantaj sağlayabilir. Fizik bilgili özellikler, transfer öğrenme, olasılıksal tahmin ve XAI bu modellerin güvenilirliğini artıran tamamlayıcı bileşenlerdir.

En uygun yaklaşım PV mimarisine, öngörü süresine, veri miktarına ve işletme amacına göre seçilmelidir. Güvenilir bir çalışma; kronolojik ve tesis dışı doğrulama, normalize edilmiş ölçütler, güçlü taban çizgileri, belirsizlik kalibrasyonu, hesaplama maliyeti ve açıklanabilirlik sonuçlarını birlikte sunmalıdır. Böyle bir çerçeve, akıllı PV tahmininin laboratuvar doğruluğundan şebeke, bina ve mikroşebeke uygulamalarında denetlenebilir karar desteğine taşınmasına katkıda bulunabilir.

KAYNAKÇA

Ahmad, M. W., Mourshed, M., & Rezgui, Y. (2018). Tree-based ensemble methods for predicting PV power generation and their comparison with support vector regression. *Energy, 164*, 465–474. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.207

Akhter, M. N., Mekhilef, S., Mokhlis, H., & Mohamed Shah, N. (2019). Review on forecasting of photovoltaic power generation based on machine learning and metaheuristic techniques. *IET Renewable Power Generation, 13*(7), 1009–1023. https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5649

Akhter, M. N., Mekhilef, S., Mokhlis, H., Almohaimeed, Z. M., Muhammad, M. A., Mohd Khairuddin, A. S., Akram, R., & Hussain, M. M. (2022). An hour-ahead PV power forecasting method based on an RNN-LSTM model for three different PV plants. *Energies, 15*, 2243. https://doi.org/10.3390/en15062243

Al-Ali, E. M., Hajji, Y., Said, Y., Hleili, M., Alanzi, A. M., Laatar, A. H., & Atri, M. (2023). Solar energy production forecasting based on a hybrid CNN-LSTM-Transformer model. *Mathematics, 11*, 676. https://doi.org/10.3390/math11030676

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning, 45*, 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Cantillo-Luna, S., Moreno-Chuquen, R., Celeita, D., & Anders, G. (2023). Deep and machine learning models to forecast photovoltaic power generation. *Energies, 16*, 4097. https://doi.org/10.3390/en16104097

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Cho, K., van Merriënboer, B., Gülçehre, Ç., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation. In *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing* (pp. 1724–1734). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179

Choi, D. H., Li, W., & Zomaya, A. Y. (2024). Enhancing building-integrated photovoltaic power forecasting with a hybrid conditional generative adversarial network framework. *Energies, 17*, 5877. https://doi.org/10.3390/en17235877

Depoortere, J., Driesen, J., Suykens, J., & Kazmi, H. S. (2025). SolNet: Open-source deep learning models for photovoltaic power forecasting across the globe. *International Journal of Forecasting, 41*(3), 1223–1236. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2024.12.003

El Hendouzi, A., & Bourouhou, A. (2020). Solar photovoltaic power forecasting. *Journal of Electrical and Computer Engineering, 2020*, 8819925. https://doi.org/10.1155/2020/8819925

Gomes, E., Esteves, A., Morais, H., & Pereira, L. (2025). Leveraging explainable artificial intelligence in solar photovoltaic mappings: Model explanations and feature selection. *Energies, 18*, 1282. https://doi.org/10.3390/en18051282

Grzebyk, D., Alcañiz, A., Donker, J. C. B., Zeman, M., Ziar, H., & Isabella, O. (2023). Solar yield nowcasting for a large fleet of residential photovoltaic systems using machine learning. *Solar Energy, 251*, 325–336. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.01.036

Jang, S. Y., Oh, B. T., & Oh, E. (2024). A deep learning-based solar power generation forecasting method applicable to multiple sites. *Sustainability, 16*, 5240. https://doi.org/10.3390/su16125240

Jing, S., Xi, X., Su, D., Han, Z., & Wang, D. (2024). Spatio-temporal photovoltaic power prediction with Fourier graph neural network. *Electronics, 13*, 4988. https://doi.org/10.3390/electronics13244988

Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T.-Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems, 30*, 3146–3154.

Kim, T., & Kim, J. (2021). A regional day-ahead rooftop photovoltaic generation forecasting model considering unauthorized photovoltaic installation. *Energies, 14*, 4256. https://doi.org/10.3390/en14144256

Kuo, W.-C., Chen, C.-H., Hua, S.-H., & Wang, C.-C. (2022). Assessment of different deep learning methods of power generation forecasting for solar PV system. *Applied Sciences, 12*, 7529. https://doi.org/10.3390/app12157529

Levent, I., Şahin, G., Işık, G., & Van Sark, W. G. J. H. M. (2025). Comparative analysis of advanced machine learning regression models with advanced artificial intelligence techniques to predict rooftop PV solar power plant efficiency using indoor solar panel parameters. *Applied Sciences, 15*, 3320. https://doi.org/10.3390/app15063320

Mellit, A., Massi Pavan, A., Ogliari, E., Leva, S., & Lughi, V. (2020). Advanced methods for photovoltaic output power forecasting: A review. *Applied Sciences, 10*, 487. https://doi.org/10.3390/app10020487

Polo, J., Martín-Chivelet, N., Alonso-Abella, M., Sanz-Saiz, C., Cuenca, J., & de la Cruz, M. (2023). Exploring the PV power forecasting at building façades using gradient boosting methods. *Energies, 16*, 1495. https://doi.org/10.3390/en16031495

Pombo, D. V., Bacher, P., Ziras, C., Bindner, H. W., Spataru, S. V., & Sørensen, P. E. (2022). Benchmarking physics-informed machine learning-based short-term PV-power forecasting tools. *Energy Reports, 8*, 6512–6520. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.006

Radhi, S. M., Al-Majidi, S. D., Abbod, M. F., & Al-Raweshidy, H. S. (2024). Machine learning approaches for short-term photovoltaic power forecasting. *Energies, 17*, 4301. https://doi.org/10.3390/en17174301

Rajagukguk, R. A., Ramadhan, R. A. A., & Lee, H.-J. (2020). A review on deep learning models for forecasting time series data of solar irradiance and photovoltaic power. *Energies, 13*, 6623. https://doi.org/10.3390/en13246623

Rajamand, S., Shafie-khah, M., & Catalão, J. P. S. (2022). Energy storage systems implementation and photovoltaic output prediction for cost minimization of a microgrid. *Electric Power Systems Research, 202*, 107596. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107596

Shin, W.-G., Shin, J.-Y., Hwang, H.-M., Park, C.-H., & Ko, S.-W. (2022). Power generation prediction of building-integrated photovoltaic system with colored modules using machine learning. *Energies, 15*, 2589. https://doi.org/10.3390/en15072589

Song, Z., Xiao, F., Chen, Z., & Madsen, H. (2025). Probabilistic ultra-short-term solar photovoltaic power forecasting using natural gradient boosting with attention-enhanced neural networks. *Energy and AI, 20*, 100496. https://doi.org/10.1016/j.egyai.2025.100496

Suanpang, P., & Jamjuntr, P. (2024). Machine learning models for solar power generation forecasting in microgrid application: Implications for smart cities. *Sustainability, 16*, 6087. https://doi.org/10.3390/su16146087

Suresh, V., Janik, P., Rezmer, J., & Leonowicz, Z. (2020). Forecasting solar PV output using convolutional neural networks with a sliding window algorithm. *Energies, 13*, 723. https://doi.org/10.3390/en13030723

Talayero, A. P., Melero, J. J., Llombart, A., & Yürüşen, N. Y. (2023). Machine learning models for power estimation in utility-scale photovoltaic plants using spatially distributed meteorological information. *Solar Energy, 254*, 88–101. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.03.007

Tucci, M., Piazzi, A., & Thomopulos, D. (2024). Machine learning models for regional photovoltaic power generation forecasting with limited plant-specific data. *Energies, 17*, 2346. https://doi.org/10.3390/en17102346

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems, 30*, 5998–6008.

Voyant, C., Notton, G., Kalogirou, S., Nivet, M.-L., Paoli, C., Motte, F., & Fouilloy, A. (2017). Machine learning methods for solar radiation forecasting: A review. *Renewable Energy, 105*, 569–582. https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.095

Xue, H., Ma, J., Zhang, J., Jin, P., Wu, J., & Du, F. (2024). Power forecasting for photovoltaic microgrid based on multiscale CNN-LSTM network models. *Energies, 17*, 3877. https://doi.org/10.3390/en17163877

Yu, J., Li, X., Yang, L., Li, L., Huang, Z., Shen, K., Yang, X., Xu, Z., Zhang, D., & Du, S. (2024). Deep learning models for PV power forecasting: Review. *Energies, 17*, 3973. https://doi.org/10.3390/en17163973

BÜYÜK DİL MODELLERİNDE BİLGİ ERİŞİM DESTEKLİ ÜRETİM: MİMARİ YAKLAŞIMLAR, DEĞERLENDİRME ÇERÇEVELERİ VE TÜRKÇE SİSTEMLER İÇİN ARAŞTIRMA YÖNLERİ

Prof. Dr. Ali AKDAĞLI
Mersin Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3312-992X
Doç. Dr. Ali YILDIZ
Mersin Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3904-6017

ÖZET
Büyük dil modelleri, soru yanıtlama ve metin üretimi gibi görevlerde güçlü sonuçlar verse de bilgiyi büyük ölçüde parametrelerinde saklamaları; güncellik, alana özgü belge kullanımı ve kaynak denetlenebilirliği bakımından sınırlılıklar doğurmaktadır. Bilgi Erişim Destekli Üretim (Retrieval-Augmented Generation, RAG), üretim modelini harici belge koleksiyonlarından getirilen kanıtlarla destekleyerek bu sorunları azaltmayı amaçlar. Bu çalışma, RAG mimarilerini, değerlendirme yaklaşımlarını, güvenilirlik risklerini ve Türkçe sistemlere yönelik araştırma gündemini yapılandırılmış tematik bir literatür incelemesiyle ele almaktadır. 2020 ile 2026 yılları arasında yayımlanan 28 temel çalışma; mimari katkı, ele aldığı sistem sınırlılığı, değerlendirme boyutu ve Türkçe ile ilişkisi açısından incelenmiştir. Sentez, RAG başarısının yalnızca üretim modeline değil; belge hazırlama, parçalama, gömme, bilgi erişimi, yeniden sıralama, bağlam oluşturma ve doğrulama bileşenlerinin birlikte tasarlanmasına bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Son dönem Türkçe çalışmalar, göreve özgü gömme modellerinin ve geç etkileşimli erişim mimarilerinin önemli kazanımlar sağlayabildiğini, ancak sonuçların veri kümesi ve alan özelliklerine duyarlı olduğunu göstermektedir. Türkçe için öncelikler; yerel ve kaynak dayanaklı veri setleri, morfolojiye duyarlı erişim, belge yapısına uygun parçalama, çok boyutlu değerlendirme, halüsinasyon denetimi ve güvenlik testleridir. Bu nedenle çalışma, Türkçe RAG'ı İngilizce merkezli yöntemlerin doğrudan aktarımı olarak değil, bir sistem tasarımı ve değerlendirme problemi olarak çerçevelemektedir.
Anahtar Kelimeler: Bilgi Erişim Destekli Üretim, Retrieval-Augmented Generation, büyük dil modelleri, bilgi erişimi, kaynak dayanaklılık, Türkçe doğal dil işleme

RETRIEVAL-AUGMENTED GENERATION FOR LARGE LANGUAGE MODELS: ARCHITECTURAL APPROACHES, EVALUATION FRAMEWORKS, AND RESEARCH DIRECTIONS FOR TURKISH NATURAL LANGUAGE PROCESSING SYSTEMS

ABSTRACT
Large language models achieve strong results in question answering and text generation, yet their reliance on largely static parametric knowledge creates limitations related to freshness, domain-specific documents, and source verifiability. Retrieval-Augmented Generation (RAG) addresses these limitations by supporting generation with evidence retrieved from external document collections. This study presents a structured thematic review of RAG architectures, evaluation approaches, reliability risks, and research priorities for Turkish systems. Twenty-eight core studies published between 2020 and 2026 were examined according to their architectural contribution, target system limitation, evaluation dimension, and relevance to Turkish. The synthesis shows that RAG performance depends not only on the generator but also on the coordinated design of document preparation, chunking, embeddings, retrieval, reranking,

context construction, and verification. Recent Turkish studies indicate that task-specific embedding models and late-interaction retrieval architectures can yield meaningful improvements, while performance remains sensitive to datasets, domains, and pipeline choices. Priority directions for Turkish include native source-grounded datasets, morphology-aware retrieval, structure-sensitive chunking, multidimensional evaluation, hallucination detection, and security testing. The study therefore frames Turkish RAG as a system-design and evaluation problem rather than a direct transfer of English-centered methods.
Keywords: Retrieval-Augmented Generation, large language models, information retrieval, source grounding, evaluation, Turkish natural language processing

1. GİRİŞ

Büyük dil modelleri (Large Language Models, LLM'ler), büyük ölçekli metin koleksiyonlarından öğrendikleri dilsel örüntüler sayesinde soru yanıtlama, özetleme, bilgi çıkarımı ve diyalog gibi birçok görevde etkili çıktılar üretebilmektedir. Bununla birlikte bu modellerin bilgisi eğitim sürecinde parametrelere kodlanır ve eğitim tamamlandıktan sonra kendiliğinden güncellenmez. Bu özellik, güncel olaylar, kurumsal belgeler veya uzmanlık gerektiren alanlarda eksik ve kaynağı belirsiz yanıtlar üretilmesine yol açabilir (Lewis ve ark., 2020; Gao ve ark., 2023b).

Bilgi Erişim Destekli Üretim, dil modelinin yanıt üretmeden önce harici bir koleksiyondan ilgili belge parçalarını almasını ve üretimi bu kanıtlara koşullamasını sağlar. Orijinal RAG yaklaşımı, parametrik üretim modelini parametrik olmayan bir belge diziniyle birleştirmiştir. Retrieval-Augmented Language Model Pre-Training (REALM; Bilgi Erişim Destekli Dil Modeli Ön Eğitimi) ile Dense Passage Retrieval (DPR; Yoğun Pasaj Erişimi) çalışmaları da öğrenilmiş erişim ile üretim arasındaki ilişkinin temelini güçlendirmiştir (Guu ve ark., 2020; Karpukhin ve ark., 2020; Lewis ve ark., 2020). Böylece model ağırlıkları yeniden eğitilmeden güncel veya alana özgü bilgi sisteme eklenebilir.

RAG, halüsinasyonu otomatik olarak ortadan kaldıran bir çözüm değildir. İlgili belge getirilemezse, gürültülü bağlam seçilirse veya model getirilen kanıtı yanlış yorumlarsa kaynak gösteren fakat kaynakla uyumsuz yanıtlar oluşabilir. Uzun bağlam pencereleri de ilgili bilginin her zaman etkili kullanılacağını garanti etmez; bilginin bağlam içindeki konumu performansı etkileyebilir (Liu ve ark., 2024). Ayrıca harici belgeler, dolaylı yönerge enjeksiyonu ve bilgi tabanı zehirleme gibi yeni saldırı yüzeyleri oluşturabilir (Greshake ve ark., 2023; Zou ve ark., 2025).

Türkçe açısından sorun daha karmaşıktır. Eklemeli yapı, yüzey biçimi çeşitliliği, alan terimleri ve kaynak eksikliği; sorgu ile belge eşleşmesini, gömme kalitesini ve otomatik değerlendirmeyi etkileyebilir. Massive Text Embedding Benchmark (MTEB; Büyük Metin Gömme Kıyaslaması) çerçevesinin Türkçe uyarlaması olan Turkish Massive Text Embedding Benchmark (TR-MTEB; Türkçe Büyük Metin Gömme Kıyaslaması) ile Türkçe odaklı gömme, bilgi erişimi, uçtan uca RAG ve halüsinasyon tespiti çalışmaları kapsamlı deneysel sonuçlar sunmuştur (Baysan ve Güngör, 2025; Ezerceli ve ark., 2025, 2026; Köse ve ark., 2026; Taş ve ark., 2025). Ancak bu çalışmaların önemli bir bölümü çevrilmiş veri setlerine veya genel alan koleksiyonlarına dayanmaktadır.

Bu bildirinin amacı, RAG literatürünü yalnızca mimari adlar üzerinden özetlemek değil, her yaklaşımın hangi sistem sorununu hedeflediğini ve nasıl değerlendirilmesi gerektiğini karşılaştırmalı biçimde ortaya koymaktır. Çalışma üç katkı sunmaktadır: temel ve gelişmiş mimarileri ortak bir süreç üzerinden sınıflandırmak, RAG değerlendirmesini bilgi erişimi, üretim ve kaynak dayanaklılık eksenlerinde bütünleştirmek ve güncel Türkçe çalışmaların bulgularına dayalı bir araştırma gündemi önermek.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, RAG mimarilerini, değerlendirme yaklaşımlarını ve Türkçe sistemlere yönelik araştırma önceliklerini bütüncül biçimde karşılaştırmak amacıyla yapılandırılmış tematik bir literatür incelemesi olarak yürütülmüştür.

İnceleme kapsamına 2020 ile 2026 yılları arasındaki 28 temel çalışma alınmıştır. Yayınlar dört temada düzenlenmiştir: (i) bilgi erişim destekli üretimin ve yoğun belge erişiminin temelleri; (ii) gömme, bilgi erişimi kıyaslamaları, belge parçalama ve hiperparametre optimizasyonu; (iii) öz yansıtmalı, düzeltici, hiyerarşik ve grafik tabanlı mimariler ile değerlendirme ve güvenlik; (iv) Türkçe odaklı gömme, bilgi erişimi, uçtan uca RAG ve halüsinasyon tespiti çalışmaları.

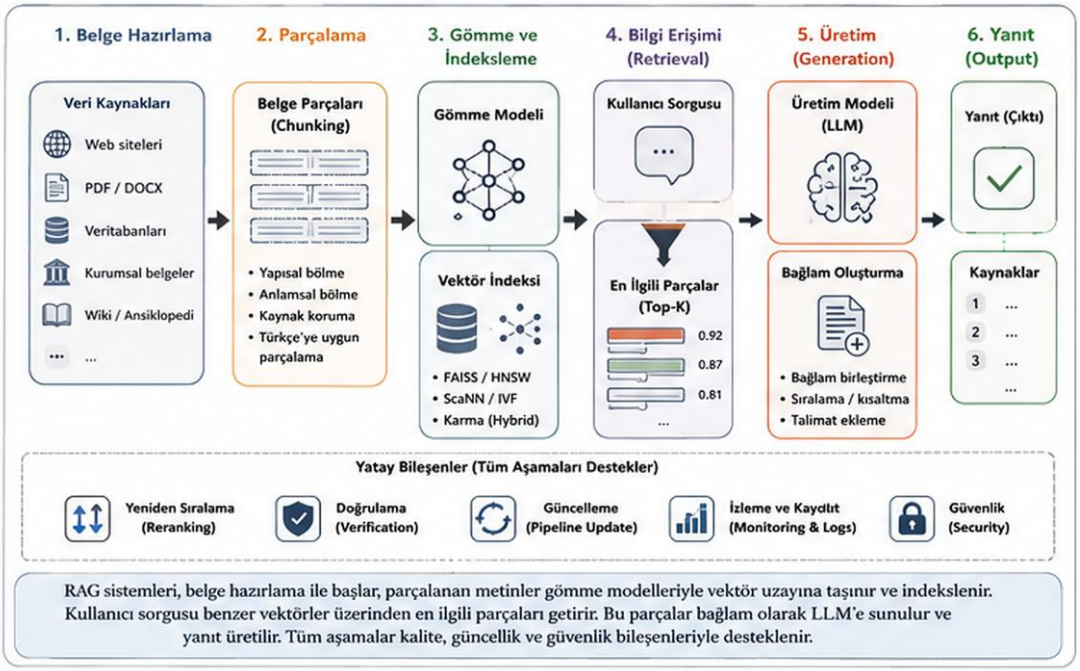
Her çalışma; ele aldığı RAG bileşeni, çözmeyi amaçladığı sistem sorunu, kullandığı değerlendirme ölçütleri ile dil ve alan bağlamı açısından incelenmiştir. Bulgular karşılaştırmalı olarak sentezlenmiş; ortak tasarım ilkeleri, başlıca ödünleşimler ve Türkçe sistemler için öncelikli araştırma alanları belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Bilgi Erişim Destekli Üretim Mimarisi ve Temel Bileşenler

RAG sistemleri, bir bilgi erişimi bileşeni ile üretim modelini aynı karar zincirinde birleştirir. Kullanıcı sorgusu önce belge koleksiyonunda aranır; seçilen pasajlar sorguyla birlikte üretim modeline sunulur ve yanıt mümkün olduğunca bu pasajlara dayandırılır. Bu nedenle sistem başarısı yalnızca dil modelinin kapasitesine değil, doğru kanıtın bulunmasına ve bağlamın modele uygun biçimde hazırlanmasına bağlıdır (Lewis ve ark., 2020).

Uygulamada süreç; belge ve veri kaynaklarının hazırlanması, yapısal özellikler korunarak parçalama, gömme temsillerinin oluşturulması, vektör dizinleme, aday belge alma, yeniden sıralama, bağlam oluşturma, yanıt üretme ve iddia ile kaynak doğrulaması adımlarını içerir. Taranmış belgelerde kullanılan Optical Character Recognition (OCR; Optik Karakter Tanıma) teknolojisindeki hatalar da ilk aşamada metin yapısını bozabilir. Her adım ayrı bir hata kaynağıdır: zayıf metin çıkarımı yanlış parçalara, uygun olmayan gömme modeli düşük erişim başarısına, gereğinden fazla bağlam ise modelin dikkatinin dağılmasına yol açabilir (Gao ve ark., 2023b; Köse ve ark., 2026). Belge parçalama üzerine deneysel sonuçlar, aşırı büyük parçaların ilgisiz bilgi taşıyabildiğini, aşırı küçük parçaların ise anlamsal bütünlüğü zayıflatabildiğini göstermektedir (Wang ve ark., 2025). Şekil 1, bu ana akışı veri kaynaklarından yanıt ve kaynak gösterimine kadar ayrıntılı biçimde sunmakta; yeniden sıralama, doğrulama, güncelleme, izleme ve güvenlik gibi yatay bileşenlerin bütün aşamaları desteklediğini vurgulamaktadır. Her bileşenin temel işlevi ve oluşturabileceği başlıca riskler Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 1. *RAG sisteminin ayrıntılı uçtan uca işlem hattı ve yatay destek bileşenleri.*

Tablo 1. RAG bileşenleri, işlevleri ve başlıca riskleri.

Bileşen	Temel işlev	Başlıca risk
Belge hazırlama	Kaynakları temiz ve yapısı korunmuş metne dönüştürür	Eksik metin çıkarımı, OCR ve kodlama hataları
Parçalama	Belgeleri anlamlı ve modele uygun birimlere ayırır	Bağlam bütünlüğünün veya kaynak konumunun kaybı
Gömme ve dizinleme	Sorgu ile belgeleri aranabilir temsillere dönüştürür	Dil ve alan uyumsuzluğu ile hız ve doğruluk ödünleşimi
Bilgi erişimi	Sorguyla ilişkili aday pasajları getirir	Yanlış, eksik veya güncel olmayan kanıt
Yeniden sıralama	Adayları daha ayrıntılı bir ilişkililik ölçütüyle sıralar	Ek gecikme ve model bağımlılığı
Bağlam oluşturma	Seçilen kanıtı sıralar, sıkıştırır ve modele sunar	Gürültü, tekrar, çelişki veya bilgi kaybı
Üretim	Soru ve bağlama göre yanıt oluşturur	Kaynak dışı çıkarım ve halüsinasyon
Doğrulama	Yanıttaki iddiaları kaynaklarla karşılaştırır	Yanlış otomatik karar ve ek hesaplama maliyeti

3.2. Mimari Yaklaşımlar

RAG mimarileri, aynı temel erişim ve üretim ilkesini korurken farklı hata kaynaklarını azaltmak üzere çeşitlenmiştir. Ayrım, model adlarından çok sistemin hangi aşamaya ek kontrol getirdiğine dayanır: sorgu dönüşümü, yeniden sıralama, öz eleştiri, düzeltici erişim, hiyerarşik yapılandırma veya uzun bağlam optimizasyonu. Bu sınıflandırma, mimari karmaşıklığın sağladığı yararı ve oluşturduğu yeni maliyetleri görünür kılar.

3.2.1. Temel RAG

Temel RAG, sorguyla ilişkili ilk k pasajı getirip bunları üretim modeline bağlam olarak veren doğrudan bir süreçtir. Lewis ve ark. (2020), parametrik üretim modelini yoğun vektör diziniyle

birleştirerek bu yaklaşımı bilgi yoğun görevlerde göstermiştir. REALM ve DPR ise öğrenilmiş bilgi erişiminin ve yoğun pasaj temsillerinin sonraki RAG sistemleri için temel bileşenler olmasını sağlamıştır (Guu ve ark., 2020; Karpukhin ve ark., 2020; Izacard ve Grave, 2021; Borgeaud ve ark., 2022).

Bu mimarinin güçlü yanı düşük bileşen sayısı ve uygulama kolaylığıdır. Buna karşılık ilk erişim aşamasındaki hata doğrudan üretime taşınır; sistem, ilgisiz pasajları akıcı bir yanıt içinde kullanabilir veya gerekli kanıt getirilmediğinde parametrik bilgisinden tamamlamaya yönelebilir. Bu nedenle temel RAG, bir başlangıç çizgisi olarak yararlı olsa da yüksek riskli uygulamalar için tek başına yeterli değildir.

3.2.2. Gelişmiş RAG

Gelişmiş RAG, temel yapıya sorgu yeniden yazımı, çoklu sorgu, karma bilgi erişimi, aday filtreleme, çapraz kodlayıcıyla yeniden sıralama ve bağlam sıkıştırma gibi adımlar ekler. Hypothetical Document Embeddings (HyDE; Varsayımsal Belge Gömmeleri), sorgudan varsayımsal bir belge üretip bu belgeyi yoğun erişim için ara temsil olarak kullanarak ilgililik etiketi bulunmayan sıfır örnekli senaryolarda erişimi güçlendirmeyi amaçlar (Gao ve ark., 2023a). Temel hedef, hem ilgili kanıtın ilk adaylar arasında bulunma olasılığını hem de üretim modeline sunulan bağlamın bilgi yoğunluğunu artırmaktır (Gao ve ark., 2023b).

RAGTurk deneyleri, bu ek adımların Türkçe için aynı ölçüde yararlı olmadığını göstermektedir. Çapraz kodlayıcıyla yeniden sıralama ve komşu parça ekleme, doğruluk ve maliyet dengesi açısından güçlü bir yapı sunarken katı filtreleme veya çok sayıda üretici modülün üst üste eklenmesi başarımı düşürebilmiştir (Köse ve ark., 2026). Bu sonuç, gelişmiş RAG tasarımında daha fazla modülün otomatik olarak daha iyi sistem anlamına gelmediğini ortaya koymaktadır.

3.2.3. Modüler ve Uyarlanabilir RAG

Modüler RAG, süreci sabit bir sıra yerine göreve ve bütçeye göre seçilebilen bileşenler bütünü olarak ele alır. Sorgunun türüne göre farklı erişim yöntemi çalıştırmak, yalnızca düşük güven durumunda yeniden sıralama yapmak veya cevaplanamaz sorularda üretimi durdurmak bu yaklaşımın örnekleridir. Automatic Online Hyperparameter Tuning for Retrieval-Augmented Generation (AutoRAG-HP; RAG için Otomatik Çevrim İçi Hiperparametre Ayarlama), getirilecek ilk k belge sayısı, istem sıkıştırma oranı ve gömme yöntemi gibi hiperparametreleri çevrim içi öğrenmeye dayalı multi-armed bandit (çok kollu haydut) yaklaşımıyla uyarlamayı önermektedir (Fu ve ark., 2024). Modülerlik, hukuk, sağlık veya kurumsal bilgi yönetimi gibi alanlarda farklı güvenlik ve doğrulama kurallarının eklenmesini kolaylaştırır.

Esneklik aynı zamanda yeni bir değerlendirme gereksinimi doğurur. Bileşenler tek tek yüksek puan alsa bile birlikte çalışırken hata birikimi, gecikme ve maliyet artabilir. Bu nedenle modüler sistemler yalnızca nihai yanıt doğruluğuyla değil, hangi modülün hangi koşulda devreye girdiği ve marjinal katkısı üzerinden de incelenmelidir (Gao ve ark., 2023b; Köse ve ark., 2026).

3.2.4. Öz Yansıtmalı ve Düzeltici RAG

Self-Reflective Retrieval-Augmented Generation (Self-RAG; Öz Yansıtmalı Bilgi Erişim Destekli Üretim), modelin ne zaman bilgi erişimine ihtiyaç duyduğunu, getirilen pasajın yararlı olup olmadığını ve üretilen ifadenin kaynak tarafından desteklenip desteklenmediğini özel yansıtma işaretleriyle değerlendirmesini amaçlar (Asai ve ark., 2024). Corrective Retrieval-Augmented Generation (CRAG; Düzeltici Bilgi Erişim Destekli Üretim) ise getirilen belgelerin kalitesini bir değerlendiriciyle sınıflandırır; düşük güven durumunda sorguyu veya erişim kaynağını değiştirerek düzeltici bir süreç çalıştırır (Yan ve ark., 2024).

Bu yapılar, temel RAG içindeki tek seferlik erişim varsayımını gevşetir ve sistemin kendi hatalarına tepki vermesine olanak tanır. Ancak öz eleştiri çıktısının kendisi hatalı olabilir ve ek erişim ile değerlendirme adımları gecikmeyi artırır. Öz yansıtma mekanizmaları bu yüzden özellikle belirsiz veya yüksek riskli sorularda seçici biçimde kullanılmalıdır.

3.2.5. Hiyerarşik ve Grafik Tabanlı RAG

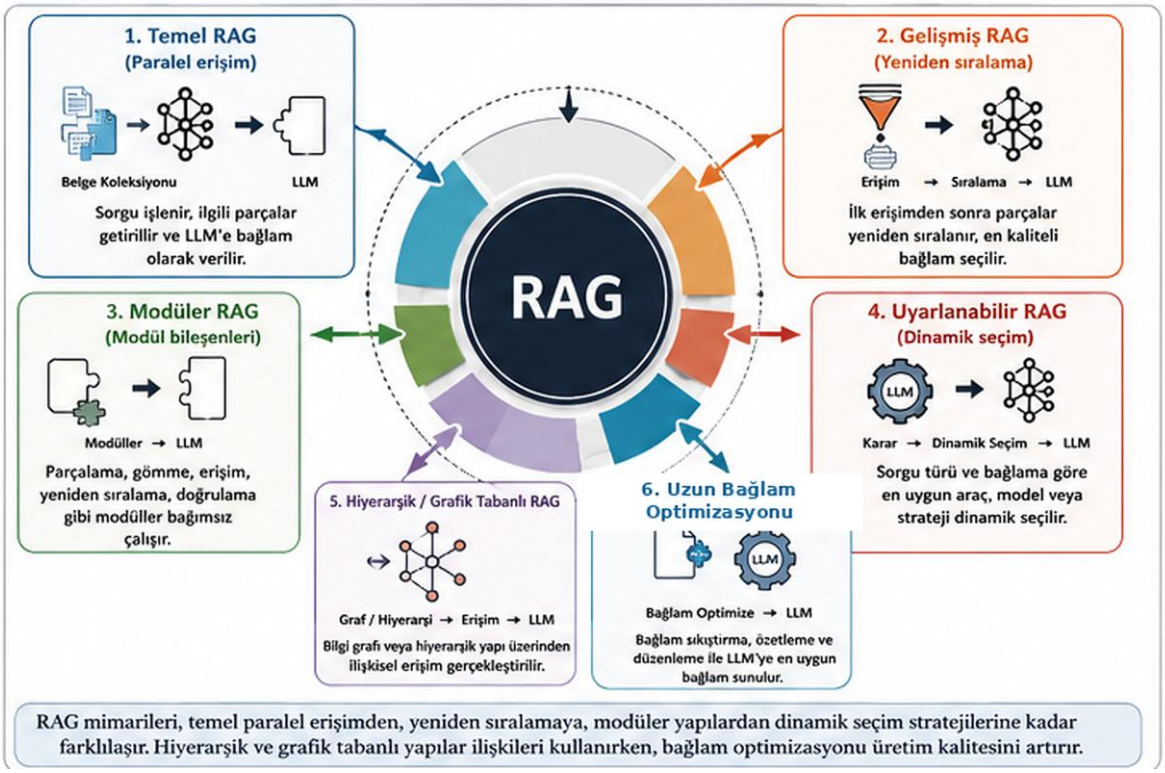
Recursive Abstractive Processing for Tree-Organized Retrieval (RAPTOR; Ağaç Düzenli Erişim İçin Özyinelemeli Soyutlayıcı İşleme), uzun belgeleri farklı soyutlama düzeylerinde özetleyen ağaç yapıları kurarak ayrıntılı pasajlarla üst düzey temaları aynı erişim uzayında birleştirir (Sarthi ve ark., 2024). GraphRAG (grafik tabanlı RAG) ise varlıklar ve ilişkiler üzerinden grafik oluşturur, topluluk özetleri üretir ve özellikle birden fazla belgeye yayılan küresel sorularda ilişkisel bağlam sağlamayı hedefler (Edge ve ark., 2024).

Bu yaklaşımlar uzun ve ilişkisel koleksiyonlarda yararlı olmakla birlikte ön işleme maliyetleri yüksektir. Hiyerarşik özetlemede ayrıntı kaybı, grafik çıkarımında yanlış varlık veya ilişki üretimi ve güncellenen belgelerde dizinin yeniden kurulması önemli sorunlardır. Dolayısıyla performans kazanımı, grafik oluşturma veya özetleme maliyetiyle birlikte raporlanmalıdır.

3.2.6. Uzun Bağlam ve İşlem Hattı Optimizasyonu

Uzun bağlam pencereleri daha fazla pasajın modele verilmesini mümkün kılar, ancak ilgili bilginin bağlamın ortasında kalması performansı düşürebilir (Liu ve ark., 2024). RAG sistemlerinde sorun yalnızca bağlam uzunluğu değil; pasajların sırası, tekrar oranı, çelişkiler ve kanıt yoğunluğudur. Yeniden sıralama, komşu parça ekleme ve seçici sıkıştırma bu nedenle uzun bağlamın etkili kullanılmasında merkezi rol oynar.

RAGTurk, Türkçe süreçte en yüksek puanın daha pahalı HyDE ve özetleme bileşimiyle elde edildiğini, buna karşılık çapraz kodlayıcı yeniden sıralama, komşu parça ekleme ve uzun bağlam sıralamasının benzer başarıyı daha düşük maliyetle sağlayabildiğini göstermiştir (Köse ve ark., 2026). HyDE yaklaşımının özgün çalışması da ilgililik etiketi olmadan farklı görev ve dillerde güçlü sıfır örnekli erişim sonuçları bildirmiştir (Gao ve ark., 2023a). Bu bulgular, mimari seçimin yalnızca doğruluk değil belirteç kullanımı, gecikme ve uygulama bütçesi açısından da optimize edilmesi gerektiğini desteklemektedir. Şekil 2, temel, gelişmiş, modüler, uyarlanabilir, hiyerarşik ve grafik tabanlı ile uzun bağlam odaklı RAG türlerini ortak bir merkez etrafında karşılaştırmakta; her türün kullandığı kontrol mekanizmasını kısa bir akışla açıklamaktadır. Tablo 2 ise bu mimarilerin odaklandığı sistem sorunlarını, sağladığı iyileştirmeleri ve başlıca ödünleşimleri ayrıntılı biçimde karşılaştırmaktadır.



Şekil 2. *RAG mimarilerinin temel türleri ve kullandıkları kontrol mekanizmaları.*

Tablo 2. RAG mimarilerinin odaklandıkları sistem sorunları, sağladıkları iyileştirmeler ve başlıca ödünleşimler.

Yaklaşım	Odaklandığı sistem sorunu	Sağladığı temel iyileştirme	Başlıca ödünleşim veya sınırlılık
Temel RAG	Model bilgisinin güncel veya alana özgü olmaması	Dış kaynaktan kanıt getirerek üretimi güncel ve alana özgü bilgiyle destekler	İlk erişim hatası doğrudan yanıta taşınabilir
Gelişmiş RAG	İlgili kanıtın bulunamaması ve bağlamın gürültülü olması	Sorgu dönüşümü, karma erişim, yeniden sıralama ve bağlam sıkıştırma uygular	Gecikme, maliyet ve bileşen karmaşıklığı artar
Modüler ve uyarlanabilir RAG	Tek bir işlem hattının bütün sorgu türlerine uygun olmaması	Sorgu türüne, güven düzeyine ve bütçeye göre bileşen seçer	Yönlendirme hataları ve sistemin denetlenmesi zorlaşabilir
Self-RAG ve CRAG	Yetersiz kanıtla üretim ve kaynak dışı iddialar	Kanıtı değerlendirir, öz eleştiri yapar ve gerektiğinde yeniden erişim başlatır	Ek model çağrıları ve hatalı öz değerlendirme riski doğar
RAPTOR ve GraphRAG	Uzun belgelerde çok düzeyli bilginin ve belgeler arası ilişkilerin kaybolması	Hiyerarşik özetler veya ilişki temelli erişim kullanır	Dizin oluşturma ve güncelleme maliyeti yüksektir
Uzun bağlam optimizasyonu	Kanıtın uzun bağlam içinde kaybolması veya gürültüye karışması	Pasaj sıralama, komşu parça ekleme ve seçici sıkıştırma uygular	Daha uzun bağlam her zaman daha yüksek başarı sağlamaz

3.3. Değerlendirme Çerçeveleri

RAG değerlendirmesi, yalnızca nihai yanıtın doğru olup olmadığını ölçemez. Doğru görünen bir yanıt ilgisiz belgelerden üretilmiş olabilir; doğru belgeler getirilse bile model kanıtı eksik kullanabilir. Dolayısıyla bilgi erişimi, üretim, kaynak dayanaklılık, verimlilik ve insan yararlılığı ayrı fakat ilişkili boyutlar olarak incelenmelidir (Es ve ark., 2024; Ru ve ark., 2024; Saad-Falcon ve ark., 2024).

3.3.1. Bilgi Erişimi Kalitesi

Bilgi erişimi değerlendirmesi, yanıt için gerekli kanıtın ilk k sonuç arasında bulunup bulunmadığını ve sıralamadaki yerini ölçer. Recall at k (Recall@k; ilk k sonuçtaki kapsama), Precision at k (Precision@k; ilk k sonuçtaki kesinlik), Mean Reciprocal Rank (MRR; Ortalama Karşılıklı Sıra), Mean Average Precision (MAP; Ortalama Kesinlik Ortalaması) ve Normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG; Normalleştirilmiş İndirgenmiş Kümülatif Kazanç) bu amaçla kullanılan temel ölçütlerdir. Benchmarking Information Retrieval (BEIR; Bilgi Erişimi Kıyaslaması), 18 veri kümesi ve dokuz erişim görevi üzerinden sıfır örnekli genellenebilirliği karşılaştırmış; Okapi Best Matching 25 (BM25) sıralama işlevinin güçlü bir taban çizgisi olduğunu ve geç etkileşim ile yeniden sıralama yaklaşımlarının yüksek doğruluğa karşılık daha fazla hesaplama maliyeti taşıdığını göstermiştir (Thakur ve ark., 2021). MTEB ise sekiz görev, 58 veri kümesi ve 112 dili kapsayarak tek bir gömme yönteminin bütün görevlerde sürekli üstün olmadığını ortaya koymuştur (Muennighoff ve ark., 2023). TR-MTEB, bilgi erişimi görevi için nDCG@10 yanında MRR, MAP, Precision@k ve Recall@k ölçütlerini birlikte kullanmaktadır (Baysan ve Güngör, 2025).

Bu ölçütler gerekli olmakla birlikte kanıtın güncel, çelişkisiz ve yanıt üretmek için yeterli olup olmadığını tek başına göstermez. Altın pasaj etiketlerinin bulunmadığı gerçek koleksiyonlarda inceleme daha da zorlaşır. Erişim ölçütleri bu yüzden hata türü analizi ve üretilen yanıtın kanıtla ilişkisiyle birlikte yorumlanmalıdır.

3.3.2. Yanıt Üretim Kalitesi

Yanıt üretim kalitesi; soruyla ilişkililik, doğruluk, açıklık, kapsayıcılık ve gereksiz içerikten kaçınma boyutlarını içerir. Klasik benzerlik ölçütleri tek bir doğru yanıtın bulunmadığı açık uçlu sorularda sınırlı kalabilir. Büyük dil modeli tabanlı değerlendiriciler ölçeklenebilir bir seçenek sunmakla birlikte kullanılan değerlendirici modelin dili, sürümü ve yönergesi sonuçları etkiler.

RAG bağlamında iyi yazılmış bir yanıtın kaynaklarla desteklenmesi gerekir. Bu nedenle yanıt puanı, kanıtın yokluğunda modelin akıcı fakat dayanaksız içerik üretmesini ödüllendirmemelidir. Cümle veya iddia düzeyinde değerlendirme, kısmen doğru fakat içinde desteklenmeyen eklemeler bulunan yanıtları ayırt etmek için daha uygundur.

3.3.3. Kaynak Dayanaklılık ve Olgusal Tutarlılık

Kaynak dayanaklılık, üretilen iddiaların getirilen pasajlardan çıkarılabilir olup olmadığını ifade eder. Olgusal tutarlılık ise yanıtın kaynak koleksiyonu ve bilinen gerçeklerle uyumunu kapsar. Bir yanıt kaynakla uyumlu olduğu halde kaynak güncel değilse olgusal olarak sorunlu olabilir; tersine doğru bir bilgi getirilen belgelerde bulunmadığında RAG çıktısı kaynak dayanaklı sayılmamalıdır.

RAGTruth, farklı RAG görevlerinden yaklaşık 18.000 doğal model yanıtını örnek ve sözcük düzeyinde insan etiketleriyle sunarak halüsinasyon tespiti için önemli bir kıyaslama zemini oluşturmuştur (Niu ve ark., 2024). Türkçe halüsinasyon tespitinde Turk-LettuceDetect, kaynak tarafından desteklenen ve desteklenmeyen belirteçleri sınıflandırarak iddia düzeyine yaklaşan bir yöntem sunmuştur. Çalışma, özel kodlayıcıların dengeli performans sağlayabildiğini, büyük dil modellerinin ise yüksek hatırlamaya karşın düşük kesinlik gösterebildiğini bildirmektedir

(Taş ve ark., 2025). Bu durum, tek bir otomatik değerlendiriciye güvenmek yerine farklı yöntemlerin birlikte kullanılmasını destekler.

3.3.4. Otomatik RAG Değerlendirme Çerçeveleri

Retrieval Augmented Generation Assessment (RAGAS; Bilgi Erişim Destekli Üretim Değerlendirmesi), bağlam ilişkililiği, yanıt ilişkililiği ve kaynakla tutarlılık gibi ölçütlerle RAG çıktısını bileşenlere ayırır (Es ve ark., 2024). Automated RAG Evaluation System (ARES; Otomatik RAG Değerlendirme Sistemi), sınırlı insan etiketi ve sentetik örneklerle otomatik değerlendiriciler oluşturmayı amaçlar (Saad-Falcon ve ark., 2024). RAGChecker (ayrıntılı RAG tanılama çerçevesi) ise erişim ve üretim aşamalarındaki hata türlerini daha ayrıntılı biçimde tanılayarak tek toplam puanın gizlediği başarısızlıkları görünür kılar (Ru ve ark., 2024).

Bu çerçevelerin ortak değeri, sistem performansını tek bir doğruluk puanına indirgememeleridir. Bununla birlikte değerlendirici modelin dil yeterliği, veri alanı ve karar eşiği sonuçları etkileyebilir. Türkçe için çerçevelerin doğrudan çevrilmesi yerine, yerel örnekler ve insan değerlendirmesiyle geçerlenmesi gerekir.

3.3.5. İnsan Değerlendirmesi ve Verimlilik

İnsan değerlendiriciler, yanıtın gerçekten yararlı olup olmadığını, kaynakların güvenilirliğini, riskli ifadeleri ve alan bağlamını otomatik metriklerden daha ayrıntılı inceleyebilir. Özellikle hukuk, sağlık ve kamu hizmetlerinde alan uzmanı değerlendirmesi gereklidir. Değerlendirici yönergeleri, puanlama rubriği ve değerlendiriciler arası uyum raporlanmadığında insan değerlendirmeleri de tekrarlanabilirliğini kaybedebilir.

Üretim kalitesi kadar gecikme, belirteç tüketimi, dizin boyutu ve güncelleme maliyeti de raporlanmalıdır. AutoRAG-HP, belirgin performans eğimine sahip arama uzaylarında grid search (ızgara araması) için gereken LLM tabanlı Application Programming Interface (API; Uygulama Programlama Arayüzü) çağrılarının yaklaşık beşte biriyle güçlü sonuçlar elde edilebildiğini göstermiştir (Fu ve ark., 2024). RAGTurk ile Türkçe geç etkileşimli erişim çalışmalarının doğruluk ile hız veya doğruluk ile maliyet arasındaki ödünleşimleri açıkça göstermesi, üretim ortamına uygun inceleme için önemli bir örnektir (Ezerceli ve ark., 2026; Köse ve ark., 2026). Şekil 3, RAG değerlendirmesini bilgi erişimi, yanıt kalitesi, kaynak dayanaklılık, güvenilirlik ve güvenlik, verimlilik ve maliyet, insan değerlendirmesi ile sağlamlık ve genellenebilirlik olmak üzere yedi tamamlayıcı boyutta göstermektedir. Tablo 3'te ise her boyutun neyi ölçtüğü, kullanılabilecek ölçütler ve başarılı bir sonucun nasıl yorumlanacağı açıklanmıştır.



Şekil 3. *RAG sistemleri için çok boyutlu değerlendirme çerçevesi.*

Tablo 3. RAG değerlendirme boyutları, ölçülen özellikler ve başarı göstergeleri.

Değerlendirme boyutu	Neyi ölçer? Örnek ölçüt ve yöntemler	Başarılı sonuç nasıl yorumlanır?
Bilgi erişimi	Gerekli kanıtın ilk k sonuç içinde bulunmasını ve sırasını ölçer: Recall@k, Precision@k, MRR, MAP ve nDCG	Gerekli kanıtın yüksek oranda bulunması ve ilgili belgelerin üst sıralarda yer alması
Yanıt kalitesi	Yanıtın soruyla ilgisini, doğruluğunu, açıklığını, eksiksizliğini ve gereksiz içerikten kaçınmasını inceler	Sorunun doğru, açık ve yeterli kapsamla yanıtlanması
Kaynak dayanaklılık	Yanıttaki iddiaları getirilen pasajlarla eşleştirir; kaynakla tutarlılık ve iddia ile pasaj desteğini değerlendirir	Her önemli iddianın getirilen kanıt tarafından desteklenmesi
Olgusal tutarlılık	Yanıtın ve kullanılan kaynakların güncel gerçeklerle uyumunu, gerektiğinde uzman doğrulamasıyla inceler	Yanıtın doğrulanabilir, güncel ve çelişkisiz olması
Sağlamlık	Alan değişimi, gürültü, çelişkili veya cevaplanamaz sorular ve saldırı senaryolarındaki davranışı ölçer	Sistemin bozulmuş koşullarda kararlı ve güvenli davranması
Verimlilik	Gecikme, belirteç tüketimi, dizin boyutu, hesaplama ve güncelleme maliyetini ölçer	Kabul edilebilir kaynak tüketimiyle hedeflenen kaliteye ulaşılması
İnsan değerlendirmesi	Açık rubrikler, alan uzmanı görüşü, kullanıcı yararlılığı ve değerlendiriciler arası uyumu inceler	Bağlamsal kalite ve risklerin güvenilir biçimde puanlanması

3.4. Sınırlılıklar ve Güvenilirlik Sorunları

RAG, harici bilgiye erişim sağlasa da hataları ortadan kaldırmak yerine yeni bir hata zinciri oluşturabilir. Belge koleksiyonundaki sorunlar erişime, erişimdeki sorunlar bağlama ve bağlamdaki sorunlar üretime taşınır. Güvenilirlik bu açıdan tek bir model özelliği değil, bütün sürece ait bir sistem özelliğidir.

3.4.1. Yanlış veya Eksik Belge Alma

İlgili kanıtın ilk adaylar arasında bulunmaması, RAG sistemlerinin en temel başarısızlık biçimidir. Yüzeysel olarak benzer fakat anlamsal olarak farklı belgeler özellikle alan terimleri ve çok anlamlı sorgularda üst sıralara çıkabilir. Contextualized Late Interaction over BERT (ColBERT) modeli, Bidirectional Encoder Representations from Transformers (BERT; Dönüştürücülerden Çift Yönlü Kodlayıcı Temsilleri) mimarisi üzerinde belirteç düzeyinde geç etkileşim uygulayarak ince taneli eşleşme ile sorgu maliyeti arasında bir denge kurmuştur (Khattab ve Zaharia, 2020). BEIR sonuçları ise hiçbir erişim mimarisinin bütün alanlarda sürekli üstün olmadığını ve Okapi BM25'in güçlü bir sıfır örnekli taban çizgisi olduğunu göstermektedir (Thakur ve ark., 2021). Türkçe bilgi erişimi çalışmaları da tek vektörlü yoğun modeller ile belirteç düzeyindeki geç etkileşimli modellerin alanlara göre farklılaştığını ortaya koymaktadır; bu yüzden tek bir modelin bütün koleksiyonlarda üstün olduğu varsayılmamalıdır (Ezerceli ve ark., 2025, 2026).

3.4.2. Bağlam Gürültüsü ve Çelişkili Bilgi

Daha fazla pasaj getirmek her zaman daha iyi yanıt üretmez. Tekrar eden, kısmen ilgili veya farklı tarihlere ait belgeler modelin dikkatini dağıtabilir ve çelişkili bir yanıt oluşturabilir. RAGTurk, katı filtrelemenin morfolojik ve yüzey biçimi çeşitliliği nedeniyle yararlı kanıtı dışlayabildiğini; çok sayıda üretici modülün üst üste eklenmesinin de hata ve maliyet biriktirebildiğini göstermiştir (Köse ve ark., 2026).

3.4.3. Uzun Bağlamda Bilginin Kaybolması

Uzun bağlam modelleri daha çok belge kabul etse de gerekli bilginin konumu ve çevresindeki gürültü yanıt kalitesini etkiler. Lost in the Middle çalışması, ilgili bilginin bağlamın ortasında bulunduğu durumlarda kullanım başarısının düşebildiğini göstermiştir (Liu ve ark., 2024). Dolayısıyla bağlam sıralaması, komşu pasajların seçimi ve sıkıştırma stratejileri bağlam penceresinin büyüklüğü kadar önemlidir.

3.4.4. Kaynak Uyumsuzluğu ve Halüsinasyon

Model, kaynakta açıkça bulunmayan bir çıkarımı doğal bir dille ekleyebilir veya birkaç pasajdaki bilgiyi yanlış biçimde birleştirebilir. Kaynak bağlantısının görüntülenmesi tek başına güvenilirlik sağlamaz; her iddianın gerçekten ilgili pasajla desteklenmesi gerekir. Turk-LettuceDetect sonuçları, halüsinasyon tespitinin görev türüne göre değiştiğini ve özetleme gibi daha soyut üretimlerde daha zor olduğunu göstermektedir (Taş ve ark., 2025).

3.4.5. Değerlendirme Belirsizlikleri ve Veri Seti Aktarımı

RAG sistemleri belirli bir kıyaslama setinde yüksek puan alırken farklı alanlarda veya gürültülü belgelerde başarısız olabilir. BEIR ve MTEB, farklı görev ve alanlarda tek bir modelin sürekli üstün olmadığını ve alan içi başarının alan dışı genellenebilirliği garanti etmediğini göstermektedir (Muennighoff ve ark., 2023; Thakur ve ark., 2021). TR-MTEB ve TurkColBERT, Türkçe kaynak kıtlığını azaltmak için çevrilmiş veri setlerinden yararlanmakla birlikte bu veri setlerinin yerel sözdizimi, söylem ve alan kullanımını tam yansıtmayabileceğini belirtmektedir (Baysan ve Güngör, 2025; Ezerceli ve ark., 2026). Sonuçların gerçek uygulamalara aktarımı bu nedenle bağımsız alan testleri gerektirir.

3.4.6. Güvenlik, Yönerge Enjeksiyonu ve Veri Zehirleme

Harici belgeler modele yalnızca bilgi değil, kötü niyetli yönergeler de taşıyabilir. Dolaylı yönerge enjeksiyonunda saldırgan, model tarafından okunacak bir belgeye gizli veya açık

komutlar yerleştirerek sistem davranışını değiştirmeye çalışır (Greshake ve ark., 2023). PoisonedRAG deneyleri, milyonlarca metin içeren bir bilgi tabanına hedef soru başına yalnızca beş kötü niyetli metin eklendiğinde %90'a varan saldırı başarısı elde edilebildiğini göstermiştir (Zou ve ark., 2025). Kurumsal sistemlerde belge erişim izinleri, kaynak güvenilirliği, hassas veri sızıntısı, günlükleme ve kullanıcı bazlı yetkilendirme birlikte tasarlanmalıdır.

3.4.7. Veri Kalitesi ve Belge Hazırlama

Portable Document Format (PDF; Taşınabilir Belge Biçimi) dosyaları, taranmış belgeler, tablolar ve çok sütunlu sayfalardan çıkarılan metinlerde başlık, satır sırası veya dipnot yapısı bozulabilir. Türkçedeki karakter kodlaması ve ek biçimleri, hatalı OCR sonrasında daha fazla yüzey varyasyonu oluşturabilir. Dolayısıyla belge temizleme ve parçalama, yalnızca teknik bir ön işlem değil, kaynak dayanaklılığın temel koşulu olarak görülmelidir. RAGTurk sonuçları da veri kaynağı ve belge gürültüsüne göre en iyi sürecin değişebildiğini vurgulamaktadır (Köse ve ark., 2026).

3.5. Türkçe Sistemler İçin Araştırma Yönleri

Türkçe RAG literatürü yakın zamana kadar çoğunlukla genel çok dilli modellerin kullanımına dayanırken, 2025 ve 2026 yıllarında gömme kıyaslaması, göreve özgü bilgi erişimi, geç etkileşimli mimariler, uçtan uca RAG ve halüsinasyon tespiti üzerine doğrudan Türkçe çalışmalar yayımlanmıştır. Bu çalışmalar, araştırma gündemini varsayımsal dil sorunlarından ölçülebilir sistem sorularına taşımaktadır.

3.5.1. Türkçe Gömme ve Bilgi Erişimi Modelleri

Uluslararası MTEB, sekiz görev, 58 veri kümesi ve 112 dili tek çerçevede değerlendirerek gömme modeli seçiminin görev bağımlı olduğunu göstermiştir (Muennighoff ve ark., 2023). Bu çerçevenin Türkçe uzantısı olan TR-MTEB, altı görev türü ve 26 veri setiyle Türkçe cümle gömmeleri için geniş bir değerlendirme zemini sunmuş; 34,2 milyon zayıf denetimli Türkçe cümle çiftiyle eğitilen modellerin sınıflandırma ve anlamsal benzerlik gibi tek dilli görevlerde rekabetçi olabildiğini göstermiştir (Baysan ve Güngör, 2025). Bununla birlikte büyük çok dilli modeller genel ortalamada güçlü kalmış, bitext madenciliği gibi diller arası görevlerde tek dilli eğitimin sınırları görünür olmuştur.

TurkEmbed4Retrieval, Microsoft Machine Reading Comprehension (MS MARCO) veri kümesinin Türkçe sürümü üzerinde göreve özgü ince ayar ve Matryoshka temsili kullanarak SciFact veri kümesinin Türkçe sürümünde önceki Türkçe ColBERT taban çizgisine göre önemli kazanımlar bildirmiştir (Ezerceli ve ark., 2025). TurkColBERT, ColBERT'in belirteç düzeyindeki geç etkileşim ilkesini Türkçe bilgi erişimine uyarlamış; beş Türkçe BEIR veri setinde birçok alana özgü görevde yoğun kodlayıcıları geçmiş ve daha küçük modellerle hız ve doğruluk dengesi kurulabildiğini göstermiştir (Khattab ve Zaharia, 2020; Ezerceli ve ark., 2026). Sonuçlar, Türkçe RAG için gömme modeli seçiminin alan bazında test edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

3.5.2. Morfolojiye Duyarlı Sorgu ve Erişim

Türkçenin eklemeli yapısı aynı kavramın çok sayıda yüzey biçimiyle ifade edilmesine neden olur. Bu durum sözcüksel aramada doğrudan eşleşmeyi, yoğun modellerde ise az görülen ek dizilerinin temsilini etkileyebilir. Geç etkileşimli modellerin belirteç düzeyinde karşılaştırma yapması, bazı alanlarda gözlenen kazanımların olası açıklamalarından biridir; ancak bu kazanım bütün veri setlerinde aynı değildir (Ezerceli ve ark., 2026).

Gelecek çalışmalar, kök ve biçimbirim bilgisi eklenen seyrek erişim, alt sözcük temsilleri, karma erişim ve sorgu açıklama yöntemlerini aynı yerel veri setinde karşılaştırmalıdır. HyDE, varsayımsal belge üzerinden sözcüksel boşluğu azaltabilse de üretici ara metnin yanlış ayrıntılar içerebilmesi nedeniyle Türkçe morfoloji ve anlam kayması açısından ayrıca sınanmalıdır (Gao ve ark., 2023a). RAGTurk, basit sorgu açıklama ile çapraz kodlayıcı yeniden sıralamanın üretim

dostu bir seçenek olabildiğini, buna karşılık aşırı üretici sorgu dönüşümünün maliyet ve anlam kayması oluşturabileceğini göstermektedir (Köse ve ark., 2026).

3.5.3. Türkçe Belge Yapısına Uygun Parçalama ve Bağlam

Sabit uzunluklu parçalama, mevzuat maddeleri, akademik başlıklar, soru ve cevap kayıtları ile uzun Türkçe cümlelerde anlam bütünlüğünü bozabilir. Wang ve ark. (2025), sabit parça boyutunun bu ödünleşimini doğrudan incelemiş ve belge özetini sözde yönerge olarak kullanan yaklaşımın çeşitli açık alan soru yanıtlama kıyaslamalarında Hits@k ve Exact Match sonuçlarını iyileştirdiğini bildirmiştir. RAGTurk deneylerinde önceki ve sonraki parçaların bağlama eklenmesi de güçlü yapıların bir bileşeni olarak öne çıkmıştır (Köse ve ark., 2026). Bununla birlikte en iyi parça büyüklüğü ve örtüşme oranı belge türüne göre değişebilir.

Türkçe araştırmalarda cümle, paragraf, başlık, madde ve fıkra ile konu temelli parçalama aynı koleksiyon ve aynı erişim modeli altında karşılaştırılmalıdır. İnceleme yalnızca Recall@k ile sınırlı kalmamalı; pasajın kaynak konumunu koruması, iddia düzeyinde atıf üretimi ve bağlam başına belirteç maliyeti de ölçülmelidir.

3.5.4. Kaynak Dayanaklı Veri Setleri ve Halüsinasyon Tespiti

RAGTurk, 4.891 Türkçe Vikipedi maddesi ve 6.305 Türkçe web belgesinden oluşturulan kanıt pasajlı soru ve yanıt yapısıyla uçtan uca değerlendirmeye önemli bir başlangıç sunmaktadır (Köse ve ark., 2026). TR-MTEB ise gömme modelleri için geniş görev çeşitliliği sağlamaktadır. Buna rağmen yerel hukuk, sağlık, eğitim ve kamu belgelerinde uzmanlarca doğrulanmış kaynak pasajları içeren veri setleri sınırlıdır.

RAGTruth, yaklaşık 18.000 doğal RAG yanıtını örnek ve sözcük düzeyinde insan etiketleriyle sunmuştur (Niu ve ark., 2024). Turk-LettuceDetect, bu kaynağın makine çevirisiyle oluşturulan 17.790 örneklik Türkçe sürümünde belirteç düzeyinde halüsinasyon tespiti gerçekleştirmiş ve kesinlik ile duyarlılığın harmonik ortalamasını gösteren F1 skoru için ModernBERT tabanlı modelde tüm test kümesinde 0,7266 değerini bildirmiştir (Taş ve ark., 2025). Bu çalışma, Türkçe doğrulama modelleri için önemli bir adım olsa da makine çevirisiyle oluşturulan verinin doğal Türkçe üretim hatalarını ne ölçüde temsil ettiği ayrıca sınanmalıdır.

3.5.5. Alana Özgü ve Yerel Türkçe RAG Uygulamaları

Hukuk, sağlık, eğitim, kamu hizmetleri ve kurumsal bilgi yönetimi Türkçe RAG için yüksek değerli alanlardır. Ancak genel Vikipedi veya çevrilmiş kıyaslama sonuçları bu alanlara doğrudan aktarılamaz. Hukukta yürürlük tarihi ve madde düzeyinde atıf, sağlıkta kanıt hiyerarşisi ve güvenli yönlendirme, eğitimde pedagojik uygunluk gibi alan kuralları işlem hattına dahil edilmelidir.

Alana özgü çalışmalar, yalnızca bir prototip tanıtmak yerine taban çizgisi olarak sözcüksel, yoğun ve karma erişimi karşılaştırmalı; cevaplanamaz soruları ve eski veya çelişkili belgeleri içeren testler kullanmalı; sonuçları alan uzmanı değerlendirmesiyle raporlamalıdır. Böylece RAG kullanımının gerçekten modele göre ek değer sağlayıp sağlamadığı ölçülebilir.

3.5.6. Türkçe Değerlendirme Protokolleri

Türkçe RAG protokolleri en az üç katmanı birlikte ölçmelidir: kanıt erişimi, yanıt ile kaynak uyumu ve kullanıcı yararlılığı. BEIR ve MTEB, alan ve görev çeşitliliği olmadan model genellenebilirliğinin sağlıklı yorumlanamayacağını göstermektedir (Muennighoff ve ark., 2023; Thakur ve ark., 2021). TR-MTEB yeniden sıralama ve özetleme gibi gerçek RAG bileşenlerini henüz kapsamamaktadır; RAGTurk sonuçları ise belirli modeller, istemler ve veri kaynakları altında elde edilmiştir (Baysan ve Güngör, 2025; Köse ve ark., 2026). Bu yüzden ortak bir çekirdek test yanında alan bazlı genişletmeler gereklidir.

İnsan değerlendirmesinde akıcılık, doğruluk, eksiksizlik, kaynak uyumu, gereksiz kesinlik ve riskli yönlendirme için açık rubrikler kullanılmalıdır. Otomatik değerlendiriciler Türkçe

örneklerle kalibre edilmeli; model sürümü, istem metni ve karar eşiği raporlanmalıdır. Çevrilmiş ve yerel veriler ayrı sonuçlandırılarak dilsel doğallığın etkisi görünür kılınmalıdır.

3.5.7. Güvenlik, Gizlilik ve Türkçe Saldırı Senaryoları

Türkçe yönerge enjeksiyonu, veri zehirleme ve yetkisiz belge erişimi için standart test setleri bulunmamaktadır. Saldırı metinleri yalnızca İngilizceden çevrilmemeli; Türkçe ekler, örtük emirler, yazım varyasyonları ve sosyal mühendislik kalıpları dikkate alınmalıdır. PoisonedRAG benzeri bilgi tabanı zehirleme senaryoları da Türkçe koleksiyonlarda farklı saldırgan bilgi düzeyleri ve belge erişim stratejileri altında sınanmalıdır (Zou ve ark., 2025). Kurumsal sistemlerde kullanıcı yetkisi belge düzeyinde değil, pasaj ve iddia düzeyinde uygulanmalı; yanıtla birlikte erişilen kaynakların denetim kaydı tutulmalıdır. Şekil 4, yerel veri, morfoloji, parçalama, değerlendirme, halüsinasyon denetimi, güvenlik ve alana özgü uygulamalar gibi araştırma önceliklerini belge hazırlama, gömme, bilgi erişimi, yeniden sıralama, doğrulama ve üretim bileşenleriyle ilişkilendirmektedir. Şeklin sağ tarafında bu bütünleşik tasarımın hedeflediği doğruluk, güncellik, denetlenebilirlik, kullanıcı güveni ve uygulanabilirlik çıktıları gösterilmiştir. Tablo 4 ise öncelikli araştırma alanlarını ve her alan için önerilen çalışmaları özetlemektedir.



Şekil 4. *Türkçe RAG sistemleri için araştırma öncelikleri, bileşen ilişkileri ve hedeflenen çıktılar.*

Tablo 4. Türkçe RAG için öncelikli araştırma alanları ve önerilen çalışmalar.

Araştırma alanı	İlgili çalışma veya altyapı	Türkçe için önerilen çalışma
Gömme modeli kıyaslaması	MTEB ve TR-MTEB: çok görevli gömme değerlendirmeleri	Daha fazla doğal Türkçe veri; yeniden sıralama ve uzun belge görevlerini içeren karşılaştırmalar
Göreve özgü bilgi erişimi	TurkEmbed4Retrieval: MS MARCO veri kümesinin Türkçe sürümü üzerinde ince ayar	Hukuk, sağlık, eğitim ve teknik belgelerde alanlar arası çapraz testler
Geç etkileşimli bilgi erişimi	ColBERT ve TurkColBERT: belirteç düzeyinde geç etkileşim	Büyük ölçekli yerel koleksiyonlarda hız, doğruluk ve dizin maliyetinin birlikte ölçülmesi

Araştırma alanı	İlgili çalışma veya altyapı	Türkçe için önerilen çalışma
Uçtan uca RAG işlem hattı	RAGTurk: yedi aşama için doğruluk ve maliyet karşılaştırması	Farklı belge türleri ve alanlarda bağımsız tekrar deneyleri
Halüsinasyon tespiti	RAGTruth ve Turk-LettuceDetect: sözcük ve belirteç düzeyinde etiketleme	Doğal Türkçe üretimler üzerinde uzman etiketli ve alana özgü test kümeleri
Güvenlik ve gizlilik	Dolaylı yönerge enjeksiyonu ve PoisonedRAG bilgi tabanı zehirleme senaryoları	Türkçe saldırı veri setleri, rol tabanlı erişim ve sistematik saldırı testleri
İnsan ve otomatik değerlendirme	RAGAS, ARES, RAGChecker ve Türkçe odaklı değerlendirme çalışmaları	Türkçe kalibrasyon, açık rubrikler ve değerlendiriciler arası uyum analizi

4. SONUÇ

Bu çalışma, RAG sistemlerini tek bir belge getirme tekniği olarak değil, birbirine bağımlı bileşenlerden oluşan bir sistem tasarımı problemi olarak değerlendirmiştir. Belge hazırlama, parçalama, gömme, bilgi erişimi, yeniden sıralama, bağlam oluşturma, üretim ve doğrulama aşamalarından herhangi birindeki hata sonraki aşamalara taşınabilir. Dolayısıyla güçlü bir dil modeli kullanmak, kaynak dayanaklı ve güvenilir bir sistem için tek başına yeterli değildir.

Mimari gelişim temel RAG yapısından sorgu işleme ve yeniden sıralama içeren gelişmiş sistemlere, öz yansıtmalı ve düzeltici mekanizmalara, ardından hiyerarşik ve grafik tabanlı erişime doğru ilerlemiştir. Ancak karmaşıklık arttıkça gecikme, belirteç tüketimi, güncelleme maliyeti ve denetlenebilirlik sorunları da büyür. Uzun bağlam pencereleri kanıt seçiminin yerini almamakta; sıralama ve bağlam yoğunluğu önemini korumaktadır.

Türkçe literatürde son çalışmalar önemli bir temel oluşturmuştur. TR-MTEB kapsamlı bir gömme kıyaslaması, TurkEmbed4Retrieval göreve özgü bir model, TurkColBERT yoğun ve geç etkileşimli erişim karşılaştırması, RAGTurk uçtan uca süreç analizi ve Turk-LettuceDetect halüsinasyon tespiti sunmaktadır. Birlikte değerlendirildiğinde bu çalışmalar, Türkçe için dile özgü yöntemlerin yararlı olabildiğini, fakat başarımın veri alanı, çeviri etkisi, model boyutu ve süreç seçimine duyarlı olduğunu göstermektedir.

Gelecek araştırmaların yerel ve kaynak dayanaklı veri setleri, morfolojiye duyarlı karma erişim, belge yapısına uygun parçalama, alan uzmanı değerlendirmesi, cevaplanamaz soru testleri ve Türkçe güvenlik senaryoları üzerinde yoğunlaşması gerekir. Böyle bir yaklaşım, Türkçe RAG sistemlerini yalnızca teknik olarak çalışan prototiplerden, kanıtlanabilir, denetlenebilir ve güvenli uygulamalara taşıyacaktır.

KAYNAKÇA

Asai, A., Wu, Z., Wang, Y., Sil, A., & Hajishirzi, H. (2024). Self-RAG: Learning to retrieve, generate, and critique through self-reflection. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

Baysan, M. S., & Güngör, T. (2025). TR-MTEB: A comprehensive benchmark and embedding model suite for Turkish sentence representations. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2025*, 8867–8887.

Borgeaud, S., Mensch, A., Hoffmann, J., Cai, T., Rutherford, E., Millican, K., Van Den Driessche, G. B., Lespiau, J.-B., Damoc, B., Clark, A., De Las Casas, D., Guy, A., Menick, J., Ring, R., Hennigan, T., Huang, S., Maggiore, L., Jones, C., Cassirer, A., … Sifre, L. (2022). Improving language models by retrieving from trillions of tokens. *Proceedings of Machine Learning Research, 162*, 2206–2240. https://proceedings.mlr.press/v162/borgeaud22a.html

Edge, D., Trinh, H., Cheng, N., Bradley, J., Chao, A., Mody, A., Truitt, S., & Larson, J. (2024). *From local to global: A graph RAG approach to query-focused summarization*. arXiv:2404.16130.

Es, S., James, J., Espinosa-Anke, L., & Schockaert, S. (2024). RAGAS: Automated evaluation of retrieval augmented generation. *Proceedings of the 18th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations*.

Ezerceli, O., ElHussieni, M., Taş, S., Bayraktar, R., Terzioğlu, F. B., Çelebi, Y., & Asker, Y. (2026). TurkColBERT: A benchmark of dense and late-interaction models for Turkish information retrieval. *Procedia Computer Science, 275*, 393–400.

Ezerceli, Ö., Gümüşçekiçci, G., Erkoç, T., & Özenç, B. (2025). TurkEmbed4Retrieval: Turkish embedding model for retrieval task. *2025 33rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. https://doi.org/10.1109/SIU66497.2025.11112338

Fu, J., Qin, X., Yang, F., Wang, L., Zhang, J., Lin, Q., Chen, Y., Zhang, D., Rajmohan, S., & Zhang, Q. (2024). AutoRAG-HP: Automatic online hyper-parameter tuning for retrieval-augmented generation. *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2024*, 3875–3891. https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-emnlp.223

Gao, L., Ma, X., Lin, J., & Callan, J. (2023a). Precise zero-shot dense retrieval without relevance labels. *Proceedings of the 61st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, 1762–1777. https://doi.org/10.18653/v1/2023.acl-long.99

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Wang, M., & Wang, H. (2023b). *Retrieval-augmented generation for large language models: A survey*. arXiv:2312.10997.

Greshake, K., Abdelnabi, S., Mishra, S., Endres, C., Holz, T., & Fritz, M. (2023). Not what you have signed up for: Compromising real-world LLM-integrated applications with indirect prompt injection. *Proceedings of the 16th ACM Workshop on Artificial Intelligence and Security*.

Guu, K., Lee, K., Tung, Z., Pasupat, P., & Chang, M.-W. (2020). REALM: Retrieval-augmented language model pre-training. *Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning (ICML)*.

Izacard, G., & Grave, E. (2021). Leveraging passage retrieval with generative models for open domain question answering. *Proceedings of the 16th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*.

Karpukhin, V., Oguz, B., Min, S., Lewis, P., Wu, L., Edunov, S., Chen, D., & Yih, W.-t. (2020). Dense passage retrieval for open-domain question answering. *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*.

Khattab, O., & Zaharia, M. (2020). ColBERT: Efficient and effective passage search via contextualized late interaction over BERT. *Proceedings of the 43rd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, 39–48. https://doi.org/10.1145/3397271.3401075

Köse, S. K., Baytekin, M. C., Aktaş, B., Görür, B. K., Munis, E. A., Yılmaz, D., Kartal, M. Y., & Toraman, Ç. (2026). RAGTurk: Best practices for retrieval augmented generation in Turkish. *Proceedings of the Second Workshop Natural Language Processing for Turkic Languages (SIGTURK 2026)*, 179–196.

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W.-t., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems, 33*.

Liu, N. F., Lin, K., Hewitt, J., Paranjape, A., Bevilacqua, M., Petroni, F., & Liang, P. (2024). Lost in the middle: How language models use long contexts. *Transactions of the Association for Computational Linguistics, 12*, 157–173.

Muennighoff, N., Tazi, N., Magne, L., & Reimers, N. (2023). MTEB: Massive text embedding benchmark. *Proceedings of the 17th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, 2014–2037. https://doi.org/10.18653/v1/2023.eacl-main.148

Niu, C., Wu, Y., Zhu, J., Xu, S., Shum, K., Zhong, R., Song, J., & Zhang, T. (2024). RAGTruth: A hallucination corpus for developing trustworthy retrieval-augmented language models. *Proceedings of the 62nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*, 10862–10878. https://doi.org/10.18653/v1/2024.acl-long.585

Ru, D., Qiu, L., Hu, X., Zhang, T., Shi, P., Chang, S., Cheng, J., Wang, C., Sun, S., Li, H., Zhang, Z., Wang, B., Jiang, J., He, T., Wang, Z., Liu, P., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2024). RAGChecker: A fine-grained framework for diagnosing retrieval-augmented generation. *Advances in Neural Information Processing Systems, 37*, 21999–22027. https://doi.org/10.52202/079017-0692

Saad-Falcon, J., Khattab, O., Potts, C., & Zaharia, M. (2024). ARES: An automated evaluation framework for retrieval-augmented generation systems. *Proceedings of the 2024 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics*.

Sarthi, P., Abdullah, S., Tuli, A., Khanna, S., Goldie, A., & Manning, C. D. (2024). RAPTOR: Recursive abstractive processing for tree-organized retrieval. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*.

Taş, S., El Huseyni, M., Ezerceli, O., Bayraktar, R., & Terzioğlu, F. B. (2025). Turk-LettuceDetect: A hallucination detection model for Turkish RAG applications. *2025 3rd International Conference on Foundation and Large Language Models (FLLM)*. https://doi.org/10.1109/FLLM67465.2025.11390913

Thakur, N., Reimers, N., Rücklé, A., Srivastava, A., & Gurevych, I. (2021). BEIR: A heterogeneous benchmark for zero-shot evaluation of information retrieval models. *Proceedings of the Neural Information Processing Systems Track on Datasets and Benchmarks, 1*.

Wang, Z., Gao, C., Xiao, C., Huang, Y., Si, S., Luo, K., Bai, Y., Li, W., Duan, T., Lv, C., Lu, G., Chen, G., Qi, F., & Sun, M. (2025). Document segmentation matters for retrieval-augmented generation. *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2025*, 8063–8075. https://doi.org/10.18653/v1/2025.findings-acl.422

Yan, S.-Q., Gu, J.-C., Zhu, Y., & Ling, Z.-H. (2024). *Corrective retrieval augmented generation*. arXiv:2401.15884.

Zou, W., Geng, R., Wang, B., & Jia, J. (2025). PoisonedRAG: Knowledge corruption attacks to retrieval-augmented generation of large language models. *Proceedings of the 34th USENIX Security Symposium*, 3827–3844.

MİKRO BOŞALMA CİHAZLARINDA GÜMÜŞ NANOPARÇACIK MODİFİKASYONUNUN ELEKTRİKSEL İLETKENLİK VE IŞIMA ŞİDDETİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Sevgül ÖZTÜRK
Independent Researcher, Bahçeşehir 2. Kısım Mahallesi, Tayfun Caddesi Gül 06 06 B-25, Başakşehir/İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-1672-1227
Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV
Institute of Physics PLE, Ministry of Science and Education, AZ1143 Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0008-2881-4061

ÖZET
Bu araştırmada, gümüş iyon ve nanoparçacık katkılı klinoptilolit zeolit katotların (ZC-Ag^0) elektro-optik ve elektriksel iletkenlik karakteristikleri doğru akım (DC) ile çalışan mikro boşalma cihazlarında (MBC) incelenmiştir. İyon değişimi ve kimyasal indirgeme yöntemleriyle zeolit matrisine entegre edilen ortalama 4.5 nm boyutundaki Ag nanoparçacıklarının, plazma ile etkileşiminden sonra ilave elektron enjeksiyonu sağlayarak yapısal iletkenliği artırdığı tespit edilmiştir. Ag^+ nanoparçacıklarının yüksek yük yoğunluğu, aniyonik çerçeve ile daha güçlü etkileşime girerek katyon mobilitesini artırmış ve çalışma voltajında belirgin bir düşüşe yol açmıştır. Farklı gaz basınçlarında (4–760 Torr) gerçekleştirilen akım-voltaj (I-V) ve plazma ışık şiddeti ölçümleri, Ag modifikasyonunun plazmanın geniş bir katot yüzeyine homojen şekilde yayılmasını kolaylaştırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, nano-gözenekli kanalların içine metalik Ag nanoparçacıklarının yerleştirilmesi lokal elektrik alan dağılımını değiştirerek mikro boşalma bölgesi içindeki hem elektron yoğunluğunu hem de ortalama elektron enerjisini artırmaktadır. Bu yerel alan güçlenmesi, katot malzemesinin saçılma (sputtering) oranını düşürerek mikro boşalma hücresinin uzun süreli çalışma kararlılığının iyileşmesine katkıda bulunur. Boşalma sonrası elektron iletiminin artmasıyla birlikte, ZC-Ag^0 elektrotlarının kullanıldığı sistemlerde hem akım yoğunluğunda hem de UV-görünür bölge emisyonunda belirgin bir artış elde edilmiştir. Sonuçlar, Ag katkılı nano gözenekli zeolitlerin düşük güçlü plazma ekranları, alan emisyonlu ekranlar, enerji depolama sistemleri ve katı hal ışık kaynakları için son derece elverişli alternatifler olduğunu göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Mikroplazma, Nanogözenekli zeolit, Plazma ışık şiddeti, Ag-nanoparçacıkları

EFFECT OF SILVER NANOPARTICLE MODIFICATION ON ELECTRICAL CONDUCTIVITY AND LIGHT EMISSION INTENSITY IN MICRO-DISCHARGE DEVICES

ABSTRACT
In this research, the electro-optical and electrical conductivity characteristics of clinoptilolite zeolite cathodes doped with silver nanoparticles (ZC-Ag^0) and silver ions (ZC-Ag^+) were investigated in direct current (DC) driven micro-discharge electronic devices. Silver nanoparticles with an average size of 4.5 nm, integrated into the zeolite matrix via ion-exchange and chemical reduction methods, were found to enhance structural conductivity by providing additional electron injection after plasma contact. The high charge density of Ag^+ nanoparticules interacted more strongly with the anionic framework, increasing cation mobility and leading to a significant drop in working voltage. Current-Voltage (I-V) and plasma light intensity (PLI) measurements conducted under various gas pressures (4–760 Torr) reveal that

Ag modification facilitates the homogeneous spreading of plasma over a wide cathode surface. Furthermore, the introduction of metallic Ag centers inside the nanoporous channels alters the local electric field distribution, thereby increasing both electron density and mean electron energy within the micro-discharge region. This local field enhancement lowers the sputtering rate of the cathode material, contributing to improved long-term operational stability of the micro-discharge cell. With the enhancement of post-breakdown electron conduction, a notable increase was achieved in both current density and UV-visible emission in systems utilizing ZC-Ag^0 electrodes.The results demonstrate that Ag-doped nanoporous zeolites are highly favorable alternatives for low-power plasma displays, field-emission displays, energy-storage systems, and solid-state light sources.
Keywords: Microplasma, Nanoporous zeolite, Plasma light intensity, Ag-nanoparticules

1. INTRODUCTION

Micro-discharge electronic devices (MED) are technological systems capable of generating non-thermal (cold) plasma under atmospheric and moderate pressure conditions by producing high electric field intensities across micrometer-scale electrode gaps (d – 250 □m}) (Koseoglu et al., 2014; Koseoglu & Salamov, 2015). The operational efficiency, service life, plasma uniformity, and emission intensity of these devices directly depend on the physicochemical and emission properties of the cathode material utilized (Ozturk Koc et al., 2016). Nanoporous natural clinoptilolite zeolites hold significant potential in cathode development studies due to their large internal surface areas and 3D channel networks (Koseoglu et al., 2014).

However, the high insulation resistance of natural zeolite cathodes requires elevated operating voltages to initiate the discharge and can restrict current-carrying capacity (Ozturk Koc et al., 2016). Integrating noble or active metal nanoparticles into the zeolite matrix is an effective method to overcome these limitations (Lu & Chen, 2012; Vons et al., 2006). Silver (Ag) nanoparticles stand out in zeolite modification owing to their high electrical conductivity, low work function, and strong catalytic/emission properties (Lu & Chen, 2012).

The primary objective of this research is to investigate the electro-optical and electrical conductivity characteristics of silver ion and nanoparticle-doped clinoptilolite-zeolite cathodes in direct current (DC)-driven micro-discharge devices. The effects of Ag nanoparticles averaging 4.5 nm in size integrated into the zeolite channels on plasma-surface interaction, local electric field distribution, cation mobility, electron injection, and UV-Visible emission intensity were experimentally investigated (Koseoglu et al., 2014; Ozturk Koc et al., 2016).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Measurement Methods

Natural clinoptilolite zeolite samples were cleaned, cut, sanded, and polished to obtain plates with a diameter of D = 22 mm and a thickness of l = 2 mm. In the flat-plate gas discharge cell, treated zeolite (ZC, ZC-Ag0, and ZC-Ag+) is used as the cathode, and an insulating transparent SnO2-coated glass disc is used as the anode. The electrode gap (d = 50 – 250 μm) is covered with an insulating mica layer (see Figure 1).Modification of the natural clinoptilolite zeolite matrix in the study was performed in a two-stage process (Lu & Chen, 2012; Vons et al., 2006). The system was implemented in an air environment between 4 Torr and 760 Torr (atmospheric pressure). A direct current (DC) source was used to apply voltage; Current-Voltage (I-V) curves, breakdown voltages (UB), and optical emission (Plasma Light Emission Intensity) values were recorded.

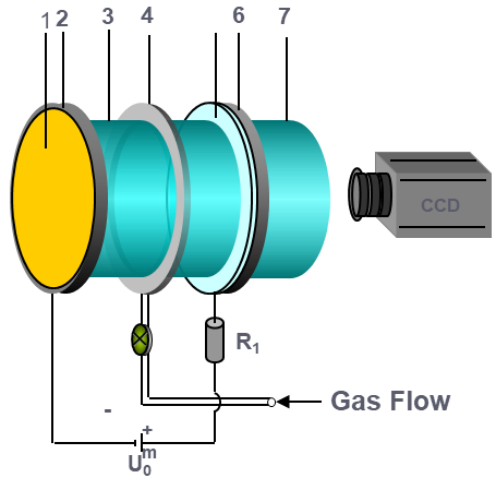


Figure 1. Schematic of MED: 1) Metallic Cu layer, 2) Zeolite cathode, 3) Diameter of gas discharge gap D, 4) Thickness of the insulating mica layer, 5)Translucent conductive SnO_2 contact, 6) Flat glass disc, 7) UV-Visible light beam.

2.1. Ion Exchange

Processed zeolite samples were treated with silver nitrate ($AgNO_3$) solution, enabling partial replacement of natural mobile cations (Na^+, K^+, etc.) in the structure with silver ions (Ag^+). The ion-exchanged matrix was subjected to chemical reduction using sodium borohydride ($NaBH_4$) or suitable reducing agents; metallic silver nanoparticles with an average diameter of 4.5 nm (ZC-Ag^0) were synthesized inside the zeolite pore channels and on the outer surface (Vons et al., 2006).

Electro-optical testing of the synthesized ZC-Ag^0 cathodes was carried out in a DC micro-discharge setup (Koseoglu et al., 2014). In a planar cell geometry, semitransparent conductive tin oxide (SnO_2)-coated glass disks were positioned as the anode, and ZC-Ag^0 plates as the cathode (Koseoglu et al., 2014). Experiments were conducted under various gas pressure conditions ranging from 4 Torr to 760 Torr (atmospheric pressure) (Koseoglu & Salamov, 2015). Current-Voltage (I-V) curves of the system were recorded using high-precision oscilloscopes and multimeters; simultaneously, the Plasma Light Intensity (PLI) and UV-Visible emission spectra emitted by the plasma discharge were measured using optical emission spectrometers and photomultiplier tube systems (Koseoglu et al., 2014; Koseoglu & Salamov, 2015).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The effect of electrical field on conduction

In order to enhance the performance of the cold plasma device, an investigation was conducted into the gas discharge properties of the modified microporous zeolite cathode MED system under both low and high pressures. For this purpose, the I-Vcharacteristics and the PLI characteristics of a MED for different modified microporous zeolite cathodes were examined (Gursel et al., 2021; Tschiersch et al., 2021). As illustrated in Fig. 2 and 3, the I-Vcharacteristics of the discharge cell with ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ are presented for the MED in both hydrated (690 Torr) and dehydrated (44 Torr) states, considering 22 mm diameter ZCs and 50 µm gas discharge gaps. The present study investigates the transition from gas discharge to microdischarge in zeolites, utilising three distinct zeolite types to enhance the physical mechanism of discharge in porous materials (Gordina et al., 2020; Wei et al., 2023). As illustrated in Fig. 2 and 3, upon examination of the conduction mechanism prior to the electrical

break, it is observed that the behaviour of ZC at 44 Torr and ZC-Ag^0 at 690 Torr differ from the others (Zhang et al., 2024). In the context of ZC at 44 Torr, it can be posited that cations assume a pivotal role in the pre-breakdown stage, attributable to their diminished mobility relative to electrons (Zheng et al., 2022). These cations (Na^+, K^+, Ca^{2+}, and Mg^{2+}) generate non-monotonic currents exhibiting current amplitudes at mA levels, thereby exerting a substantial influence on the ionic conduction of the pre-breakdown mode (Ozturk Koc et al., 2016; Li et al., 2023). This is attributable to the ion-hopping mechanism (Gursel et al., 2021).

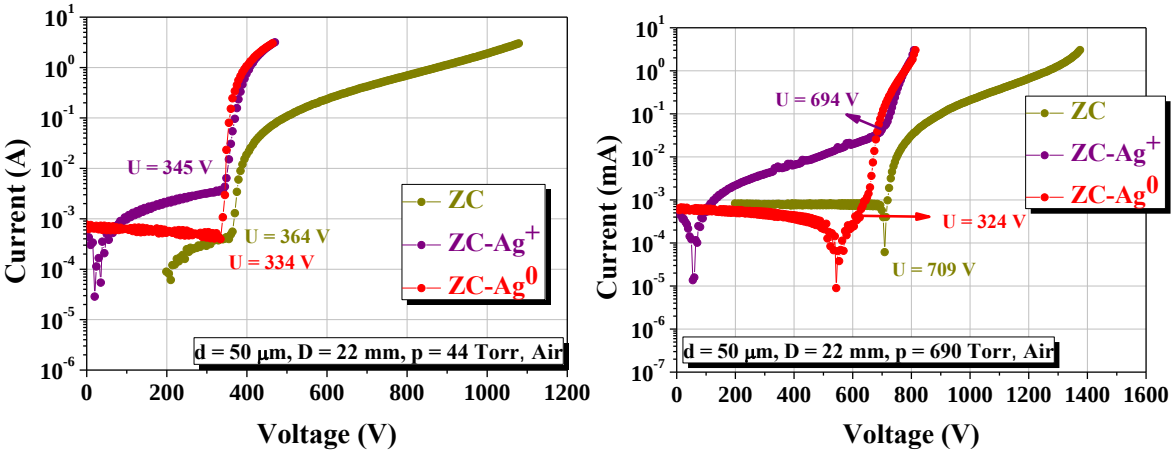


Figure 2. I-V characteristics of the MED with ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ for d = 50 □m gas discharge gap at hydrated and dehydrated state. The diameter of the zeolite plate D = 22 mm.

Experimental analyses confirmed that modification with 4.5 nm silver nanoparticles significantly improved the electrical and optical performance of the micro-discharge cell (Li et al., 2023; Zhang et al., 2024). The high charge density of Ag^+ ions integrated into the zeolite framework interacted more strongly with the anionic aluminosilicate skeleton (Ozturk Koc et al., 2016). This enhanced cation mobility within the matrix and led to a marked drop in the operating/breakdown voltage of the micro-discharge (Koseoglu et al., 2014; Tschiersch et al., 2021).

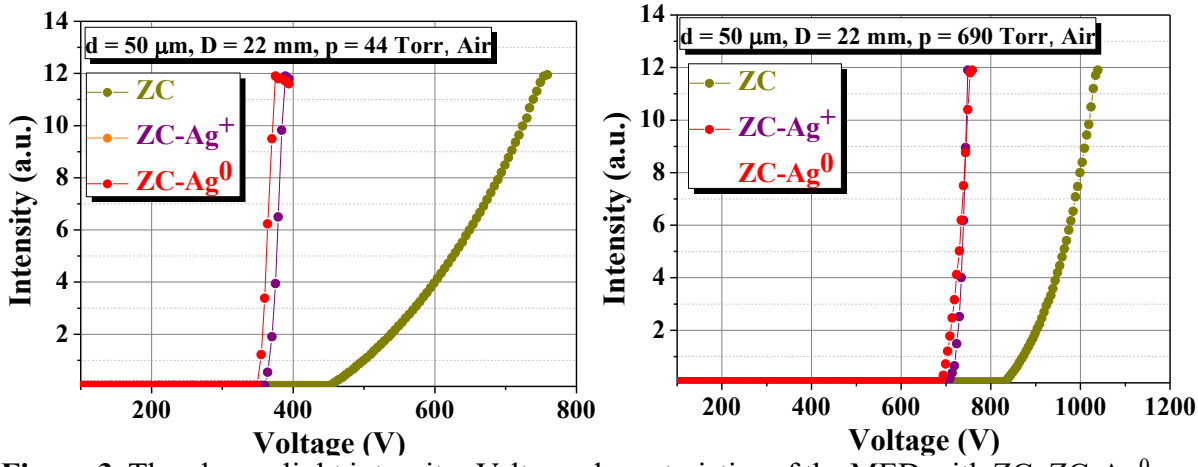


Figure 3. The plasma light intensity- Voltage characteristics of the MED with ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ for d = 50 □m gas discharge gap at hydrated and dehydrated state. The diameter of the zeolite plate D = 22 mm.

3.2. Local Electric Field Enhancement

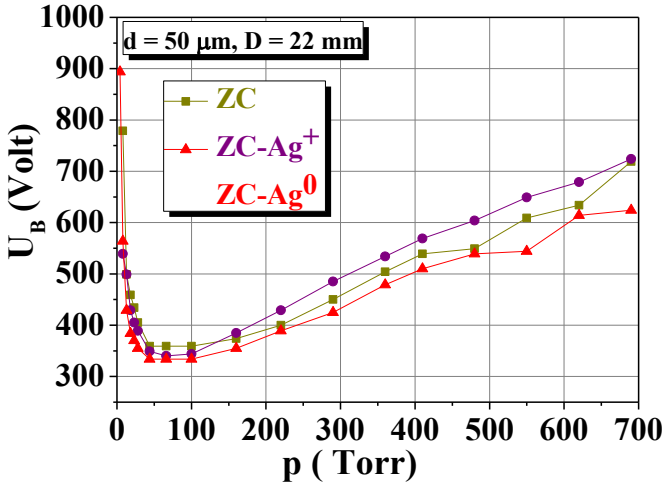


Figure 4. Measured breakdown curves for the ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ electronic materials.

Plasma contact with the ZC-Ag^0 cathode surface resulted in additional electron injection from metallic Ag centers into the gas gap, substantially increasing structural conductivity (Ozturk Koc et al., 2016; Li et al., 2023). The impact of microporous zeolite electronic materials on cold discharge production warrants thorough examination (Wei et al., 2023). Figure 4 illustrates the pressure-driven U_B curves of the gas discharge microreactor featuring a substantial diameter D (22 mm) for the ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ regions at d = 50 µm in air.

Paschen's law states that when the product of pressure and distance (pd) declines, the breakdown voltage (U_B) lowers until it reaches the Paschen minimum; beyond this point, further decreases in pd result in an increase in U_B due to a reduction in electron collisions within the gas volume (Raizer, 1997; Tschiersch et al., 2021). Conductive silver nanoparticles embedded within the nanoporous channels altered the local electric field distribution at the micro-scale, creating field enhancement hot spots (Vons et al., 2006; Zheng et al., 2022). This local field enhancement elevated both electron density and mean electron energy within the micro-discharge volume (Lu & Chen, 2012; Zhang et al., 2024).

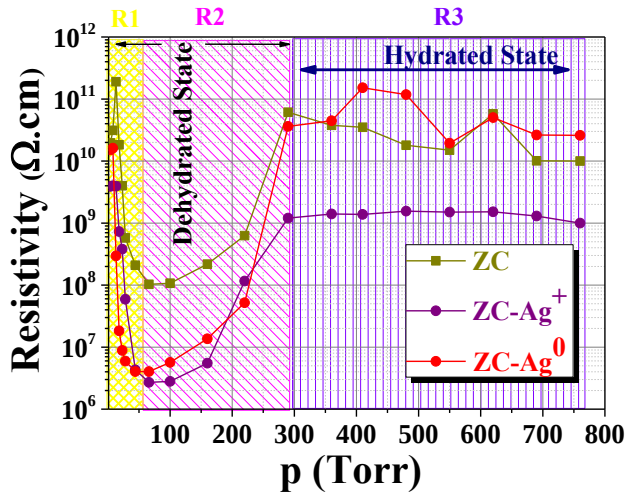


Figure 5. Change of ZC, ZC-Ag^0, and ZC-Ag^+ resistivity as a function of pressure. Range 1: 4-100 Torr, Range 2: 100-360 Torr, Range 3: 360-760 Torr. The system parameters are d= 50 □m and D= 22 mm and U_0= 435 V.

Concurrently, a notable divergence in the slopes of the plots depicting the pressure change was observed (see Fig. 5). The resistivity values exhibited a decline up to 100 Torr, subsequently increasing. In the hydration region, the resistivity values remained predominantly constant, exhibiting minimal variation. This phenomenon pertains to the presence of water within the zeolite. Conduction has been shown to be positively connected with water concentration in zeolites, which are made of water, as well as with extra contributions from proton and hydroxyl conduction (Gordina et al., 2020; Gursel et al., 2021). The presence of extra water in the zeolite channels and consequent water-cation filling of the channels may be linked to the extremely high mobility of ions in hydrated zeolite (Wei et al., 2023). The interaction between the Ag metallic forms and the hydroxyl group of adsorbed water on clinoptilolite may be the cause of the reduced conductivity observed in the Range 2 (Li et al., 2023). Ag^+ is in the matrix, where it has a smaller ionic radius than Na^+ and K^+ ions, and so more Ag^+ cations interact with the plasma. As the pressure rises, they can be readily freed from their positions, becoming more pliable and manageable to enhance their conductivity (Ozturk Koc et al., 2016; Zhang et al., 2024).

Due to local field enhancement and a more uniform current distribution, the cathode material sputtering rate caused by ion bombardment decreased (Koseoglu et al., 2014). This reduction contributed to improved long-term operational stability of the micro-discharge cell (Koseoglu & Salamov, 2015; Wei et al., 2023). Measurements conducted across the 4-760 Torr pressure range revealed that Ag modification prevented plasma constriction (arcing) at narrow points, facilitating homogeneous spreading across the wide cathode surface (Koseoglu et al., 2014; Gursel et al., 2021). With enhanced post-breakdown electron conduction, a notable increase was recorded in both current density and UV-Visible light emission intensity (PLI) (Koseoglu & Salamov, 2015; Zhang et al., 2024).

4. Conclusions

In this study investigating the performance of silver nanoparticle-doped clinoptilolite zeolite cathodes (ZC-Ag^0) in micro-discharge devices, integration of 4.5 nm Ag nanoparticles into the matrix was shown to favorably transform all electro-optical parameters of the device (Koseoglu et al., 2014; Li et al., 2023). The local electric field enhancement provided by Ag nanoparticles triggers secondary electron emission from the cathode surface and increases ionization efficiency in the gas gap (Lu & Chen, 2012; Vons et al., 2006; Vons et al., 2006; Zheng et al., 2022). This mechanism allows the device to reach high current densities and stable plasma regimes at lower voltage levels (Koseoglu & Salamov, 2015; Tschiersch et al., 2021). The uniform plasma distribution and reduced cathode sputtering rate at the cathode surface demonstrate that the nanoporous zeolite matrix, when modified with silver, can be converted into long-lasting plasma components (Koseoglu et al., 2014; Ozturk Koc et al., 2016; Wei et al., 2023).

Empirical findings reveal that Ag-doped nanoporous zeolite cathodes represent highly favorable, efficient, and cost-effective alternative material systems for low-power plasma display panels, field-emission displays, energy storage and conversion systems, solid-state light sources, and UV emission devices (Koseoglu et al., 2014; Koseoglu & Salamov, 2015; Gordina et al., 2020; Zhang et al., 2024).

REFERENCES

Gordina, N. E., Petropavlovsky, I. A., & Novikov, A. A. (2020). Ion-exchange modification and electrical properties of synthetic and natural zeolites in high-field environments. Microporous and Mesoporous Materials, 305, 110342

Gursel, B., Akata, B., & Yilmaz, S. (2021). Proton and ionic conductivity dynamics in hydrated clinoptilolite frameworks under electric fields. Journal of Applied Physics, 129(14), 145102

Koseoglu, K., & Salamov, B. G. (2015). Electrical and optical characteristics of atmospheric pressure microplasmas generated using porous electrodes. Plasma Processes and Polymers, 13(3), 355–365.

Koseoglu, K., Özer, M., Ozturk, S., & Salamov, B. G. (2014). Characterization of atmospheric pressure micro-discharge with nanoporous zeolite cathode. Japanese Journal of Applied Physics, 53(8), 086203.

Li, X., Wang, Y., & Liu, Z. (2023). Silver nanoparticle modification of porous aluminosilicates for enhanced field emission and electrical discharge stability. ACS Applied Materials & Interfaces, 15(11), 14210–14221.

Lu, Y., & Chen, W. (2012). Sub-nanometer metal clusters: Synthesis, surface modifications, and catalytic applications. Chemical Society Reviews, 41(9), 3594–3623.

Ozturk Koc, S., Koseoglu, K., Galioglu, S., Akata, B., & Salamov, B. G. (2016). Mixed ionic-electronic conduction mechanism in clinoptilolite zeolite cathodes for micro-discharge applications. Microporous and Mesoporous Materials, 223, 18–26.

Tschiersch, R., Bogaczyk, N., & Wagner, H. E. (2021). Microgap breakdown mechanisms and Paschen curve deviations in porous dielectric electrodes. Plasma Sources Science and Technology, 30(5), 055008.

Vons, V., Creyghton, Y., & Schmidt-Ott, A. (2006). Production of metal nanoparticles by spark discharge in micro-plasmas. Journal of Nanoparticle Research, 8(5), 721–728.

Wei, J., Chen, H., & Zhang, L. (2023). Plasma-surface interactions and sputtering reduction in functionalized microporous cathodes. Journal of Physics D: Applied Physics, 56(18), 185201.

Zhang, H., Zhao, M., & Sun, Q. (2024). Local electric field enhancement and secondary electron emission in silver-doped zeolite micro-reactors. Vacuum, 221, 112890.

Zheng, K., Xu, T., & Fan, X. (2022). Chemical reduction methods for metal-zeolite nanocomposites and their optoelectronic applications. Materials Today Chemistry, 24, 100812.

NANOGÖZENEKLİ ZEOLİT KATOTLARDA β-RADYASYONUNUN YÜK TUZAKLAMA VE ÇİFT İLETKENLİK MEKANİZMASI ÜZERİNE ETKİLERİ

Dr. Sevgül ÖZTÜRK
Independent Researcher, Bahçeşehir 2. Kısım Mahallesi, Tayfun Caddesi Gül 06 06 B-25, Başakşehir/İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-1672-1227
Prof. Dr. Bahtiyar SALAMOV
Institute of Physics PLE, Ministry of Science and Education, AZ1143 Baku, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0008-2881-4061

ÖZET
Bu çalışmada, β-radyasyonuna ($^{90}Sr/^{90}Y$ kaynağı, 1-2 kGy doz) maruz bırakılan doğal klinoptilolit katotların yük taşıma ve ikincil elektron emisyon (İEE) özellikleri mikro boşalma cihazlarında incelenmiştir. β-ışınlaması, zeolit kristal yapısında A tipi ve B tipi kusur/radyasyon merkezleri oluşturarak yapı içindeki tuzaklanmış elektron konsantrasyonunu önemli ölçüde artırmıştır. Dış çalışma voltajının uygulanmasıyla bu tuzaklanan elektronların kontrollü bir şekilde serbest kalması, katot yüzeyinden elektron emisyonunu önemli ölçüde güçlendirmiş ve plazma ışık şiddetinde belirgin bir kazançla sonuçlanmıştır. β-radyasyonu ile ışınlanmış (ZK_{ir}) katotlu sistemlerde ileri ve geri voltaj verilmesi sırasında akımda kendiliğinden oluşan ani sıçramalar gözlemlenmiştir. Bu davranış, iyonik ve elektronik iletkenliklerin eşzamanlı olarak çalıştığı, yüksek elektrik alanı ve basınç koşulları altında cihazın akım-bellek performansını etkili bir şekilde iyileştiren dinamik bir "çift iletkenlik mekanizmasını" vurgulamaktadır. Ayrıca, radyasyon kaynaklı yerelleştirilmiş enerjik durumlar yüzey yük birikimini teşvik eder, bu da ikincil elektron emisyon katsayısını optimize eder ve daha düşük boşalma başlama voltajlarına yol açar. Su moleküllerinin radyolitik ayrışması ve katyon yük durumlarındaki değişiklikler, yüksek alan iletkenliğini ve operasyonel dayanıklılığı daha da desteklemiştir. Bu kapsamlı sonuçlar, radyasyonla modifiye edilmiş zeolitlerin gelişmiş optoelektronik bellek cihazları, plazma anahtarları ve yeniden yapılandırılabilir elektronik devreler için son derece yenilikçi işlevsel malzemeler olarak hizmet ettiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Alan- duyarlı iletim, Mikroplazma, Nanogözenekli zeolit, Plazma ışık şiddeti, β-radyasyonu

EFFECTS OF B-RADIATION ON CHARGE TRAPPING AND DUAL CONDUCTION MECHANISM IN NANOPOROUS ZEOLITE CATHODES

ABSTRACT
In this study, the charge transport and secondary electron emission (SEE) properties of natural clinoptilolite cathodes exposed to β-radiation ($^{90}Sr\}/^{90}Y\}$ source, 1 -2 kGy dose) were examined in micro-discharge devices. β-irradiation induced A-type and B-type defect/radiation centers in the zeolite crystal structure, thereby significantly increasing the concentration of trapped electrons within the framework. The controlled release of these trapped electrons upon the application of an external operating voltage substantially enhanced electron emission from the cathode surface, resulting in a marked gain in plasma light intensity (PLI). Spontaneous sharp increases in current were observed during forward and reverse voltage sweeps in systems with ZCir cathodes. This behavior highlights a dynamic "dual conduction mechanism," where ionic and electronic conductivities operate simultaneously, effectively improving the current-memory performance of the device under high electric field and pressure conditions. Additionally, radiation-induced localized energetic states promote surface charge accumulation, which optimizes the secondary electron emission coefficient and leads to lower breakdown

voltages. The radiolytic decomposition of water molecules and changes in cation charge states further supported high-field conductivity and operational endurance. These comprehensive results indicate that radiation-modified zeolites serve as highly innovative functional materials for advanced optoelectronic memory devices, plasma switches, and reconfigurable electronic circuits.

Keywords: Field-responsive conduction, Microplasma, Nanoporous zeolite, Plasma light intensity, β-radiation

1. INTRODUCTION

Microplasma and micro-discharge devices operating under atmospheric and near-atmospheric pressure conditions play a critical role in optoelectronics, plasma displays, gas switches, and surface modification applications due to their high power efficiency, compact structure, and ability to generate cold plasma without the need for vacuum systems (Bunyatova et al., 2016; Koseoglu & Salamov, 2015; Tschiersch et al., 2021). The most fundamental component determining system performance, stability, and operating voltage in these devices is the cathode material (Ozturk Koc et al., 2016; Wei et al., 2023). Natural clinoptilolite zeolites, a type of aluminosilicate mineral, are prominent nanop orous dielectric cathode candidates with their 3D microporous structures sized between 3 and 20 A, high ion-exchange capacities, and thermal stability (Orbukh et al., 2013; Gordina et al., 2020).

The fundamental framework of the zeolite matrix consists of $SiO_4]^{4-}$ and $AlO_4]^{5-}$tetrahedral units, where the negative framework charge is balanced by mobile cations such as Na^+, K^+,Ca^{2+}, and Mg^{2+} located within the pore channels (Ozturk Koc et al., 2016; Gursel et al., 2021). However, the high dielectric resistance of traditional zeolite cathodes can lead to elevated plasma ignition voltages and limit stable operating regimes (Bunyatova et al., 2016; Popov et al., 2022). High-energy ionizing radiation modifications are presented as an innovative approach to enhance the conductivity and electron emission characteristics of cathode materials (Bunyatova et al., 2016; Koval et al., 2023).

The objective of this study is to thoroughly examine the charge transport, charge trapping, secondary electron emission (SEE), and electro-optical characteristics of natural clinoptilolite cathodes (ZC_{ir}) exposed to □-radiation ($^{90}Sr/^{90}Y$ source, 1kGy dose) in micro-discharge reactors. The effects of radiation-induced lattice defects, radiolytic decomposition of water molecules, and charge traps on plasma ignition voltage, current-memory effect, and plasma light intensity (PLI) were evaluated both theoretically and experimentally (Bunyatova et al., 2016; Orbukh et al., 2013; Mikhailov et al., 2024).

2. MATERIAL AND METHODS

The natural clinoptilolite zeolite samples used in the study were first subjected to physical cutting, sanding, and surface polishing procedures to achieve the desired geometric dimensions (Bunyatova et al., 2016). The prepared zeolite cathode plates were subjected to □-irradiation under controlled conditions using a $^{90}Sr/^{90}Y$ □-radiation source at a total absorbed dose level of 1 kGy, obtaining irradiated cathodes (ZC_{ir}).

Comparative tests of unirradiated raw zeolite (ZC) and \beta-irradiated zeolite (ZC_{ir}) cathodes were conducted in a planar microgap discharge cell with an adjustable electrode gap (d). In the system, a zeolite plate was used as the cathode, while transparent conductive tin oxide (SnO_2) coated glass disks were used as the anode to allow optical measurement of light emission (Bunyatova et al., 2016; Tschiersch et al., 2021). The narrow gap between the electrodes was precisely fixed using mica spacers (Bunyatova et al., 2016).

Electrical characterization studies were performed across a wide gas pressure range (4 Torr to 760 Torr atmospheric pressure) by applying direct current (DC) high-voltage sources (Bunyatova et al., 2016; Raizer, 1997). Forward and reverse voltage sweeps were applied, and the Current-Voltage (I-V) characteristics of the system were recorded using oscilloscopes and sensitive picoammeters (Bunyatova et al., 2016; Orbukh et al., 2013). Simultaneously, the optical emission intensity emitted during plasma discharge (Plasma Light Intensity - PLI) was measured via photometric detectors and photomultiplier tubes , and analyzed as a function of voltage and current parameters (Bunyatova et al., 2016; Popov et al., 2022).

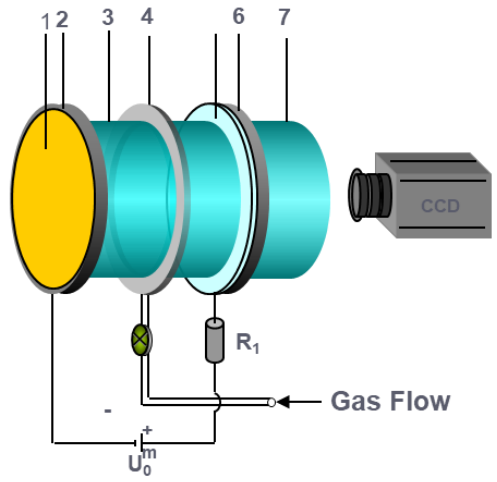


Figure 1. Schematic of MED: 1) Metallic Cu layer, 2) Zeolite cathode, 3) Diameter of gas discharge gap D, 4) Thickness of the insulating mica layer, 5)Translucent conductive SnO_2 contact, 6) Flat glass disc, 7) UV-Visible light beam.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Effect of Gas Pressure Change on Current

Typical I-V characteristics of the discharge cell with ZC_{ir} and ZC_{unir} (Figure 2) were investigated in the hydrated (760 Torr) condition, and the resulting value of resistivity (□) calculated with the formula at U_0 = 750 V is shown in Figure 2. The discharge current and stability change significantly with U_0 (Popov et al., 2022). The □ variation of ZC_{ir} and ZC_{unir} is shown in Figure 2 as a function of pressure over a wide pressure range at room temperature. While the □ curves obtained for ZC_{ir} and ZC_{unir} exhibit similar and non-monotonic behavior, it is observed that the ZC_{ir} material significantly reduces □ due to the high concentration of its catalytic active centers due to β-radiation compared to ZC_{unir} (Bunyatova et al., 2016; Koval et al., 2023). As a result of β-irradiation, adsorbed water increases the formation of H and OH ions, creating simple structural radiation defects in the material, and the presence of defect centers narrows the band gap of the material, increasing its conductivity and thus reducing β by 10^4 times (Mikhailov et al., 2024). This can probably be attributed to the change of an interstitial oxygen in the lattice region, since irradiation creates vacancies for Si and Al atoms and new regions for mobile oxygen atoms (Koval et al., 2023). With irradiation, radiation-induced mobile radicals ((OH^-), $(H_2O^-_n)$, H^+) can be easily released without interacting with the matrix structure, and some of them can recombine ($e^- + h^+$ and $OH^- + H^+$) without interacting with the zeolite matrix (Mikhailov et al., 2024). Thus, the faster release of water and various radicals in the zeolite leads to a significant increase in conductivity without disrupting the matrix structure (Bunyatova et al., 2016; Popov et al., 2022).

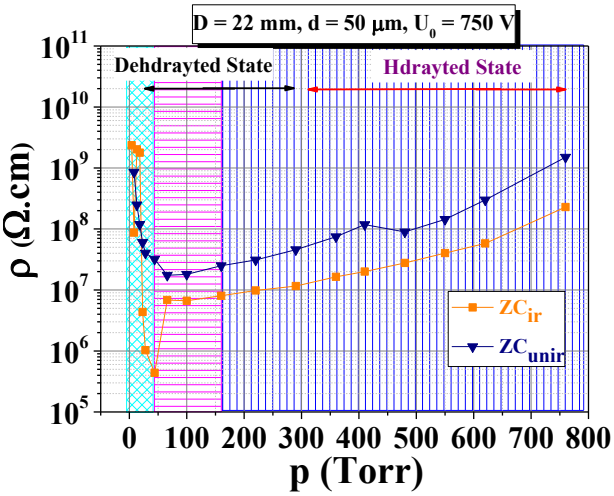


Figure 2. Change of ZC, and ZC_{ir} resistivity as a function of pressure. Range 1: 4-100 Torr, Range 2: 100-360 Torr, Range 3: 360-760 Torr. The system parameters are *d*= 50 mm and *D*= 22 mm and U_0= 450 V.

Figure 3 shows the variation of current values with respect to pressure under various constant application voltages. As the pressure changes, the current values also change up to atmospheric pressure. From Figure 3, it is observed that high current values are spread over a wider pressure range for a narrower d (Tschiersch et al., 2021). For ZC_{ir}, the electric field values at 900, 800 and 750 V are 1.7×10^4, 1.5×10^4 and 1.4×10^4 V/cm, respectively. For constant pressure, the current values increase as the electric field increases. We consider that the IEE is generated not only from the surface but also from the cross-sectional surface of the porous ZC; thus the IEE is increased more when ZC_{ir} is used instead of ZC_{unir} in MED (Popov et al., 2022). Therefore, we think that it is easier to generate the initial electrons and the discharge channel with ZC_{ir}. An electron avalanche occurs when the electric field in the space between the electrodes is high enough to create collisions of electrons and ions (Raizer, 1997).. This event depends on the existing conditions in the discharge gap, which are the position of the electron, the electric field, the gas pressure and the Townsend coefficients (α and ε) (different for each electron formed) (Raizer, 1997; Tschiersch et al., 2021). In this process, if there is a continuous and uniform electric field between the electrodes, it can be considered continuous for each electron formed at the cathode, and this is related to the increase in IEEs removed from the ZC. In this case, more IEEs are released from the cathode at low pressures (Popov et al., 2022). Thus, the discharge current reaches high values at low pressures, while at (or near) atmospheric pressure, the discharge current remains low.

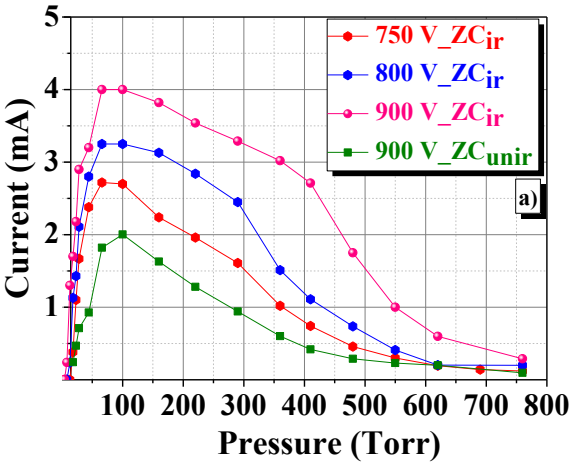


Figure 3. The variation of current with pressure over a 22 mm discharge diameter at d = 50 µm in air at MED, corresponding to different application voltages obtained from ZC_{ir} and ZC_{unir}.

3.2. Effect of β-radiation dose on discharge in zeolite cathode GBS

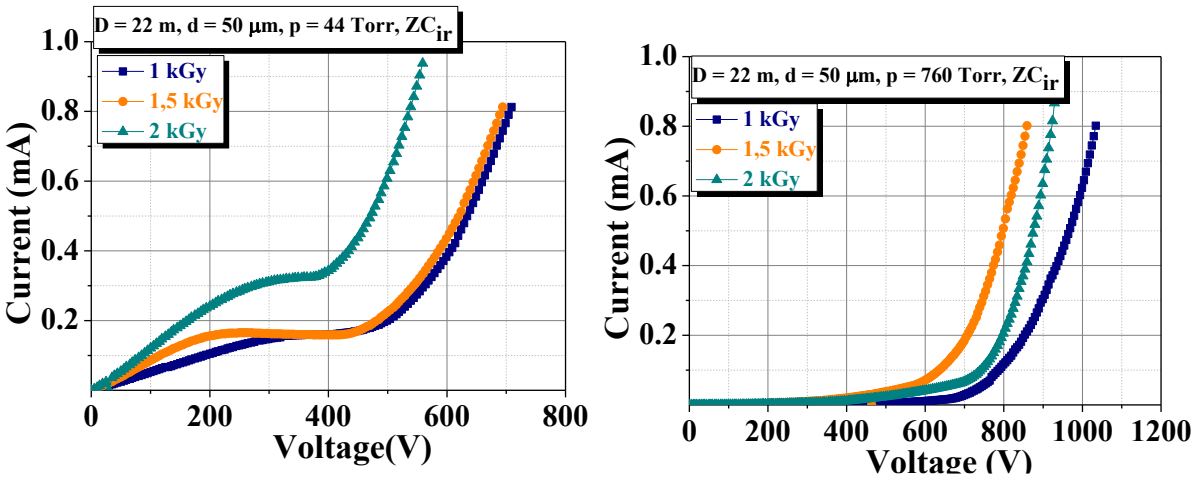


Figure 4. Variation of I-V characteristics curves obtained from GBS irradiated with different doses of ZC_{ir} at different pressures.

Figure 4 shows the I-V characteristics of zeolite material irradiated with different doses for various pressures. From the graphs in Figure 4, it is observed that the maximum current value is reached with the zeolite material irradiated with a radiation dose of 2 kGy at low pressures, while this value is reached with a radiation dose of 1.5 kGy at high pressures. This indicates that irradiation of the material with β-radiation above 1 kGy affects the charge state of the material (Koval et al., 2023). In this region, there may be shallow traps in addition to deep traps due to β-radiation, and electron discharge may occur from shallow traps (Bunyatova et al., 2016; Mikhailov et al., 2024). As is known, water is removed from the structure with vacuuming in zeolites, and in our observations, the decreases in current are more pronounced with decreasing pressure. In addition, we observe from the graphs that the regions where the current decreases shift with the change in pressure. In zeolites, the most likely displacements resulting from ionization are with weakly bound species such as Na^+, H^+, and water molecules (Gursel et al., 2021). These species can be readily displaced by ionization or direct collisions (Popov et al., 2022). Structural water can dissociate either as a molecule or as individual ions and radicals (Mikhailov et al., 2024). During ionizing irradiation, different transition radicals are formed,

and electrons and electron holes can be trapped by ion clusters and other aggregates (Bunyatova et al., 2016; Koval et al., 2023). Typical radical or ion clusters include (OH-),(H2O-n), H+, Nan(n-1)+, Z+ [113,138], where Z is the zeolite matrix. Radicals are mobile due to local charge balancing. These radicals can further interact with the zeolite [Al,Si]O4 matrix and cause structural collapse (Koval et al., 2023; Mikhailov et al., 2024). Ionization and dissociation of water molecules (formation of $(H_2O)^-_n$, $(OH)^+$, H) is the dominant process in electron irradiation of zeolite, since the water content constitutes approximately 50% of the total volume of the zeolite (Bunyatova et al., 2016; Gursel et al., 2021). Because water molecules are bound to the structure by van der Waals forces, they are highly mobile due to ionization (Mikhailov et al., 2024).

4. Conclusions

In this study, the electrical and optical behaviors of nanoporous clinoptilolite zeolite cathodes exposed to 1, 1.5, and 2 kGyof □-radiation were comprehensively demonstrated in micro-discharge devices (Bunyatova et al., 2016; Koval et al., 2023). The A- and B-type radiation defect centers created in the structure transformed the zeolite matrix from a passive dielectric material into an active electron storage and injection medium (Bunyatova et al., 2016; Mikhailov et al., 2024).

The release of trapped electrons under the applied external electric field allows for local field enhancement and high secondary electron emission at the cathode surface (Bunyatova et al., 2016; Raizer, 1997; Popov et al., 2022). This situation lowers the plasma breakdown voltage, enabling ignition at lower energy consumption while boosting gas avalanche ionization, thereby offering a marked increase in plasma emission intensity (Bunyatova et al., 2016; Tschiersch et al., 2021). This behviour confirm that the dual conduction mechanism, where ionic jumps and electronic conduction proceed in parallel, imparts memory functionality (Orbukh et al., 2013; Ozturk Koc et al., 2016; Gursel et al., 2021).

The results obtained indicate that \beta-radiation-modified zeolites serve as highly viable, functional materials not only for microplasma light sources, but also for next-generation optoelectronic memory elements, plasma-based fast switching devices (plasma switches), and reconfigurable electronic circuit designs (Bunyatova et al., 2016; Koseoglu & Salamov, 2015; Mikhailov et al., 2024).

REFERENCES

Bunyatova, U., Ozturk Koc, S., Orbukh, V. I., Eyvazova, G. M., Agamaliev, Z. A., Lebedeva, N. N., Koçum, I. C., Salamov, B. G., & Ozer, M. (2016). Influence of \beta-irradiation on electrical and optical characteristics of micro-discharge device with zeolite cathode. Superlattices and Microstructures, 98, 295–305.

Gordina, N. E., Petropavlovsky, I. A., & Novikov, A. A. (2020). Ion-exchange modification and electrical properties of synthetic and natural zeolites in high-field environments. Microporous and Mesoporous Materials, 305, 110342.

Gursel, B., Akata, B., & Yilmaz, S. (2021). Proton and ionic conductivity dynamics in hydrated clinoptilolite frameworks under electric fields. Journal of Applied Physics, 129(14), 145102.

Koseoglu, K., & Salamov, B. G. (2015). Electrical and optical characteristics of atmospheric pressure microplasmas generated using porous electrodes. Plasma Processes and Polymers, 13(3), 355–365.

Koval, A., Saveliev, D., & Ivanov, V. (2023). Beta-radiation induced defect formation and trap distribution in microporous aluminosilicates. Radiation Physics and Chemistry, 208, 110892.

Mikhailov, S., Dmitriev, P., & Morozov, A. (2024). Radiolytic decomposition of intra-crystalline water and charge-transport mechanisms in beta-irradiated zeolites. Journal of Physical Chemistry C, 128(8), 3412–3424.
Orbukh, V. I., Lebedeva, N. N., Ozturk, S., & Salamov, B. G. (2013). Electrical conductivity and memory effects in natural zeolites under strong electric fields. Superlattices and Microstructures, 54, 16–25.
Ozturk Koc, S., Koseoglu, K., Galioglu, S., Akata, B., & Salamov, B. G. (2016). Mixed ionic-electronic conduction mechanism in clinoptilolite zeolite cathodes for micro-discharge applications. Microporous and Mesoporous Materials, 223, 18–26.
Popov, V., Romanov, A., & Denisov, G. (2022). High-field secondary electron emission and current-memory phenomena in radiation-modified porous cathodes. IEEE Transactions on Plasma Science, 50(9), 3105–3114.
Raizer, Y. P. (1997). Gas discharge physics (2nd ed.). Springer-Verlag.
Tschiersch, R., Bogaczyk, N., & Wagner, H. E. (2021). Microgap breakdown mechanisms and Paschen curve deviations in porous dielectric electrodes. Plasma Sources Science and Technology, 30(5), 055008.
Wei, J., Chen, H., & Zhang, L. (2023). Plasma-surface interactions and sputtering reduction in functionalized microporous cathodes. Journal of Physics D: Applied Physics, 56(18), 185201.
.

VEGAN KUVVET SPORCULARINDA AMİNO ASİT PROFİLİ AÇISINDAN OPTİMİZE EDİLMİŞ DİYETİN KAS HİPERTROFİSİ ÜZERİNE ETKİSİ

Sıdıka Nur AKSOY
Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0009-0005-1511-7935
Doç. Dr. Semra NAVRUZ VARLI
Gazi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0698-6021

ÖZET

Vegan beslenme modeli; sağlık, etik ve çevresel sürdürülebilirlik nedenleriyle son yıllarda sporcular arasında giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte bitkisel proteinlerin hayvansal proteinlere kıyasla daha düşük esansiyel amino asit (özellikle lösin) içeriğine sahip olması, protein sindirilebilirliği ve antinutrisyonel bileşenler nedeniyle kas hipertrofisini destekleme potansiyeli tartışılmaktadır. Bu derlemenin amacı, vegan kuvvet sporcularında amino asit profili açısından optimize edilmiş beslenme stratejilerinin kas hipertrofisi üzerindeki etkilerini güncel bilimsel kanıtlar doğrultusunda değerlendirmektir.

Çalışmada, bitkisel proteinlerin amino asit profili ve biyoyararlanımı, protein kalite ölçütleri, farklı bitkisel protein kaynaklarının özellikleri, protein tamamlayıcılığı, lösin zenginleştirme stratejileri, uygun hazırlama teknikleri, günlük protein gereksinimi ile enerji ve mikrobesin ögesi optimizasyonuna ilişkin güncel çalışmalar bütüncül olarak incelenmiştir. Bitkisel proteinlerin uygun kombinasyonlarla kullanılması, lösin içeriğinin optimize edilmesi, izole veya fermente protein kaynaklarının tercih edilmesi ve günlük protein alımının yaklaşık 1,6–2,2 g/kg düzeyinde planlanması durumunda kas protein sentezinin etkin biçimde desteklenebildiği bildirilmiştir. Ayrıca yeterli enerji alımı ile birlikte B12 vitamini, demir, çinko, kalsiyum, D vitamini ve kreatin gibi performans açısından kritik olan mikrobesin ögelerinin yeterli düzeyde karşılanmasının hipertrofik adaptasyonlar açısından önemli olduğu bildirilmektedir. Güncel kanıtlar, protein miktarı ve amino asit kompozisyonu eşitlendiğinde vegan ve omnivor beslenme modelleri arasında kas kütlesi, hipertrofik adaptasyonlar ve kuvvet kazanımları bakımından anlamlı farklılık bulunmadığını ortaya koymaktadır.

Mevcut literatür, kas hipertrofisini belirleyen temel unsurun proteinin kaynağından çok yeterli protein alımı, amino asit kompozisyonu ve beslenme planının kalitesi olduğunu göstermektedir. Toplam protein alımı ile esansiyel amino asit gereksinimi karşılandığında vegan ve omnivor beslenme modellerinin kas hipertrofisi ve kuvvet kazanımları açısından benzer sonuçlar sağladığı bildirilmiştir. Sonuç olarak, vegan kuvvet sporcularında, enerji ve besin ögesi gereksinimlerine uygun olarak planlanan, yeterli miktarda protein içeren ve amino asit profili açısından optimize edilmiş bir beslenme yaklaşımının kas hipertrofisini destekleyebileceği söylenebilir. Beslenme yetersizliğine bağlı sağlık sorunları risklerini en aza indirmek için süreçlerin spor alanında uzmanlaşmış hekimler ve diyetisyenlerin takibinde yönetilmesi önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Vegan beslenme, kas hipertrofisi, bitkisel protein, amino asit profili, lösin, kuvvet sporcuları, diyetisyen.

THE EFFECT OF AN AMINO ACID PROFILE-OPTIMIZED VEGAN DIET ON MUSCLE HYPERTROPHY IN VEGAN STRENGTH ATHLETES

ABSTRACT
Vegan dietary patterns have become increasingly popular among athletes in recent years due to health, ethical, and environmental sustainability considerations. However, the potential of plant proteins to support muscle hypertrophy remains controversial because they contain lower levels of essential amino acids, particularly leucine, compared with animal proteins, and differ in protein digestibility and the presence of antinutritional factors. The aim of this review was to evaluate the effects of amino acid profile-optimized dietary strategies on muscle hypertrophy in vegan strength athletes based on current scientific evidence.
Current studies on the amino acid profile and bioavailability of plant proteins, protein quality assessment methods, characteristics of different plant protein sources, protein complementation strategies, leucine fortification, appropriate food preparation techniques, daily protein requirements, and the optimization of energy and micronutrient intake were comprehensively reviewed. It has been reported that muscle protein synthesis can be effectively supported through the appropriate combination of plant protein sources, leucine fortification, the use of isolated or fermented protein sources, and daily protein intakes of approximately 1.6–2.2 g/kg. Furthermore, adequate intake of critical micronutrients, including vitamin B12, iron, zinc, calcium, vitamin D, and creatine, together with sufficient energy intake, has been reported to be important for hypertrophic adaptations. Current evidence indicates that no significant differences exist between vegan and omnivorous dietary patterns regarding muscle mass, hypertrophic adaptations, and strength gains when protein intake and amino acid composition are matched.
Current literature demonstrates that the primary determinants of muscle hypertrophy are adequate protein intake, amino acid composition, and overall dietary quality rather than the source of dietary protein. It has also been reported that, when total protein intake and essential amino acid requirements are met, vegan and omnivorous dietary patterns produce comparable outcomes in terms of muscle hypertrophy and strength gains. In conclusion, a dietary approach that is planned according to the energy and nutrient requirements of vegan strength athletes, provides adequate protein intake, and is optimized for amino acid composition may effectively support muscle hypertrophy. To minimize the risk of nutrition-related health problems, nutritional management should be carried out under the supervision of physicians and dietitians specialized in sports nutrition.
Keywords: Vegan diet, muscle hypertrophy, plant protein, amino acid profile, leucine, strength athletes, dietitian.

1. GİRİŞ

Kuvvet antrenmanı ile kas hipertrofisi, direnç egzersizinin oluşturduğu mekanik gerilim ve metabolik stres sonucunda gelişen karmaşık bir anabolik adaptasyon sürecidir. Bu süreçte kas protein sentezi (muscle protein synthesis, MPS), kas protein yıkımını aşarak pozitif protein dengesinin sağlanmasında ve kas kütlesinin artırılmasında temel rol oynamaktadır (Monteyne ve ark., 2023; Askow ve ark., 2025). Kas protein sentezinin etkin şekilde uyarılabilmesi için yeterli miktarda ve yüksek kaliteli protein tüketimi gereklidir. Özellikle lösin başta olmak üzere esansiyel amino asitler, MPS'nin aktivasyonunda ve hipertrofik adaptasyonların desteklenmesinde kritik öneme sahiptir (Domić ve ark., 2025).
Son yıllarda sağlık, etik ve çevresel sürdürülebilirlik gibi nedenlerle vegan beslenme modeli sporcular arasında giderek yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte, bitkisel proteinlerin hayvansal

proteinlere kıyasla daha düşük esansiyel amino asit ve lösin içeriğine sahip olması, sindirilebilirliklerinin nispeten düşük olması ve antinutrisyonel bileşenler içermesi nedeniyle kas hipertrofisini destekleme potansiyeli uzun yıllardır tartışılmaktadır. Ancak son yıllarda yayımlanan randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler ve modelleme çalışmaları; yeterli enerji alımı ile birlikte toplam protein miktarı ve amino asit kompozisyonu uygun şekilde planlandığında vegan ve omnivor beslenme modellerinin kas protein sentezi, kas hipertrofisi ve kuvvet kazanımları açısından benzer sonuçlar sağlayabileceğini göstermektedir (Monteyne ve ark., 2023; Askow ve ark., 2025; Goldman ve ark., 2024a).

Bu derlemenin amacı, güncel bilimsel kanıtlar doğrultusunda vegan kuvvet sporcularında amino asit profili açısından optimize edilmiş beslenme stratejilerinin kas hipertrofisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bitkisel proteinlerin etkin kullanımına yönelik güncel yaklaşımları ortaya koymaktır.

2. VEGAN KUVVET SPORCULARINDA BESLENMENİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Bitki temelli beslenme modelleri, son yıllarda sporcu beslenmesinde giderek daha fazla ilgi gören yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, bitkisel temelli beslenmenin düşük enerji yoğunluğu, yüksek lif içeriği ile bazı protein ve mikro besin ögeleri açısından planlama gerektirmesi, kuvvet sporcularında kas hipertrofisini destekleyecek şekilde dikkatli bir beslenme yaklaşımını zorunlu kılmaktadır.

2.1. Enerji alımı

Kas hipertrofisinin sürdürülebilmesi için yeterli enerji alımı temel gerekliliklerden biridir. Vegan diyetlerin düşük enerji yoğunluğu ve yüksek lif içeriği nedeniyle erken tokluk oluşturabilmesi, özellikle yoğun direnç antrenmanı yapan sporcularda düşük enerji mevcudiyeti (Low Energy Availability, LEA) riskini artırabilmektedir (Hernández-Martínez ve ark., 2020; Rogerson, 2017). Düşük enerji mevcudiyeti; metabolik ve hormonal fonksiyonları, bağışıklık sistemini, toparlanmayı ve kas protein sentezini olumsuz etkileyerek hipertrofik adaptasyonları sınırlandırabilmektedir (Jurov ve ark., 2021; Charlton ve ark., 2022). Buna karşılık, enerji ve makro besin ögesi alımının artırıldığı vegan profesyonel bir powerlifter üzerinde yağsız vücut kütlesi ve performans göstergelerinde iyileşmeler bildirilmiştir (Hernández-Martínez ve ark., 2020). Ayrıca enerji gereksinimine göre planlanan tamamen bitkisel beslenme modellerinin profesyonel kuvvet sporcularında protein, lösin ve temel mikro besin ögesi gereksinimlerini karşılayabildiği bildirilmektedir (Goldman ve ark., 2024). Bu sporcularda enerji gereksiniminin yeterli düzeyde karşılanabilmesi için öğün sıklığının artırılması, enerji yoğun besinlerin tercih edilmesi ve sıvı kalori alımı gibi stratejiler önerilmektedir (Rogerson, 2017; Hernández-Martínez et al., 2020; Charlton et al., 2022). Vegan kuvvet sporcularında, bitkisel gıdaların yüksek lif içeriği ve düşük enerji yoğunluğu nedeniyle meydana gelebilecek erken doygunluk hissinin önüne geçebilmek adına öğün sıklığının artırılması, yağlı tohumlar ve ezmeler gibi enerji yoğunluğu yüksek besinlerin tercih edilmesi ve mide boşalımını hızlandırarak sindirim sistemi rahatsızlığı yaratmadan enerji alımı hedeflerine ulaşmayı kolaylaştıran sıvı kalori alımı (izole bitkisel protein shake'leri veya bitkisel sütlerle hazırlanan zengin smoothie'ler) gibi pratik beslenme stratejileri önerilmektedir (Rogerson, 2017; Hernández-Martínez et al., 2020; Charlton et al., 2022).

2.2. Makro ve mikro besin ögesi planlaması

Vegan diyetler karbonhidrat, lif ve antioksidanlar açısından zengin olmakla birlikte, protein kalitesi ile bazı mikro besin ögeleri bakımından sınırlı olabilmektedir (Rogerson, 2017). Kas hipertrofisinin desteklenmesi için yalnızca toplam protein alımı değil, protein kalitesi ve amino asit kompozisyonu da önem taşımaktadır. Bitkisel proteinlerin daha düşük sindirilebilirliğe ve lösin içeriğine sahip olması nedeniyle protein kaynaklarının uygun şekilde kombine edilmesi ve günlük protein gereksiniminin karşılanması önerilmektedir (Kerksick ve ark., 2021). Ayrıca

B12 vitamini, demir, kalsiyum, D vitamini ve omega-3 yağ asitleri vegan diyetlerde yetersiz alınabilen temel besin ögeleri arasında yer almakta olup, gerektiğinde düzenli izlem ve uygun takviye uygulanması önerilmektedir (Rogerson, 2017; Hernández-Martínez ve ark., 2020; Damasceno ve ark., 2024).

2.3. Lif tüketimi ve sindirim üzerine etkileri

Yüksek lif içeriği, bağırsak sağlığı ve kardiyometabolik açıdan avantaj sağlamakla birlikte, erken tokluk oluşturarak yeterli enerji alımını güçleştirebilir ve yoğun antrenman öncesinde gastrointestinal rahatsızlıklara neden olabilir (Rogerson, 2017; Kerksick ve ark., 2021). Bu nedenle lif alımının antrenman zamanına göre planlanması; egzersiz öncesinde düşük lifli karbonhidratların, egzersiz sonrasında ise karbonhidrat ve proteinin birlikte tüketilmesi önerilmektedir (Kerksick ve ark., 2021).

3. AMİNO ASİT PROFİLİ VE BİTKİSEL PROTEİN KALİTESİNİN KAS HİPERTROFİSİNDEKİ ROLÜ

Kas hipertrofisinin temel fizyolojik belirleyicisi, kas protein sentezi (muscle protein synthesis; MPS) ile kas protein yıkımı arasındaki dengenin pozitif yönde değişmesidir. Direnç egzersizi sonrasında yeterli miktarda protein tüketimi MPS'yi artırmakta, özellikle lösin mTORC1 sinyal yolunu aktive ederek bu sürecin başlamasında kritik rol oynamaktadır (Kerksick ve ark., 2021; Monteyne ve ark., 2023). Bu nedenle kuvvet sporcularında yalnızca günlük protein miktarı değil, proteinin amino asit profili ve biyolojik kalitesi de önem taşımaktadır.

Bitkisel proteinler, hayvansal proteinlere kıyasla daha düşük sindirilebilirlik ve daha düşük lösin yoğunluğuna sahip olabilmektedir. Ayrıca bazı esansiyel amino asitler bakımından sınırlayıcı özellik göstermeleri nedeniyle tek başlarına optimum kas protein sentezi oluşturamayabilirler (Rogerson, 2017; Kerksick ve ark., 2021). Bununla birlikte farklı bitkisel protein kaynaklarının birlikte kullanılması, protein tamamlayıcılığı sağlayarak amino asit profilini iyileştirmekte ve kas protein sentezini desteklemektedir. (Mariotti ve Gardner, 2019; Kerksick ve ark., 2021).

Protein kalitesinin değerlendirilmesinde kullanılan PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) ve DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) yöntemleri, bitkisel proteinlerin sindirilebilirlik ve amino asit içeriğinin hayvansal proteinlerden daha düşük olabildiğini göstermektedir. Ancak fermantasyon, filizlendirme, ıslatma ve protein izolasyonu gibi işlemler antinutrisyonel bileşenleri azaltarak proteinlerin biyoyararlanımını artırabilmektedir (Kerksick ve ark., 2021).

Son yıllarda yapılan çalışmalar, soya ve bezelye gibi bitkisel proteinlerin özellikle lösin açısından optimize edildiğinde veya protein miktarı eşitlendiğinde whey proteini ile benzer kas protein sentezi ve hipertrofi yanıtı oluşturabildiğini göstermektedir (Lynch ve ark., 2020; Dijk ve ark., 2024; Monteyne ve ark., 2023). Ayrıca yeni nesil bitkisel protein karışımlarının da vücut kompozisyonu ve kuvvet gelişimi açısından benzer sonuçlar sağlayabildiği bildirilmektedir (Teixeira ve ark., 2022).

Bitkisel protein kaynaklarının amino asit profillerindeki sınırlılıkların giderilmesinde protein tamamlayıcılığı önemli bir stratejidir. Tahıllar genellikle lizin açısından sınırlı ancak metiyonin açısından daha zengin iken, baklagiller lizin bakımından yüksek fakat metiyonin içeriği açısından daha düşük bir profile sahiptir. Bu nedenle tahıl ve baklagillerin aynı gün içerisinde farklı öğünlerde veya uygun kombinasyonlarla tüketilmesi, esansiyel amino asit dağılımını iyileştirerek daha dengeli bir protein profili sağlayabilmektedir. Örneğin pirinç–bezelye, buğday–mercimek veya mısır–fasulye kombinasyonları, tamamlayıcı amino asit profilleri sayesinde vegan sporcularda protein kalitesinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Özellikle direnç egzersizi yapan vegan sporcularda, bu tür tamamlayıcı protein kombinasyonları günlük protein hedefinin karşılanmasına ve lösin dahil esansiyel amino asit gereksiniminin desteklenmesine

katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, kas hipertrofisi açısından yalnızca tek bir öğündeki amino asit kompozisyonundan ziyade günlük toplam protein alımı, esansiyel amino asit gereksiniminin karşılanması ve özellikle lösin miktarı temel belirleyiciler olarak kabul edilmektedir (Rogerson, 2017; Kerksick et al., 2021; Mariotti ve Gardner, 2019).

Sonuç olarak güncel kanıtlar, kas hipertrofisini belirleyen temel unsurun protein kaynağından çok yeterli protein alımı, amino asit kompozisyonu ve protein kalitesi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle vegan kuvvet sporcularında uygun protein kombinasyonlarının oluşturulması, lösin açısından zengin veya zenginleştirilmiş bitkisel proteinlerin tercih edilmesi ve günlük protein gereksiniminin karşılanması kas hipertrofisinin desteklenmesinde temel stratejilerdir.

4.KAS HİPERTROFİSİ İÇİN PROTEİN GEREKSİNİMİ

Kas hipertrofisinin sürdürülebilmesi için yeterli enerji alımı ile birlikte günlük protein miktarı, öğün başına alınan protein miktarı, protein zamanlaması ve aminosit kompozisyonunun optimize edilmesi gerekmektedir. Direnç egzersizi sonrasında artan kas protein sentezi, yeterli miktarda ve kaliteli protein alımıyla desteklendiğinde uzun dönem kas adaptasyonlarına katkı sağlamaktadır (Kerksick et al., 2021). Vegan sporcularda ise bitkisel proteinlerin genellikle daha düşük sindirilebilirlik ve lösin yoğunluğuna sahip olması nedeniyle protein gereksiniminin yalnızca miktar değil, kalite açısından da değerlendirilmesi önemlidir (Rogerson, 2017).

International Society of Sports Nutrition (ISSN) önerilerine göre direnç egzersizi yapan bireylerde hipertrofiyi desteklemek için günlük 1.6–2.2 g/kg/gün protein alımı yeterli kabul edilmektedir (Jäger ve ark., 2017). Ancak bitkisel proteinlerin amino asit profili ve biyoyararlanım farklılıkları nedeniyle vegan sporcularda protein gereksiniminin daha yüksek planlanabileceği bildirilmektedir (Kerksick et al., 2021; Rogerson, 2017). Bu nedenle öğün başına yaklaşık 0.40–0.55 g/kg protein alımı ve protein dağılımının gün içine dengeli yayılması önerilmektedir.

Kas protein sentezinin önemli düzenleyicilerinden biri olan lösin, mTORC1 sinyal yolunu aktive ederek anabolik yanıtın başlamasında kritik rol oynamaktadır (Kerksick et al., 2021). Bitkisel proteinlerin lösin içeriği genellikle daha düşük olsa da, yeterli miktarda tüketim, amino asit optimizasyonu ve uygun protein kombinasyonları ile bu sınırlılık giderilebilmektedir. Nitekim soya ve whey proteinlerini karşılaştıran çalışmalarda, lösin miktarı eşitlendiğinde kas kalınlığı ve kuvvet gelişimi açısından anlamlı farklılık bulunmadığı gösterilmiştir (Lynch et al., 2020). Benzer şekilde lösin ile zenginleştirilmiş bezelye ve soya proteinlerinin whey proteinine benzer kas protein sentezi yanıtı oluşturabildiği bildirilmektedir (Dijk et al., 2024; Domić et al., 2025).

Protein zamanlaması ve egzersiz sonrası beslenme de hipertrofik adaptasyonlarda önem taşımaktadır. Egzersiz sonrası protein tüketimi MPS'yi desteklerken, karbonhidrat ile birlikte tüketim glikojen yenilenmesini ve toparlanmayı artırabilmektedir (Kerksick et al., 2021). Ayrıca çok bileşenli bitkisel protein karışımlarının egzersiz sonrası toparlanma ve egzersize bağlı kas hasarının azaltılmasında whey proteinine benzer etkiler gösterebileceği bildirilmektedir (Naclerio et al., 2020; Govindasamy et al., 2025).

Yeterli enerji alımı da vegan sporcularda kas hipertrofisi açısından kritik bir faktördür. Düşük enerji mevcudiyeti (Low Energy Availability, LEA), kas protein sentezini baskılayarak toparlanma kapasitesi ve performansı olumsuz etkileyebilir (Jurov et al., 2021; Charlton et al., 2022). Vegan diyetlerin yüksek lif ve düşük enerji yoğunluğu nedeniyle yoğun antrenman yapan sporcularda yeterli enerji ve protein alımının sağlanması zorlaşabilmektedir. Bu nedenle enerji yoğunluğu yüksek besinlerin, kaliteli bitkisel protein kaynaklarının ve uygun öğün planlamasının kullanılması önerilmektedir (Hernández-Martínez et al., 2020).

Son kanıtlar, iyi planlanmış vegan diyetlerin yeterli enerji, protein ve lösin sağlandığında kas hipertrofisini destekleyebileceğini göstermektedir. Yüksek proteinli vegan ve omnivor

diyetlerin benzer miyofibriller protein sentezi yanıtları oluşturduğu ve hipertrofi açısından karşılaştırılabilir sonuçlar sağlayabildiği bildirilmektedir (Monteyne et al., 2023; Askow et al., 2025).

5. TARTIŞMA

Mevcut literatür, iyi planlanmış vegan diyetlerin sporcularda kas hipertrofisi ve performansı destekleyebileceğini göstermektedir. Güncel randomize kontrollü çalışmalar, sistematik derlemeler ve meta-analizler; yeterli enerji alımı, uygun protein miktarı ve amino asit profilinin sağlanması durumunda bitkisel protein kaynaklarının kas protein sentezi ve uzun dönem kas adaptasyonları açısından omnivor diyetlerle benzer sonuçlar oluşturabileceğini ortaya koymaktadır (Lynch et al., 2020; Monteyne et al., 2023; Askow et al., 2025). Ayrıca bitkisel temelli beslenmenin aerobik performans üzerinde olumlu etkiler sağlayabildiği ve kuvvet performansı açısından belirgin bir dezavantaj oluşturmadığı bildirilmektedir (Damasceno et al., 2024).

Bitkisel proteinlerin daha düşük sindirilebilirlik, biyoyararlanım ve lösin içeriğine sahip olması teorik olarak anabolik yanıtı sınırlayabilse de, güncel kanıtlar bu farklılıkların uygun beslenme stratejileri ile azaltılabileceğini göstermektedir. Yeterli protein alımı, protein kombinasyonları, lösin açısından zengin kaynakların tercih edilmesi ve amino asit optimizasyonu ile vegan sporcularda kas protein sentezinin desteklenebileceği bildirilmektedir (Kerksick et al., 2021; Dijk et al., 2024; Domić et al., 2025).

Vegan beslenmenin sporcular açısından önemli avantajlarından biri; yüksek karbonhidrat, lif, antioksidan ve fitokimyasal içeriği sayesinde enerji metabolizması, toparlanma süreçleri ve oksidatif stres yönetimine katkı sağlayabilmesidir (Rogerson, 2017; Damasceno et al., 2024). Bu özellikler özellikle yüksek antrenman hacmine sahip sporcularda performansın sürdürülebilmesi açısından avantaj sağlayabilir.

Bununla birlikte vegan diyetlerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için bazı beslenme yetersizliği risklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Düşük enerji yoğunluğu, yüksek lif içeriği ve bitkisel proteinlerin amino asit profilindeki farklılıklar; özellikle yüksek enerji gereksinimi olan kuvvet sporcularında yeterli enerji ve protein alımını zorlaştırabilir (Charlton et al., 2022; Jurov et al., 2021). Ayrıca B12 vitamini, demir, kalsiyum, D vitamini ve omega-3 yağ asitleri gibi mikro besin ögelerinin yetersizliği açısından düzenli değerlendirme yapılması ve gerektiğinde takviye planlaması önem taşımaktadır (Stoodley et al., 2023; Isenmann et al., 2024).

Vegan kuvvet sporcularında kas hipertrofisinin başarısı yalnızca toplam protein miktarına değil; protein kalitesi, amino asit profili, enerji yeterliliği ve bireysel beslenme planlamasına bağlıdır. Bu nedenle vegan sporcularda yeterli protein alımının sağlanması, protein kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve öğün dağılımının optimize edilmesi temel stratejiler arasında yer almaktadır (Kerksick et al., 2021).

Soya ve bezelye gibi yüksek kaliteli bitkisel protein kaynaklarının tercih edilmesi, farklı protein kaynaklarının kombinasyonu ve gerektiğinde amino asitlerle zenginleştirilmiş ürünlerin kullanımı, kas protein sentezinin desteklenmesine katkı sağlayabilir. Ayrıca protein izolasyonu, fermentasyon, filizlendirme ve benzeri işlemler bitkisel proteinlerin sindirilebilirliğini artırarak biyoyararlanımı geliştirebilir (Rogerson, 2017).

Bununla birlikte mevcut literatürde çalışma sürelerinin kısa olması, farklı antrenman protokollerinin kullanılması ve enerji kontrolünün her zaman yeterli düzeyde sağlanamaması önemli metodolojik sınırlılıklar olarak değerlendirilmektedir. Gelecekte yapılacak uzun süreli, standartlaştırılmış direnç egzersizi programlarını içeren ve enerji ile amino asit alımını ayrıntılı şekilde kontrol eden randomize kontrollü çalışmalar, vegan beslenmenin kas hipertrofisi

üzerindeki etkilerinin daha net ortaya konmasına katkı sağlayacaktır (Damasceno et al., 2024; Kerksick et al., 2021).

6. SONUÇ

Bu derlemede incelenen çalışmalar, uygun şekilde planlanmış vegan diyetlerin kas hipertrofisi ve sportif performans açısından omnivor beslenmeye etkili bir alternatif olabileceğini göstermektedir. Yeterli protein alımı, proteinlerin gün içine dengeli dağılımı, lösin gereksiniminin karşılanması, sınırlayıcı amino asitlerin tamamlayıcı protein kombinasyonları ile optimize edilmesi ve farklı bitkisel protein kaynaklarının birlikte kullanılması ile bitkisel proteinlerin kas protein sentezini destekleyebildiği ve direnç egzersizine bağlı hipertrofik adaptasyonların sağlanabileceği görülmektedir.

Bununla birlikte, vegan sporcularda protein kalitesi, amino asit profili, enerji yeterliliği ve mikro besin ögelerinin (özellikle B12 vitamini, D vitamini, demir, kalsiyum ve omega-3 yağ asitleri) düzenli değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Uygun protein planlaması, kaliteli bitkisel protein kaynaklarının seçimi ve gerektiğinde takviye stratejilerinin kullanılması, vegan beslenmenin sınırlılıklarını azaltabilmektedir.

Mevcut kanıtlar, iyi planlanmış vegan diyetlerin yeterli enerji ve protein sağlandığında kas hipertrofisi, kuvvet gelişimi ve toparlanma süreçlerinde omnivor beslenmeye benzer sonuçlar oluşturabileceğini göstermektedir. Ancak uzun dönemli çalışmaların, özellikle kadın sporcular ve elit düzey atletler üzerindeki kanıtların sınırlı olması nedeniyle gelecekte daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

Sonuç olarak, vegan beslenme yaklaşımı sporcularda kas gelişimi açısından başlı başına bir engel oluşturmamakta; başarısı protein miktarı ve kalitesi, amino asit dengesi, enerji alımı ve bireysel gereksinimlere uygun planlamaya bağlı olarak değişmektedir. Bilimsel temellere dayalı ve kişiye özgü düzenlenen beslenme stratejileri, kas hipertrofisi ve performans optimizasyonunda uygulanabilir bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Beslenme yetersizliğine bağlı sağlık sorunları risklerini en aza indirmek için süreçlerin spor alanında uzmanlaşmış hekimler ve diyetisyenlerin takibinde yönetilmesi önemlidir.

KAYNAKÇA

Askow, A. T., Barnes, T. M., Zupancic, Z., Deutz, M. T., Paulussen, K. J. M., McKenna, C. F., ... & Burd, N. A. (2025). Impact of Vegan Diets on Resistance Exercise–Mediated Myofibrillar Protein Synthesis in Healthy Young Males and Females: A Randomized Controlled Trial. Medicine & Science in Sports & Exercise.

Charlton, B. T., Forsyth, S., & Clarke, D. C. (2022). Low energy availability and relative energy deficiency in sport: What coaches should know. International Journal of Sports Science & Coaching, 17(2), 445.

Damasceno, Y. O., Leitão, C. V. F. S., de Oliveira, G. M., et al. (2024). Plant-based diets benefit aerobic performance and do not compromise strength/power performance. British Journal of Nutrition, 131(5), 829.

Dijk, F. J., van Dijk, M., Roberts, J., et al. (2024). Pea and soy fortified with leucine stimulates muscle protein synthesis comparable to whey in a murine ageing model. European Journal of Nutrition.

Domić, J., Pinckaers, P. J., Grootswagers, P., et al. (2025). A Well-Balanced Vegan Diet Does not Compromise Daily Mixed Muscle Protein Synthesis Rates in Active Older Adults. The Journal of Nutrition.

Goldman, D. M., Warbeck, C. B., & Karlsen, M. C. (2024a). Protein Requirements for Maximal Muscle Mass Are Achieved with Plant-Based Diets in Professional American Football Players. Nutrients, 16(12), 1903.

Govindasamy, K., Parpa, K., Katanic, B., et al. (2025). Effect of Plant-Based Proteins on Recovery from Resistance Exercise-Induced Muscle Damage—A Systematic Review. Nutrients, 17(15), 2571.
Hernández-Martínez, C., Fernández-Rodríguez, L., Soriano, M. A., & Martínez-Sanz, J. M. (2020). Case Study: Body Composition Changes from a Nutritional Intervention on a Professional Vegan Powerlifter. Applied Sciences, 10(23), 8675.
Isenmann, E., Trojak, I., Lesch, A., et al. (2024). The influence of a vegan diet on performance and the menstrual cycle in young, recreationally trained women. Journal of the International Society of Sports Nutrition.
Jäger, R., Kerksick, C. M., Campbell, B. I., et al. (2017). International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 14, 20.
Jurov, I., Keay, N., Hadžić, V., & Rauter, S. (2021). A proposal for a standardized approach to inducing low energy availability in athletes. Sports, 9(9), 129.
Kerksick, C. M., Jagim, A., Hagele, A., & Jäger, R. (2021). Plant Proteins and Exercise: What Role Can Plant Proteins Have in Promoting Adaptations to Exercise? Nutrients, 13(6), 1962.
Lynch, H. M., Buman, M. P., Johnston, C. S., et al. (2020). No Significant Differences in Muscle Growth When Consuming Soy and Whey Matched for Leucine. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(11), 3871.
Mariotti, F., & Gardner, C. D. (2019). Dietary Protein and Amino Acids in Vegetarian Diets—A Review. *Nutrients, 11*(11), 2661.
Monteyne, A. J., Coelho, M. O. C., Murton, A. J., et al. (2023). Vegan and Omnivorous High Protein Diets Support Comparable Daily Myofibrillar Protein Synthesis Rates. The Journal of Nutrition, 153(6), 1680.
Naclerio, F., Seijo, M., Earnest, C. P., et al. (2020). Ingesting a Post-Workout Vegan-Protein Multi Ingredient Expedites Recovery. Journal of Dietary Supplements.
Rogerson, D. (2017). Vegan diets: Practical advice for athletes and exercisers. Journal of the International Society of Sports Nutrition, 14, 36.
Stoodley, I. L., Williams, L. M., & Wood, L. G. (2023). Effects of Plant-Based Protein Interventions on Body Composition and Strength in Older Adults: A Systematic Review. Nutrients, 15(18), 4060.
Teixeira, F. J., Matias, C. N., Faleiro, J., et al. (2022). A Novel Plant-Based Protein Has Similar Effects Compared to Whey Protein on Body Composition in Futsal Players. Frontiers in Nutrition, 9, 934438.

TÜRK YURDU DERGİSİ ÖZELİNDE BAHA SAİD BEY'İN ANADOLU'DAKİ NUSAYRÎ TOPLULUĞUNA YÖNELİK DEĞERLENDİRMELERİ

Doç. Dr. Süleyman ÇAM
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0002-4588-8491

ÖZET

Baha Said Bey (1882-1939), Osmanlı Devleti'nin son dönemi ile Türkiye Cumhuriyeti'nin ilk yıllarında yaşamış, asker kökenli ve İttihat ve Terakki Cemiyeti içerisinde aktif görevlerde bulunmuş önemli millî aydınlardan biridir. I. Dünya Savaşı ve Kurtuluş Savaşı yıllarında çeşitli hizmetlerde bulunan Baha Said, Cumhuriyet'in ilk dönemlerinde de devlet hizmetini sürdürmüş ve farklı alanlarda eserler kaleme almıştır. Aynı zamanda dönemin yönetimi tarafından Anadolu'daki mezhebî ve kültürel yapıları incelemek amacıyla görevlendirilmiştir. Bu kapsamda, *Türk Yurdu* dergisinde yayımlanan "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri" başlıklı çalışması, Anadolu'daki Nusayrî topluluğuna ilişkin saha araştırması niteliği taşıyan önemli kaynaklardan biri olarak değerlendirilmektedir. Bu araştırmanın amacı, Baha Said'in söz konusu çalışmasında Anadolu'daki Nusayrî topluluğuna yönelik değerlendirmelerini incelemek ve bunları dönemin tarihî ve sosyo-politik şartları çerçevesinde ortaya koymaktır. Araştırma kapsamında, Baha Said'in Nusayrîlerin tarihî kökenleri, inanç yapıları, mezhepsel özellikleri, dinî ritüelleri, mezhep içi telkinleri, sembolleri, ibadet pratikleri ve toplumsal yaşamlarına ilişkin tespitleri ele alınmaktadır. Ayrıca yazarın, Nusayrî topluluğunun kökenine ilişkin güvenilir belgelere ulaşmanın mümkün olduğu yönündeki değerlendirmeleri ile "Nusayrî Telkîni" ve "Nusayrîlerin Mezheplerindeki Sır ve Remizler" gibi konuların daha kapsamlı ve ilmî araştırmalarla incelenmesi gerektiğine dair görüşleri de incelenmektedir. Araştırmada betimleyici yöntem kullanılmıştır. İslam Mezhepleri Tarihi alanında benimsenen bu yöntem doğrultusunda mezheplerin görüşleri kendi kaynaklarından hareketle tarafsız ve ilmî bir yaklaşımla değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu çerçevede Baha Said'in değerlendirmeleri, dönemin tarihî şartları ve sosyo-politik atmosferi dikkate alınarak objektif bir biçimde analiz edilmiştir. Bunun yanında, Baha Said'in Türkçülük düşüncesi doğrultusunda Anadolu'daki Nusayrî topluluklarını Türk kimliği içerisinde değerlendirme anlayışı da araştırmanın inceleme alanı içerisinde yer almaktadır. Araştırmanın temel bulguları, Baha Said'in Türk toplumu içerisinde yaşayan Nusayrîlerin duygu, düşünce ve psikolojik yapılarının anlaşılmasını toplumsal bütünlük ve kültürel çeşitliliğin değerlendirilmesi bakımından önemli gördüğünü ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda yazar, Nusayrîlerin soy, kültür ve millî özelliklerinin bilimsel yöntemlerle incelenmesi gerektiğini savunmakta ve topluluğun kökenleri ile kültürel yapısına ilişkin değerlendirmelerde bulunmaktadır. Ayrıca Baha Said'in, Nusayrî zümrelerinin Türk kökenli olduklarına yaptığı vurgu ile bu toplulukların devlete bağlılıklarını güçlendirmeyi amaçladığı ve kökenlerine ilişkin oryantalist çevreler tarafından ileri sürülen görüşlere karşı alternatif bir yaklaşım geliştirdiği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak araştırma, Osmanlı'dan Cumhuriyet'e geçiş sürecinde Anadolu'daki dinî ve kültürel çeşitliliğin anlaşılmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Baha Said'in gözlem ve değerlendirmeleri üzerinden Nusayrî topluluğunun tarihsel ve toplumsal konumunun ortaya konulması, Türkiye'nin inanç ve kültür çeşitliliğinin bilimsel temelde belgelenmesine katkı sunması beklenmektedir. Bunun yanında çalışmanın, tarih, sosyoloji, antropoloji ve dinler tarihi disiplinleri arasında disiplinler arası bir yaklaşım geliştirerek toplumsal barış, kültürel hoşgörü ve çok kültürlülük bilincinin güçlenmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mezhepler Tarihi, Nusayrîler, Baha Said, Hulûl, Sır.

BAHA SAID BEY'S ASSESSMENTS OF THE NUSAYRI COMMUNITY IN ANATOLIA, SPECIFICALLY IN THE TURKISH HOMELAND MAGAZINE

ABSTRACT

Baha Said Bey (1882-1939) was an important Turkish nationalist intellectual who lived during the final period of the Ottoman Empire and the early years of the Republic of Turkey. Of military background, he also held active positions within the Committee of Union and Progress. Baha Said served in various capacities during the First World War and the Turkish War of Independence, continued his service to the state during the early Republican period, and authored works on a range of subjects. He was also commissioned by the authorities of the period to investigate the sectarian and cultural structures of Anatolia. In this context, his study entitled "Among the Hidden Sanctuaries of Anatolia: The Nusayris and the Secrets of Their Sect," published in the journal *Türk Yurdu*, is regarded as one of the significant sources based on field research concerning the Nusayri community in Anatolia. The aim of this study is to examine Baha Said's assessments of the Nusayri community in Anatolia in his aforementioned work and to situate these assessments within the historical and socio-political conditions of the period. Within the scope of the study, Baha Said's observations concerning the historical origins, belief system, sectarian characteristics, religious rituals, intra-sectarian instruction, symbols, religious practices, and social life of the Nusayris are examined. In addition, the study analyzes the author's view that reliable documentary evidence concerning the origins of the Nusayri community can be obtained, as well as his argument that subjects such as "Nusayri Instruction" and "The Secrets and Symbols in the Sect of the Nusayris" require more comprehensive and scholarly investigation. A descriptive method was employed in this study. In accordance with this methodological approach adopted in the field of the History of Islamic Sects, the views of the sects were examined through their own sources, with an impartial and scholarly perspective. Within this framework, Baha Said's assessments were analyzed objectively, taking into consideration the historical conditions and socio-political atmosphere of the period. Furthermore, Baha Said's approach of situating the Nusayri communities in Anatolia within the framework of Turkish identity, in line with his conception of Turkism, also constitutes part of the scope of this study. The main findings of the study indicate that Baha Said regarded understanding the feelings, thoughts, and psychological characteristics of the Nusayris living within Turkish society as important for assessing social cohesion and cultural diversity. In this regard, the author argues that the ethnic origins, cultural characteristics, and national identity of the Nusayris should be examined through scientific methods and offers various assessments concerning the origins and cultural structure of the community. Furthermore, it can be inferred that, by emphasizing the Turkish origins of the Nusayri groups, Baha Said sought to strengthen their allegiance to the state and to develop an alternative perspective in response to views concerning their origins put forward by Orientalist circles. In conclusion, this study aims to contribute to a better understanding of the religious and cultural diversity in Anatolia during the transition from the Ottoman Empire to the Republic of Turkey. By examining the historical and social position of the Nusayri community through Baha Said's observations and assessments, the study is expected to contribute to the scholarly documentation of Turkey's religious and cultural diversity. Furthermore, the study seeks to contribute to strengthening social peace, cultural tolerance, and awareness of multiculturalism by developing an interdisciplinary approach that brings together the disciplines of history, sociology, anthropology, and the history of religions.

Keywords: History of Islamic Sects, Nusayris, Baha Said, Ḥulūl, Secret.

1. Giriş

Hz. Ali'ye ulûhiyet nispet eden ve bâtınî karakter taşıyan Nusayrîlik, IX. yüzyılda Muhammed b. Nusayr en-Nemîrî (ö. 270/883) tarafından kurulan, tarihsel süreç içerisinde Hüseyin b. Hamdân el-Hasîbî (ö. 358/969) ve sonraki Nusayrî âlimlerinin katkılarıyla gelişimini sürdüren, kendine özgü inanç sistemi, ibadet anlayışı ve dinî hiyerarşisiyle öne çıkan ve varlığını günümüze kadar devam ettiren aşırı bir Şiî fırkadır.[18] Nusayrîlik, İslâm dininin bâtınî yorumunu esas alan ve Ehl-i Beyt sevgisi ile onlara bağlılığı inanç sisteminin merkezine yerleştiren bir dinî oluşum olarak değerlendirilmektedir. Bu inanç yapısında, bâtınî düşüncenin temel unsurlarından biri olan zâhir-bâtın ayrımı belirleyici bir konuma sahip olup, inanç sisteminin şekillenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.[19] Aynı zamanda klasik ve çağdaş araştırmacılar arasında, Nusayrîlerin bâtınî bir karakter taşıdığı hususunda geniş bir fikir birliği bulunduğu belirtilmektedir.[20]

Nusayrîlik, İslâm coğrafyasında ortaya çıkmış, İslâm dininin temel esaslarından etkilenmiş bir inanç sistemi olmakla birlikte, tarihî süreç içerisinde Sâbiîlik, Yahudilik ve Hristiyanlık gibi farklı dinî geleneklerden de etkilenerek kendine özgü bir yapı kazanmıştır. Bunun yanı sıra Nusayrîliğin özellikle On İki İmam Şiîliği ve İsmailî Şiîliği ile yakın ilişkiler içerisinde geliştiği görülmektedir. Ayrıca ortaya çıktığı coğrafyanın düşünsel ortamında bulunan Gnostik, Yeni Eflâtuncu, Maniheist ve Budist unsurlardan da etkilendiği ileri sürülmektedir. Nusayrîler, kutsal metin olarak Kur'an-ı Kerîm'i kabul etmekle birlikte, Kur'an'ın yorumlanması ve anlaşılması hususunda kendilerine özgü bâtınî yaklaşımlar geliştirmiştir. Bâtınî yorumların Kur'an-ı Kerîm'in anlamını büyük ölçüde değiştirdiği, hatta metnin aslî muhtevasını yitirecek derecede farklılaştırdığı ileri sürülmektedir.[21]

Nusayrîler, IX. yüzyılda Basra'da Abbâsî hâkimiyeti döneminde ortaya çıkmış ve Hamdanîler zamanında özellikle Suriye bölgesinde yayılmıştır. Selçuklu, Eyyûbî ve Memlük dönemlerinde daha çok dağlık ve ulaşılması güç bölgelerde varlıklarını sürdüren Nusayrîler, Osmanlı döneminde başta Lazkiye ve çevresi olmak üzere Suriye sahil kesimlerinde yaşamaya devam etmiştir. Fransız Mandası döneminde siyasî bir kimlik kazanan Nusayrîler, Suriye'nin bağımsızlığından sonra da toplumsal ve siyasî varlıklarını günümüze kadar sürdürmüşlerdir.[22]

Mezhebin son şeyhi olarak kabul edilen Ebu Saîd Meymûn b. Kâsım et-Taberânî (ö. 426/1034) döneminde Nusayrîlik, Suriye'nin kuzeyinden Akdeniz sahillerine kadar geniş bir coğrafyada yayılmış ve bir inanç sistemi hâline gelmiştir. Özellikle Halep ve Lazkiye çevresinde yoğunlaşan Nusayrîler, zamanla Suriye sahil bölgesinde kalıcı bir yerleşim yapısı oluşturmuşlardır. 1939 yılında Hatay'ın Türkiye'ye katılmasıyla birlikte bu bölgede yaşayan Nusayrîlerin bir kısmı Türkiye sınırları içerisinde kalmış özellikle Hatay, İskenderun, Adana ve Mersin sahillerinde günümüze kadar dinî ve toplumsal kimliklerini koruyarak varlıklarını sürdürmüşlerdir.[23] Anadolu'da yaşayan Nusayrîler; Hatay Alevîleri, Fellah, Arap Uşağı, Alevî, Alevî Nusayrîler, Nusayrî Alevîliği, Arap Alevîliği, Suriye Alevîliği, Çukurova Alevîliği ve

[18] Ethem Ruhi Fığlalı, *Çağımızda İtikadî İslâm Mezhepleri* (Ankara: Selçuk Yayınları, 5. Baskı, 1991), 180-181; İlyas Üzüm, "Nusayrîlik", *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*, 33/270-274 (İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2007), 33/270-272.

[19] Ahmet Bağlıoğlu, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi*, ed. Maksut Çetin-Muhammet Raşit Batur (İstanbul: Lisans Yayıncılık, 2023), 205.

[20] M. Hanefi Palabıyık, "Dinî İnançları ve Özellikleri Bakımından Nusayrîlik", *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi* 54 (2010), 22.

[21] Mazlum Uyar, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi El Kitabı*, ed. Hasan Onat-Sönmez Kutlu (Ankara: Grafiker Yayınları, 2012), 310.

[22] Geniş bilgi için bk. Fığlalı, *Çağımızda İtikadî İslâm Mezhepleri*, 181-184; Üzüm, "Nusayrîlik", 270-272, Bağlıoğlu, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi*, 205-210.

[23] Üzüm, "Nusayrîlik", 272, Bağlıoğlu, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi*, 209-210.

Akdeniz Alevîliği gibi farklı adlandırmalarla anılmışlardır.[24] Günümüzde ise Nusayrîler, tarih boyunca "Nusayrî" adına yüklenen olumsuz anlamlar nedeniyle genellikle "Arap Alevîsi" adlandırmasını tercih etmektedir. Bu tercih, aynı zamanda Nusayrîliğin Anadolu Alevîliği ile karıştırılmasının önüne geçilmesi amacıyla benimsenmiştir.[25]

Türkiye'de Nusayrîlerin ağırlıklı olarak Adana, Mersin ve Hatay illerini kapsayan bölgede yaşadıkları bilinmektedir. Bununla birlikte, Türkiye'de Nusayrîler üzerine bilimsel ölçütlere dayalı olarak gerçekleştirilen akademik çalışmalar ile yayımlanmış makalelerin sayıca sınırlı olduğu bilinmektedir. Diğer taraftan Anadolu'da yaşayan Nusayrîlerin son yıllarda giderek artan bir ilgi ve araştırma konusu hâline geldiği dikkat çekmektedir.

Anadolu'da Nusayrîler üzerine araştırma yapan isimlerden biri de Baha Said (1882-1939)'dir. Baha Said, Osmanlı Devleti'nin son döneminde yetişmiş, asker kökenli bir araştırmacı olup İttihat ve Terakki Cemiyeti'nde aktif görevler üstlenmiş, I. Dünya Savaşı ve Millî Mücadele süreçlerinde çeşitli görevlerde bulunmuş bir entelektüel olarak tanınmaktadır. Cumhuriyet'in ilk yıllarında da devlet hizmetini sürdürmüş ve farklı alanlarda çok sayıda eser kaleme almıştır. Baha Said'in önemli çalışmalarından biri, *Türk Yurdu* dergisinin 1927 yılına ait 5. cildinin 25. sayısında Osmanlıca olarak yayımlanan "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrar-ı Mezhebiyeleri" başlıklı yirmi bir sayfalık incelemesidir. Bu çalışma, dönemin Nusayrîleri üzerine gerçekleştirilen en kapsamlı araştırmalardan biri olarak değerlendirilmektedir. Eserde Nusayrîlerin kökenleri, yerleşim alanları, dinî ayinleri, toplumsal yaşamları, gelenek ve görenekleri ile mezhebin sırlarına ilişkin kapsamlı bilgilere yer verilmektedir.[26] Türkiye Nusayrîliği konusunda gerçekleştirilen ilk çalışmalardan biri olarak kabul edilen Baha Said'in bu araştırması, Nusayrîlerin yaşadığı bölgelerde yürütülmüş ve büyük ölçüde alan araştırmasına dayanmaktadır. Bu yönüyle söz konusu çalışma, Türkiye'de Nusayrî toplulukları üzerine yapılan ilk incelemeler arasında önemli bir yere sahiptir.[27] Bunun yanı sıra çalışma, Osmanlı Devleti'nin son dönemi ile Cumhuriyet'in ilk yıllarında Anadolu'nun dinî, kültürel ve etnik yapısını ele alan önemli araştırmalardan biri olma niteliği taşımaktadır.

2. Baha Said'e Göre Nusayrîlerin Etnik Kökenleri ve Anadolu'da Yaşadıkları Yerler

Baha Said, Nusayrîler üzerine yaptığı incelemelerde, Anadolu'da yaşayan Nusayrîlerin Arap, Türk veya başka bir etnik unsura mensup oldukları hususunda kesin bir hüküm vermenin mümkün olmadığını ifade etmektedir. Ona göre Trablus ve Şam havalisinde kullanılan lehçeler Arapçaya benzemekle beraber ondan belirgin surette ayrılan özellikler taşımaktadır.[28]

Baha Said, Adana ve civarında yaşayan Nusayrîlerin etnik kökenleri hakkında da kesin bir kanaat ileri sürmemekte, bunların Arap, Türk veya başka bir etnik kökene mensubiyetlerini ilmî bakımdan kesin olarak tayin etmenin mümkün olmadığını vurgulamaktadır. Bununla birlikte, Adana havalisindeki Nusayrîlerin kendilerine mahsus bir yapı ve karakter arz ettiklerini belirtmekte, konuştukları Türkçe ile Arapçanın benzer derecede bozulmuş olduğunu ifade etmektedir. Buna karşılık bu topluluğun din dili ile edebî dilinin Arapça olduğunu kaydetmekte

[24] Üzüm, "Nusayrîlik", 271, Bağlıoğlu, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi*, 206.
[25] İsmail Şık, "Alevi Nusayrilerin İslam Anlayışı ve Temel İnançları (Adana/Akkapı-Hadırlı Örneklemi)", *Geçmişten Günümüze Alevilik I. Uluslararası Sempozyumu*, ed. Mehmet Yazıcı (Bingöl: Bingöl Üniversitesi Yayınları, 2014), 249-250; Hatice Arslan, "Başlangıcından Günümüze Arap Alevîliği-Nusayrîlik", *Mizanü'l-Hak: İslami İlimler Dergisi* 1 (2015), 102.
[26] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", *Türk Yurdu*, 5/25 (Kanun-i Sani 1927), 6-27; Ayrıca bk. Bk. Baha Said Bey, *Türkiye'de Alevî-Bektaşî, Ahi ve Nusayrî Zümreleri*, haz. İsmail Görkem (Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları, 2000), 171-185.
[27] Halil İbrahim Bulut, "Tarih, İnanç, Kültür ve Dinî Ritüelleriyle Nusayrîlik", *Ortadoğu Yıllığı 2011*, ed. Kemal İnal-Muhittin Ataman (Sakarya, 2011), 606.
[28] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 6.

ve mezhep mensuplarının kökenleri hakkında ancak ayrıntılı ve ilmî araştırmalar neticesinde sağlıklı sonuçlara varılabileceğini dile getirmektedir.[29]

Baha Said, Adana Türk Ocağı'nın çalışma sahasında önemli bir yer tutan Tahtacı ve Sûfiyân Kızılbaşları hakkında da rehberlik faaliyetlerinin yürütülmesi gerektiğini belirtmektedir. Ona göre bu topluluklara mensup oldukları Türk boylarının tanıtılması gerekmektedir. Zira söz konusu topluluklar çoğu zaman kendilerini asil Türk topluluğunun dışında görmekte ve bu yönde ortak bir kanaat taşımaktadırlar. Buna karşılık mensubu bulundukları Avşar, Farsak, Kınık, Dodurga, Bayat ve Kayı gibi Oğuz boylarına ait aşiret adları, Adana'daki Türk varlığını meydana getiren soyların kökenlerini açıkça ortaya koymaktadır.[30]

Baha Said'in tespitlerine göre Antakya'nın Müslümanlar tarafından ilk defa fethedildiği dönemde, Hristiyanlarca büyük kutsiyet atfedilen kalenin çevresinde çeşitli milletlerden oluşan muhafız birlikleri bulunmaktaydı. Bu birliklerin büyük çoğunluğunu ise "Türkopol" olarak adlandırılan Türkler teşkil etmekteydi. Baha Said, bu hususun dikkate alınarak yürütülecek araştırmalar sayesinde Adana'da yaşayan Nusayrîlerin kökenleri hakkında sağlam belgelere ulaşılabileceği kanaatini taşımaktadır.[31]

Baha Said'e göre Nusayrîlerin usulleri ile harfler, sayılar ve benzeri gaybî unsurlara dayanan düşünce yapısı, özellikle akide ve iman bakımından Budizm ile benzerlik göstermektedir. Ona göre harfler, sayılar ve yıldızlara yüklenen anlamlar, Budizm'deki devir ve tenasüh anlayışını destekleyen bir mahiyet arz etmektedir. Bu sebeple Nusayrîleri, söz konusu özellikleri itibarıyla Moğol ve Tibet dinlerinin salikleri arasında değerlendirmektedir. Ayrıca Nusayrîlerin benimsedikleri fikirler, şiarlar ve düsturların, kendilerinden önce aynı bölgede ve çevresinde yaşayan Sâmî toplulukların inançlarıyla büyük ölçüde uyuşmadığını, buna karşılık bölgenin genel inanç yapısı ve gelenekleriyle önemli ölçüde uyum gösterdiğini ifade etmektedir.[32]

Diğer taraftan Baha Said, genel olarak Bâtınî mezheplerde metafizik unsurlara yönelik ciddi muhalefetlerin bulunduğunu belirtmektedir. Bununla birlikte, zaman içerisinde bu mezheplerin düşünce dünyalarının hurafelerle tahrip olduğunu ve neticede insanlığın en olumsuz toplumsal görünümlerinden biri hâline geldiklerini ifade etmektedir.[33]

Baha Said'e göre Nusayrîler, inançlarını çoğunlukla Ali-İlâhîlik çerçevesinde ifade etmekte veya bu kimlik altında görünür kılmaktadır. Bu bağlamda, Hz. Ali'nin Buda'nın aslı gibi kabul edildiğini, başka bir ifadeyle Budist gelenekteki Buda figürüne benzer bir konumda değerlendirildiğini ileri sürmektedir. Ona göre bu inanç sisteminde temel figürler ve kavramlar İslâmî terminolojiyle yeniden adlandırılmış olup bu kapsamda Allah, Muhammed, Ali, Hasan ve Hüseyin isimleri ön plana çıkarılmıştır.[34]

Nusayrîlerin etnik kökenine dair kaynaklarda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Osmanlı Arşiv belgelerinde "Evlâd-ı Arap'dan Nusayrî Kabilesi" şeklinde tanımlanan Nusayrîler, Cumhuriyet Arşivi raporlarında Türk kökenli ve Alevîlik içerisinde değerlendirilen bir İslâmî fırka olarak ifade edilmiştir. Buna karşılık, bazı araştırmalarda Nusayrîlerin Arap etnik kökenine mensup oldukları belirtilmiştir.[35] Bu bağlamda, Nusayrîler arasında atalarının Arap kabilelerinden Evs

[29] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 6.
[30] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 7.
[31] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 7.
[32] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 7-8.
[33] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 8.
[34] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 8.
[35] Hüseyin Türk, "Nusayrîlerin Etnik Kökeni", *Alevîlik-Bektaşîlik Araştırmaları Dergisi* 28 (Aralık 2023), 11; Ayrıca Nusayrîlerin Kökeni hakkında bk. Abdullah Er, "Fransızca Yazılı Kaynaklarda Nusayrîler", *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi* 54 (Ocak 2010), 150-151.

ve Hazrec'e mensup olduğuna yönelik bir inanç yaygın olmakla birlikte, soylarının Gassanoğulları'na dayandığını ileri sürenler de bulunmaktadır.[36]

Baha Said, Türk kabileleri ile Doğu bölgelerinde yaşayan halk ve aşiretlerin soy, dil, mezhep ve geleneklerini incelemeyi kendisine görev edinmiştir. Bu kapsamda, 1914-1939 yılları arasında Anadolu'daki Türk aşiretleri üzerine araştırmalar yürüttüğü ifade edilmektedir.[37] Bu araştırmaları doğrultusunda, Nusayrîlerin Türk kökenli olduğu tezini savunmuştur. Ancak Nusayrîler, kendi kimlik tanımlamalarında ağırlıklı olarak Arap kökenli olduklarını ifade etmişlerdir. Nitekim tarihsel ve sosyolojik veriler birlikte değerlendirildiğinde Nusayrîlerin Arap kökenli olduğu yönündeki görüşün literatürde daha yaygın kabul gördüğü anlaşılmaktadır.[38]

Yukarıda da belirtildiği üzere Baha Said, Nusayrîlerin etnik kökenine ilişkin kesin bir hüküm ortaya koymamakla birlikte Nusayrî zümrelerinin Türk kökenli olabileceğine yönelik vurgusunun bu toplulukların devlete bağlılıklarını güçlendirme amacına hizmet ettiğini ifade etmektedir. Ayrıca mevcut veriler ışığında Nusayrîlerin Arap, Türk veya başka bir etnik kökene mensup olduklarının kesin olarak belirlenemeyeceğini bu meselenin ancak kapsamlı ilmî araştırmalarla açıklığa kavuşturulabileceğini belirtmektedir. Öte yandan, Nusayrîlerin inanç sistemine ilişkin değerlendirmelerinde Budizm ile Moğol ve Tibet dinleri arasında çeşitli benzerliklere dikkat çekmekte ancak bu karşılaştırmaların etnik kökene yönelik kesin bir tespit niteliği taşımadığını daha çok inanç sistemleri arasındaki benzerlikleri ortaya koymayı amaçladığını göstermektedir

Nusayrîlerin Anadolu'da yaşadıkları yerlere ilişkin olarak Baha Said, Nusayrîler üzerine yaptığı incelemelerde, bu topluluğun başta Suriye olmak üzere Anadolu'da Hatay ve İskenderun Körfezi çevresindeki sahil ve dağlık bölgelerde ayrıca Adana, Tarsus, Mersin ve Silifke havalisinde yoğun olarak yaşadığını belirtmektedir.[39] Onun tespitine göre o dönemde Nusayrî topluluklarından Kamerîler ve Haydarîler ağırlıklı olarak Adana bölgesinde, Mütevâlîler ve Gıyâbîler ise daha çok İskenderun Körfezi'nin güney sahilleri ile çevresindeki dağlık bölgelerde ikamet etmekteydi. Bunun yanı sıra bazı Mütevâlî ve Gıyâbî gruplarının Adana sahil kesiminde de yaşadığını belirtmektedir. Baha Said, nüfus kayıtlarında Nusayrîlerin Müslüman olarak kaydedilmeleri sebebiyle, onların nüfuslarına ilişkin kesin ve istatistikî verilere ulaşmanın oldukça güç olduğunu ileri sürmektedir. Baha Said, Adana Türk Ocağı aracılığıyla ilçelerden Nusayrî köylerinin adları ve nüfuslarına ilişkin bilgilerin bir genelge vasıtasıyla talep edilmesi hâlinde en sağlıklı verilerin elde edilebileceği kanaatindedir. Bununla birlikte, Baha Said'in tahminlerine göre Antakya ve çevresinde yaklaşık yetmiş ila seksen bin civarında Nusayrî yaşamaktadır.[40]

[36] Cahit Aslan, "Nusayrîler'de 'Amcalık' Kurumu ve İşlevleri", *Antakiyat* 1/2 (Aralık 2018), 205.
[37] İsmail Görkem, "Türk Folklor Araştırma Tarihinde Millî Talim ve Terbiye Cemiyeti ve Bahâ Saîd Bey'in Yeri", *Uluslararası Beşeri Bilimler ve Eğitim Dergisi* 5/10 (7-9 Mayıs 1992), 13.
[38] Geniş bilgi için bk. Türk, "Nusayrîlerin Etnik Kökeni", 8-15.
[39] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 6. Ayrıca bk. Mustafa b. Ebû Bekr el-Kayserî, *Dâmiğu'n-Nusayriyye*, (İstanbul: Büyükşehir Belediyesi Atatürk Kitaplığı, Osman Ergin Yazmaları, nr. 97, 1979), 48; Abdülbaki Gölpınarlı, *100 Soruda Türkiye'de Mezhepler ve Tarikatlar* (İstanbul: Gerçek Yayınevi, 1969), 137.
[40] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9; Nusayrîlerin yaşadıkları yerler ve nüfusu hakkında bk. Er, "Fransızca Yazılı Kaynaklarda Nusayrîler", 151-152.

3. Baha Sadid'e Göre Nusayrîlerin İnanç Yapıları

Nusayrîlik, klasik İslâmî kaynaklarda, daha çok Hz. Ali'ye ulûhiyet atfedildiği, hulûl[41] ve ruh göçü anlamına gelen tenâsüh[42] gibi İslâm'ın temel inanç esaslarıyla bağdaşmadığı ileri sürülen öğretileri benimsediği iddiaları çerçevesinde ele alınmıştır. Bu doğrultuda söz konusu kaynaklarda Nusayrîliğin çoğunlukla sapkın, yıkıcı ve dinî öğretileri tahrif edici bir fırka olarak nitelendirildiği belirtilmiştir.[43] Tarih boyunca Nusayrîler arasında temel inanç esasları, dinî uygulamalar ve öğretilerin yorumlanması hususunda tam bir ittifak sağlanamamış olup bu nedenle söz konusu konuları farklı şekillerde ele alan çeşitli gruplar ortaya çıkmıştır.

Yaratılış nazariyesi hususunda Baha Said, Nusayrîlerin, Gıyâbî kolunun inancını ön plana çıkarmıştır. Bu inanca göre insanın yeryüzüne inişi anne rahmindeki "nutfe" ile başlamıştır. Bu anlayış doğrultusunda "nutfe", yaratılışın temel makamı olarak görülmekte olup Satr-ı İmâmî öğretisinde belirtilen nokta sembolüyle ilişkilendirilmiştir. Bu nedenle Hz. Ali'ye atfedilen "Ben, Besmele'deki bâ'nın altındaki noktayım" sözü, Gıyâbî yorumunda en öneli sırlardan biridir. Baha Said'e göre Ğıyâbîlerin bu yorumu, Hz. Ali'nin zatının da yaratılışın başlangıcını temsil eden "nokta" ve "nutfe" ile özdeşleştirilmesine dayanmaktadır. Buradan hareketle rahim, yaratılışın sırrını barındıran kutsal bir makam olarak değerlendirilmektedir.[44]

Baha Said, bu anlayışın sonucu olarak Gıyâbîler arasında belirli bir dinî uygulamanın bulunduğunu ileri sürmektedir. Buna göre her Gıyâbî erkek, sabah gün doğarken sırt üstü yatan eşinin rahmine yönelerek belirli dualar okumakta, ardından göbek ve göğüs bölgelerine niyazda bulunmaktadır. Baha Said'e göre bu uygulamada okunan "*Şüphesiz biz Allah'a aidiz ve sonunda O'na döneceğiz*"[45] anlamındaki ayet kendi maksatları doğrultusunda yorumlanmıştır. Baha Said, söz konusu uygulamada göbeğin arşı, iki göğsün ise Hz. Muhammed ile Selmân-ı Fârisî'nin makamlarını temsil ettiğinin kabul edildiğini ifade etmektedir. Ayrıca bu üçlü sembolik yapının Yahudi kaynaklarında yer alan benzer üçlü tasavvurlarla paralellik gösterdiğini ileri sürmektedir.[46]

Kısaca Baha Said, Gıyâbî Nusayrîlerin, yaratılışın anne rahmindeki nutfe ile başladığına inandıklarını ve bunu Satr-ı İmâmî öğretisindeki nokta sembolüyle ilişkilendirdiklerini ayrıca Gıyâbîler arasında rahme yönelik sembolik bir dinî uygulamanın bulunduğunu ve bu uygulamadaki sembollerin bazı Yahudi kaynaklarındaki üçlü tasavvurlarla benzerlik gösterdiğinin ileri sürüldüğünü aktarmıştır.

Tanrı Tasavvuru ve hulûl İnancı konusunda Baha Said, Nusayrîlerin diğer Alevî ve Bâtınî topluluklarda olduğu gibi Allah'ın insan suretinde tecelli edebileceğine inandıklarını belirtir. Ona göre bu anlayış, Kur'an'da insanın yeryüzünde halife olarak yaratıldığını bildiren ayetin[47]

---

[41] İlâhî zâtın veya sıfatların herhangi bir yaratılmış varlığa ya da bütün mahlûkata intikal ederek onlarla birleşmesini ifade eden hulûl inancının tarihî kökenleri ile İslâm düşüncesinde hulûl hakkında bk. Yusuf Şevki Yavuz, "Hulûl (İslâm Düşüncesinde Hulûl)", *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi* (İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 1998), 18/341-344.

[42] Tenâsüh kavramı, Türkçede ruh göçü**,** yeniden doğuş ve Batı dillerinden Türkçeye geçen reenkarnasyon terimleriyle ifade edilmektedir. Geniş bilgi için bk. Ali İhsan Yitik, "Tenâsüh", *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*, 40/441-443 (İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2011), 40/441-443; Nusayrîlerde tenâsüh anlayışına göre kendi dinleri içerisinde günah işleyen kimselerin Yahudi, Hristiyan veya Sünnî Müslüman kimliğiyle yeniden dünyaya geldiklerine; Hz. Ali'yi hiç tanımamış ve inançsız olarak nitelendirilen kişilerin ise çeşitli hayvan sûretlerinde tekrar var olduklarına inanılmaktadır. Nusayrî inancına göre ruhların yedi aşamayı tenâsüh yoluyla tamamlamasının ardından daha önce bulundukları yıldızlara yeniden yükseldikleri kabul edilmektedir. Bk. Mehmet Bulğen-Adnan Bülent Baloğlu, "Tenâsüh", *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*, 40/443-446 (İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2011), 443.

[43] Muhammet Raşit Batur, "Nusayrîliğin Teşekkülü ve İnanç Esasları", *İnsan Ve Toplum*, 3/5 (Haziran 2013), 61.

[44] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 26.

[45] Bakara Sûresi, 2/156.

[46] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 26.

[47] Sâd Sûresi 38/26

yanı sıra, "İnsan benim sırrımdır, ben de onun sırrıyım"[48] ve "İnsanı kendi suretimde yarattım"[49] anlamındaki rivayetlerle temellendirilmektedir. Bu doğrultuda Nusayrîlerin, Allah'ın en mükemmel yaratılmış varlık olan insan suretinde göründüğünü kabul ettiklerini ileri sürmektedir. Ayrıca Baha Said, bu inancın bir uzantısı olarak Hz. Ali'nin "kıbâb-ı zâtiyye" olarak adlandırılan ilahî tecellilerden biri kabul edildiğini ifade etmektedir. Buna göre ilahî hakikat farklı dönemlerde Hz. Şit, Hz. Hârûn, Hz. Yusuf, Âsaf, Şem'ûn es-Safâ diğer adıyla Aziz Petrus ve nihayet Hz. Ali suretinde tezahür etmiştir.[50] Baha Said, Nusayrî inancında Hz. Ali'nin yedi devriyeyi tamamladıktan sonra melekût âlemine döndüğüne bir daha yeryüzüne inmeyeceğine ve bundan sonra Muhsin-i Sırrü'l-Hafî'nin zuhuru ile dünyanın sonunun geleceğine inanıldığını belirtmektedir.[51]

Baha Said Nusayrîlerin, Hz. Muhammed'in de dokuz farklı tecelli veya "don değiştirme" sürecinden geçtiğini kabul ettiklerini belirtmektedir. Onlar bu görüşü Hz. Muhammed'in Hz. Ali'ye hitaben söylediği kabul edilen "Sen bana Hârûn'un Mûsâ'ya olan konumu gibisin"[52] anlamındaki hadisle temellendirdiklerini ileri sürmektedir. Ayrıca Hz. Hârûn ile Hz. Ali arasında kurulan akrabalık ve manevî benzerlik üzerinden, Hz. Muhammed ile Hz. Ali arasındaki ilişkinin de sembolik bir süreklilik içinde yorumlandığını ifade etmektedir.[53]

Aslında Nusayrîlikte görülen hulûl inancı, kökenleri eski çağlara uzanan ve tanrının beşerî âlemde bir varlıkta tecelli edebileceğini kabul eden inanç anlayışıyla benzerlik göstermektedir. Bu anlayışın Budizm, Hinduizm, kadim Mısır dini, Hristiyanlık ve bazı Şiî gulât fırkalarında da görüldüğü belirtilmektedir. Buna karşılık Ehl-i Sünnet, Mu'tezile ve mûtedil Şiî ekoller, hulûl inancını bütün biçimleriyle İslâm itikadına aykırı kabul etmiş ve reddetmiştir.[54]

Ayrıca Gıyâbîler ve Mütevâlîler, Hz. Ali'nin Hz. Muhammed'in amcasının oğlu olduğunu kabul etmekle birlikte, hakikatin Hz. Ali'ye ait bulunduğunu ve onun Allah'ın gölgesi konumunda olduğunu iddia etmektedirler.[55] Baha Said'e göre Nusayrîlerde görülen bu tür bir hulûl anlayışı, Hristiyanlıktaki hulûl telakkisiyle benzerlik göstermediği gibi Sâmî dinlerin akîde esaslarıyla da bağdaşmamaktadır.[56]

Yukarıda ifade edildiği gibi Baha Said, Nusayrîlerin Allah'ın insan suretinde tecelli edebileceğine inandıklarını ve Hz. Ali'yi ilahî tecellilerden biri olarak kabul ettiklerini bu anlayış doğrultusunda Hz. Muhammed ve Hz. Ali arasındaki ilişkinin sembolik bir süreklilik içinde yorumlandığını, hulûl inancının ise çeşitli rivayetlerle temellendirilmeye çalışıldığını aktarmış ayrıca Nusayrîlerde görülen bu anlayışın zühd ve inziva eğilimiyle birlikte değerlendirildiğini belirtmiştir.

Diğer taraftan Nusayrîler, Hz. Ali'nin ulûhiyetinin tecelli ettiği yer konusunda kendi aralarında görüş ayrılığına düşmüşlerdir. Bu çerçevede, Hz. Ali'nin güneşte bulunduğuna inananlar

---

[48] Bu sözün klasik hadis kaynaklarında tespit edilemediği daha çok tasavvuf literatüründe hadis-i kudsî olarak nakledilen bir rivayet olduğu belirtilmektedir. Bk. Osman Türer. "Harîrî-zâde'nin, Sülûkün Mertebelerine Dair Bir Risalesi: Feyzu'l-Muğnî Min Sırri Hadîsi 'Men Talebenî", *Tasavvuf İlmî ve Akademik Araştırma Dergisi* 23 (2009), 48, dn. 31.

[49] Bu ifade "Allah Âdem'i kendi sûreti üzere yarattı" şeklinde geçmektedir. Buhârî, "İsti'zân", 1 (No. 6227); Müslim, "Birr", 115 (No. 2612).

[50] Geniş bilgi için bk. Hatice Arslan, "Klâsik Nusayrî Eserlerinde Tanrı Düşüncesi", *Turkish Studies=Türkoloji Araştırmaları* 12/35 (2017), 473-474.

[51] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 24-25.

[52] Buhârî, "Megāzî", 78 (No. 4416); Müslim, "Feżâ'ilü's-Sahâbe", 30 (No. 2404).

[53] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 25.

[54] Mehmet Hanifi Yoldaş-Mehmet Kubat, "Çağdaş Nusayrî Şeyhlerinin Eserlerinde Tanrı Tasavvuru ve Hz. Ali Algısı", *Yakın Doğu Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* 10/1 (Haziran 2024),11-12.

[55] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 8.

[56] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9.

Şemsiyye veya Şimâliyye, ayda bulunduğuna inananlar ise Kameriyye ya da diğer adıyla Kilâziyye olarak adlandırılmıştır.[57]

Baha Said'in aktarımlarına göre de Nusayrîler, temel inanç esaslarına ilişkin bazı küçük içtihat farklılıkları nedeniyle genel olarak Kamerîler (Kilâziyye), Haydarîler (Şemsîler), Mütevâlîler[58] ve Gıyâbîler[59] olmak üzere dört ana kola ayrılmışlardır. Kamerîler, Hz. Ali'nin makamının ayda bulunduğuna inanırlar. Haydarîler ise Kamerîlerden farklı olarak Hz. Ali'nin ilâhî bir varlık olduğu gerekçesiyle makamının arşta bulunduğunu kabul ederler. Bu anlayışlarını, *"Rahmân olan Allah, Arş'a istivâ etmiştir."*[60] meâlindeki ayete dayandırmakta buna bağlı olarak Allah'ın arş üzerinde bulunduğunu, ay ve güneşin ise yaratılmış varlıklar olması sebebiyle ilâhî varlık için belirli bir mekân tahsis eden bu tür nitelemelerin uygun olmadığı görüşündedirler. Mütevâlîler, Şiîliğin İsnâaşeriyye kolunu esas alarak İmâmiyye'ye yakın görüşleri benimsemekle birlikte Hz. Ali'nin zâtî makamının arş olduğuna da inanmaktadırlar. Ancak Baha Said'e göre onlar Kur'an'ın bütün anlamlarını kavramaktan aciz olduklarını ileri sürmelerine rağmen Kur'an'ı te'vil etmekten de geri durmamışlardır. Gıyâbîler ise Mütevâlîlerle aynı görüşleri paylaşmakla birlikte Hz. Ali'nin Hz. Muhammed'in amcasının oğlu olduğunu kabul etmekte buna karşılık hakikatin Hz. Ali'ye ait bulunduğunu ve onun Allah'ın gölgesi konumunda olduğunu iddia etmektedirler.[61]

Baha Said'e göre Mütevâlîler ile Gıyâbîler arasındaki temel ayrım, kadın ve aile hayatına ilişkin dinî uygulamalarda ortaya çıkmaktadır. Ona göre Mütevâlîler, inanç esasları bakımından Haydarî ve Kamerî gruplardan büyük ölçüde farklılaşmamakta yalnızca Fâtıma ismini "Fâtır" şeklinde okumamalarıyla ayrılmaktadır. Gıyâbîler ise bu konuda daha farklı ve ileri düzeyde yorumlar geliştirmişlerdir.[62]

4. Baha Said'e Göre Nusayrîlikte İman Telkini ve Şartları

Baha Said'in aktarımlarına göre Nusayrîlikte bireyin cemaate kabulü, on sekiz yaşına ulaştıktan sonra iki şahidin tezkiyesi ve kefalet silsilesinin tamamlanmasıyla gerçekleşmektedir. Bu sürecin ardından kişi "mahremiyet-i üns" aşamasına kabul edilmekte ve inanç telkinini almaktadır. Baha Said, bu uygulamanın Kızılbaş Süfyan ayin ve kabul törenleriyle benzerlik taşıdığını da belirtmektedir.[63] Bir sonraki toplantıda, kişinin temizlenmiş bir halde meydana girmesi teklif edilmektedir. Baha Said, Bektaşî ve Kızılbaş topluluklarında da rehberin talibi benzer şekilde temiz bir halde meydana dâhil ettiğini belirtmektedir.[64] Talip vacip olan adağı temin ederek toplanma zamanında ihvana bildirir. Toplanma gecesinde talip özel bir yerde banyo yaptırılarak tertemiz bir şekilde topluluğun huzuruna çağrılır. Talip şeyhin önünde diz çöker. Şeyh onun beline bir kuşak bağlar. Baha Said, buna benzeyen bir uygulamanın da Bektaşîlerde olduğunu belirtir.[65] Başına da hakikat tacı denen yeşil sarıklı beyaz bir keçe sırtına da marifet hırkası denilen bir aba giydirilir. Bundan sonra talip meydanda mürşidin sol

---

[57] Abdülhamit Sinanoğlu, *Nusayrîlerin İnanç Dünyası ve Kutsal Kitabı*, (Konya: Esra Yayınları, 1997), 25.

[58] Bazı kaynaklarda Nusayrîler, Mütevâlîler ve diğer Şiî topluluklar benzer dinî ve tarihî bağlamlar içerisinde birlikte anılabilmektedir. Bununla birlikte, klasik mezhep literatüründe Mütevâlîler Nusayrîliğin bir alt kolu olarak değerlendirilmemektedir. Aksine, bu terim daha çok Lübnan'daki İmâmî İsnâaşerî Şiî toplulukların ifade eden mahallî bir adlandırma olarak kullanılmaktadır. Bk. Mustafa Öz, "Metâvile", *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, 29/404-405 (Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 2004), 29/404.

[59] Akademik literatürde Nusayriliğin temel mezhep tasnifleri arasında Gıyâbî diye yaygın kabul görmüş bir ana kol bulunmamaktadır. Mütevâli ve Gıyâbî terimleri, özellikle Hatay ve çevresindeki Arap Alevileri yani Nusayrî toplulukları hakkında konuşulurken zaman zaman duyulmaktadır. Akademik kaynaklar daha çok Kilâziyye ve Haydariyye ayrımını esas almaktadır.

[60] Tâhâ 20/5.

[61] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 8.

[62] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 26.

[63] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 10. sayfadaki ikinci dipnot.

[64] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 10. sayfadaki üçüncü dipnot.

[65] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 10. Sayfadaki beşinci dipnot.

tarafından ayakta durur ve yanında da rehber oturur.[66] Baha Said'in aktardığına göre meclis-i üns töreninde talip, cemaatin nasihatlerinin ardından Hz. Ali'ye bağlılığını ifade eden sözleri söyleyerek ikrarını açıklar. Daha sonra şeyhin Zülfekar'ı talibin boynu hizasında tutmasıyla sır saklama ve gizliliği koruma üzerine üç kez yemin ettirilerek, yeminin ardından talip cemaat tarafından tebrik edilir ve tören "asel-i musaffâ" adı verilen bal şerbetinin dağıtılmasıyla son bulur. Nusayrîlikte "Asel-i musaffâ ile tezkiye olunduğum haram olsun" sözü ise en ağır yemin ifadelerinden biri kabul edilmektedir.[67] Baha Said'e göre "şarâben tahûrâ" sırrına mazhar olduğu kabul edilen asel şerbetinin ardından şeyh huzurunda talibe kemer, taç ve hırka giydirilir. Daha sonra bu kıyafetler çıkarılarak yedi katlı bir bohçaya konulur, talip bohçayı öperek şeyhe teslim eder, şeyh ise bohçayı ve Zülfekar'ı öptükten sonra yerine kaldırır. Tören, cemaatin "Bârekallahü Mevlânâ el-Aliyyü'l-a'lâ" sözleriyle yeni kabul edilen talibi tebrik edip tokalaşmasıyla son bulur.[68]

Baha Said'e göre Tahtacılarda "Alaca değnek", Süfiyan süreklerinde "Çokan çomağı" ve "Pençe mülhime ağacı" olarak adlandırılan unsurlar aynıdır.[69] Baha Said'e göre Nusayrîlerin telkin merasiminde "'asel-i musaffâ" olarak adlandırılan bal şerbetinin dağıtılması mezhebî bir anlam taşımaktadır. Nusayrîlerin en kutsal sembollerinden biri ise "AMS" kelimesidir. Bu kelime, lâm ve mim harflerinin mübadelesi ile sîn harfinin değişimi sonucunda "asel" kavramının ortaya çıkışıyla ilişkilendirilmektedir. Bu çerçevede, Nusayrîlere ait bazı kutsal uygulamaların "ilm-i hurûf" ve "ilm-i esmâ" anlayışıyla bağlantılı olduğu ileri sürülmektedir.[70]

Baha Said'e göre Bektaşî geleneğinde bal şerbeti, ayran ve kımız gibi içecekler ikram edilmektedir. Özellikle *Velâyetnâme*'de yoğurt ve baldan özel olarak bahsedildiğini ifade etmektedir. Ayrıca bazı Bektaşî meydanlarında, nasip alma ritüelinin ardından şerbet dağıtma geleneğinin bulunduğuna dikkat çekmektedir.[71]

Burada Baha Said'in, Nusayrî, Tahtacı, Süfyan ve Bektaşî geleneklerinde görülen değnek ve şerbet gibi bazı ritüel unsurların ortak sembolik anlamlar taşıdığına ve bu topluluklar arasında kültürel ve inançsal benzerlikler bulunduğuna dikkat çekmeye çalıştığı anlaşılmaktadır. Özellikle bal şerbeti ve harf sembolleri üzerinden Nusayrî uygulamalarının gizli anlamlar ve hurûfî yorumlarla ilişkili olduğunu ileri sürerek benzer uygulamaların Bektaşî ve diğer Alevî çevrelerde de bulunduğunu vurgulamak istemektedir.

Nusayrî telkininde genç bir talip, mürşidin huzurunda yeni mukaddes kaftanını giyerek diz çöküp oturduğunda, ona Hamse-i Nûriyye-i Mustafaviyye, Hamse-i Eytâm, Seb'atü'l-Kevâkibi'd-Dürriyye, Hameletü'l-Arş, Tis'atü Kıbâbü'l-Muhammediye, Aşere Deccâcâtü'z-Zekiyye, İhdâ Aşer Metâliʿü'l-Bâbiyye ve İsnâ Aşer Satrü'l-İmâmiyye gibi akaid esaslarına ilişkin iman telkini yapılır. Baha Said, bu telkinleri ayrıntılı bir şekilde açıklamıştır.

Baha Said, "Hamse-i Nûriyye-i Mustafaviyye", Hz. Muhammed, Hz. Fâtıma, Hz. Hasan, Hz. Hüseyin ve Muhsin-i Sırru'l-Hafî'den oluşan beş kutsal şahsiyeti ifade ettiğini belirtmektedir. Nusayrî anlayışında bu şahsiyetlere farklı anlamlar yüklenmekte, Hz. Muhammed ve Hz. Fâtıma özel niteliklerle anılırken, Hasan ve Hüseyin'in ulûhiyetle ilişkili bir konumda değerlendirildiğini aktarmaktadır. Muhsin-i Sırru'l-Hafî ise gaip imam anlayışı çerçevesinde ele alınmakta ve yeniden zuhur edeceğine inanıldığını belirtmektedir. Baha Said, Muhsin'in zuhuru konusunda ebced hesapları ve ayet yorumlarına dayalı çeşitli tarihler ileri sürüldüğünü,

[66] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 10
[67] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 11.
[68] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 12.
[69] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 11. Sayfadaki altıncı dipnot.
[70] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 11. Sayfadaki yedinci dipnot.
[71] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 12. Sayfadaki sekizinci dipnot

bu beklentilerin Nusayrî çevrelerinde önemli bir yer tuttuğunu ifade etmektedir.[72] Baha Said, Nusayrîlere ilişkin söz konusu hesaplamaları hurafe niteliğinde ve tarihsel bir anlatı olarak değerlendirmektedir. Ayrıca, bu tür inançların insan toplulukları arasında varlığını sürdürdüğünü ve etkisini devam ettirebildiğini ifade ederek, benzer inanç sistemlerine karşı dikkatli olunması gerektiğine işaret etmektedir.[73]

Baha Said, "Hamse-i Eytâm" kavramının Nusayrî geleneğinde Hz. Ali'nin sırlarına vakıf olduğu kabul edilen Ebû Zer el-Gıfârî, Mikdâd b. Esved el-Kindî, Abdullah b. Revâha el-Ensârî, Osman b. Maz'ûn ve Kanber b. Kâvân ed-Dûsî'den oluşan beş kişiyi ifade ettiğini aktarmaktadır. Sûfiyân Süreği'nde "Kanber" figürüne yer verildiğini belirten Baha Said'e göre bu şahsiyet Bektaşî ve Sûfiyân geleneklerinde de önemli bir yere sahiptir. Ona göre "Kanbersiz düğün olmaz" atasözü, "Kanbersiz meydan açılmaz" anlayışıyla ilişkili olup "meydan" kavramı sembolik olarak tören anlamı taşımaktadır. Ayrıca bazı rivayetlerde Hz. Ali'nin sırrına vakıf olan tek kişinin Kanber olduğu yönünde anlatıların bulunduğunu ifade etmektedir. Nusayrîlikte her Şeyhü'l-velâye'nin beş yardımcıya sahip olması gerektiği ve bu kişilerin Meclis-i Ünsî veya İhvân teşkilatlarında belirli makamları temsil ettiği belirtilmektedir. Baha Said, bu makamların ilâhî görevlerle ilişkilendirildiğini, Kanber makamının ise şeyhin halifesi ve başyardımcısı konumunda bulunduğunu ifade etmektedir. Bu bağlamda şeyh, "makam-ı Ali"nin vekili olarak değerlendirilmektedir. Baha Said'e göre Bektaşî ve Sûfiyân geleneğinde bu makamlar on iki çerağ ile sembolize edilen on iki nûrânî işaret şeklinde temsil edilmekte, Hamse-i Eytâm içerisinde yer alan makamlar ise Cebrail, Mikâil, Azrail ve İsrafil gibi meleklerle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca Nusayrîlikteki Azrail makamının, Sûfiyân ve Bektaşî geleneğindeki "Gözcü" görevine karşılık geldiğini belirtmektedir.[74] Dolayısıyla Baha Said'in burada özellikle Hamse-i Eytâm ve Kanber makamı üzerinden, Nusayrî, Sûfiyân ve Bektaşî geleneklerindeki makam ve görevlerin sembolik olarak birbirine karşılık geldiğine dikkat çekmeye çalıştığı anlaşılmaktadır.

Baha Said, Seb'atü'l-Kevâkibi'd-Dürriyye kavramının, Hamse-i Eytâm'a Hz. Muhammed ve Selmân'ın eklenmesiyle oluşan yedi kişilik yapı ile ilişkili olduğunu ve bu anlayışın yedi yıldız ile yedi kat gök tasavvuruyla bağlantılı şekilde değerlendirildiğini ifade etmektedir. Bu bağlamda, merasimlerde kullanılan kemer, taç ve hırkanın yedi katlı bohçaya yerleştirilmesi, göğün yedi katını temsil eden sembolik bir uygulama olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca yedi yıldızın belirli manevî makamların temsilcileri kabul edildiği ve "Ve mâ minnâ illâ lehû mekâmun ma'lûm"[75] ayetinin bu makam anlayışıyla ilişkilendirildiği ifade edilmektedir.[76]

Baha Said, Hameletü'l-Arş veya "Sekizler" kavramının, Hamse-i Eytâm'a Hz. Ali'nin Tâlib, Akîl ve Ca'fer adlı oğullarının eklenmesiyle oluşan ve arşın taşıyıcıları olarak kabul edilen grubu ifade ettiğini belirtmektedir. Ayrıca bu anlayışın Hz. Ali'nin arşla ilişkilendirilmesiyle bağlantılı olduğunu ve bazı yönleriyle Yunan mitolojisindeki Jüpiter anlatılarıyla benzerlik taşıdığını ifade etmektedir. [77]

Tis'atü Kıbâbü'l-Muhammediye[78] kavramı Hz. Muhammed'in dokuz farklı tezahürünü ifade eden bir anlayışı ifade etmektedir. Ona göre "Muhammed'den Muhammed'e" şeklinde

[72] Bk. Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 12-14.
[73] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 14. sayfadaki onuncu dipnot.
[74] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 14-15.
[75] Sâffât 37/164.
[76] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 15.
[77] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 15-16.
[78] Baha Said makalesinde Tis'atü Kıbâbü'l-Muhammediye ifadesini kullanmış olsa da bu ifadeye klasik Arapça sözlüklerde ve Nusayrîliğe ilişkin yayımlanmış temel kaynaklarda yaygın ve temel bir terim olarak rastlanmamaktadır. "Tis'atü Kıbâbü'l-Muhammediye" ifadesinin yerine "Tis'atü Ebvâbi'l-Muhammediyye" şeklinde kullanılması daha doğru olabilir. Çünkü Şiî literatüründe Arapça kapı anlamına gelen "bâb" kavramı mezhep büyükleri için kullandıkları dinî unvan olduğundan önemli

açıklanan bu tasavvur, İsnâaşeriyye'deki on iki imam silsilesi ve Muhammed Takî ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca bazı tasavvufî geleneklerde Hz. Muhammed'in, Hasan ve Hüseyin dışındaki sekiz torununun tezahürleriyle birlikte toplam dokuz defa dünyada bulunduğuna inanıldığını belirtir. Bu anlayışta Hz. Muhammed ve Hz. Ali, ruhen en mükemmel varlıklar olarak belirli merhalelerden geçerek "daimî ruh" mertebesiyle melekler âlemine ulaşmaktadır. Baha Said, bu görüşün özellikle Bektaşîlik ve bazı tarikat geleneklerinde "don değiştirme" kavramı ile ifade edildiğine dikkat çekmektedir. Baha Said, bu inanç çerçevesinde insan ruhunun ölümden sonra başka bir bedende yeniden dünyaya geldiğini ve bu döngünün kişinin manevi derecesine göre farklı sayılarda tekrar edebileceğine inanıldığını belirtmektedir. Ruhun daha az devir geçirerek ebedî âleme ulaşması üstün bir mertebe olarak kabul edilirken, günahkâr ruhların ise "esfelü's-sâfilîn" derecesine düşebileceği belirtilmektedir. Bu çerçevede Hz. Muhammed'in "urûc" sürecini dokuz aşamada tamamladığı ve "kıbâb-u tis'a" sahibi, yani kemalin dokuz mertebesine ulaşmış en mükemmel varlık olarak kabul edildiği ifade edilmektedir.[79]

Aşere Deccâcâtü'z-Zekiyye, onuncu intikal devresini temsil eden ve Muhammed b. Ebû Bekir'e nispet edilen bir makamdır. Bu anlayışta, Hz. Ali'ye Muhammed b. Ebû Bekir derecesinde bağlılık ve sadakat gösteren kimselerin on intikal devresini tamamladıktan sonra melekler makamına yükselerek ebedî hayata kavuşacaklarına inanılmaktadır.[80]

İhdâ Aşer Metâliʿü'l-Bâbiyye adlı bu makam, Selmânî devrine ait on birinci makamı ifade etmektedir. Baha Said'in aktardığına göre Nusayrîliği ihya eden Muhammed b. Nusayr en-Nemîrî'nin bu makama ulaşarak "on bir doğum kapısını" açtığı son hakikatleri açıklayıp arşa ait devrini tamamladığı ve adını mensuplarına bıraktığı aktarılmaktadır. Ayrıca makamının arşta Hz. Ali'nin solunda bulunduğu belirtilmektedir.[81] Baha Said'e göre Nusayrîlikte "Metâliʿ-i Bâbiyye" makamı, "Muhammed hicâb-ı azîm, Selmân bâb-ı kerîm, Ali asl-ı kadîm" anlayışıyla açıklanmaktadır. Bu çerçevede Muhammed "hicâb" , Selmân "bâb" ve Hz. Ali ise hakikatin aslı olarak kabul edilmektedir. Baha Said, bu anlayışın "Ben ilmin şehriyim, Ali de onun kapısıdır" hadisiyle bağdaşmadığını ileri sürmekte ve Nusayrî inancında Hz. Muhammed'in zahiren saygı görmekle birlikte itikadî açıdan merkezî bir konumda değerlendirilmediğini ifade etmektedir.[82]

Baha Said'e göre Nusayrîlikte "İsnâ Aşer Satrü'l-İmâmiyye", Ehl-i Şîa'nın On İki İmam anlayışının bâtınî ve hurûfî yorumlarla yeniden şekillendirilmiş biçimini ifade etmektedir. Nusayrîler tarafından "Satr-ı İmâmî" olarak adlandırılan bu anlayış, yalnızca ehline açıklanan gizli remizler olarak kabul edilmekte ve yeni kabul edilen taliplere aşamalı biçimde öğretilmektedir. Baha Said, bu anlayışın ilm-i hurûf, ilm-i cifr ve ledünnî bilgi anlayışı üzerine temellendirildiğini, harfler, satırlar ve kelime dizilişleri üzerinden çeşitli sembolik anlamlar üretildiğini aktarmaktadır. Bu kapsamda "imam" kelimesinin farklı harf tertipleriyle yorumlandığı, Kur'an'daki Levh-i Mahfûz, Rakk-ı Menşûr ve Beytü'l-Maʿmûr gibi kavramlarla ilişkilendirildiği ve bu yöntemlerin Muhyiddin Arabî gibi mutasavvıflar tarafından da kullanıldığı belirtilmektedir. Baha Said, bu hesaplamaların oldukça karmaşık olduğunu ve geçmişte önemli bir ilmî uğraş alanı olarak görüldüğünü ifade etmektedir. Baha Said'e göre Nusayrîler, On İki İmam anlayışını bütünüyle reddetmemiş aksine kendi inanç sistemi içerisinde yeniden yorumlamışlardır. Bu çerçevede Hamse-i Eytâm, Hameletü'l-Arş ve

bir yer tutmaktadır. Nusayrî inanç sisteminde de belirli kutsal şahsiyetler "bâb" olarak nitelendirilmektedir. Örneğin Nusayrîliğin kurucusu Muhammed b. Nusayr en-Nemîrî'nin (ö. 270/883) on birinci imam Hasan el-Askerî'ye "bâb" olduğu iddiasında bulunduğu ifade edilmektedir. Bk. Metin Yurdagür, "Bâb", *Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi*, (İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları 1991), 4/359.

[79] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 16-17.

[80] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 17.

[81] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 17.

[82] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 18.

Muhsin-i Sırru'l-Hafî gibi unsurlar imam silsilesiyle ilişkilendirilerek On İki İmam öğretisine farklı bir yapı kazandırılmıştır. Ayrıca imamın gaip olduğu, temsilcileri aracılığıyla varlığını sürdürdüğü ve bu temsilin müçtehitler ile mürşitler tarafından devam ettirildiği anlayışına yer verilmektedir. Baha Said, bu remiz ve yorumların dinî otoriteyi temellendiren bir işlev gördüğünü belirtmekle birlikte bu gelenek içerisinde yer alan mutasavvıfların manevî yönlerinin ve ilmî gayretlerinin de dikkate alınması gerektiğini ifade etmektedir.[83]

Ayrıca Baha Said, İslâm tarihi boyunca Hz. Ali'yi merkeze alan çeşitli grupların, farklı sayılarda imam anlayışları geliştirdiğine işaret etmiştir. Bu bağlamda üç, beş, yedi, sekiz, dokuz ve on iki imam anlayışlarını benimseyen toplulukların ortaya çıktığını, bunlar arasında özellikle Sekiz İmamcı Bâtıniyye-i İsmâiliyye ve eski Bektaşîler ile On İki İmam anlayışını benimseyen Caferîler ve Balım Sultan geleneğini sürdüren Bektaşîlerin öne çıktığına dikkat çekmektedir.[84]

5. Baha Sadid'e Göre Bazı Nusayrî Sırları ve Remizler

Baha Said'e göre Nusayrî inanç sisteminde ilham ve irfanın temel kaynaklarından biri, Şuarâ sûresinin başındaki "Hâ Mîm Ayn Sîn Kâf" hurûf-ı mukatta harfleridir. Nusayrî yorumunda bu harflerin baş ve son harflerinden "Hakk" kelimesine ulaşıldığı, kalan "mîm, ayn, sîn" harflerinin ise sırasıyla Muhammed, Ali ve Selmân'ı temsil ettiği belirtilmektedir. Bu anlayışta "ayn" harfi merkeze yerleştirilerek Hz. Ali Zâtullah olarak kabul edilmekte sağında Muhammed'in solunda ise Selmân'ın bulunduğuna inanılmaktadır. Baha Said, bu çerçevede Hz. Ali'nin mutlak mabud olarak görüldüğünü ileri sürmektedir.[85]

Baha Said, Nusayrî yorumuna göre Ehl-i Sünnet'in namazlarında yer alan "Semi'Allâhü limen hamideh" ifadesinin de "ayn, mîm, sîn sırrı" ile ilişkilendirildiğini ancak bu sırrın Ehl-i Sünnet tarafından bilinmediğini aktarmaktadır. Bu anlayış çerçevesinde Ehl-i Sünnet mensuplarının "kel'en'âm" yani hayvan sürüsü konumunda değerlendirildiğini ifade etmektedir. Son olarak Baha Said, bu tür sırrî remizlerin halka açık biçimde aktarılmadığını, bunların ancak seçkin kimseler, "havâss" ve "Evliyâ-yı Mevlâ" olarak nitelendirilen kişiler tarafından keşfedildiğini belirtmektedir.[86]

Baha Said'e göre Nusayrîlerin sır ve remizlerinden biri selâm uygulamasıdır. Ona göre Nusayrî inanç ve pratiklerinde Beytü'l-Harâm veya Beytü'l-Ma'mûr'a giriş sırasında kullanılan selâm ifadeleri çeşitli bâtınî remizler içermektedir. Bunun yanı sıra Nusayrî topluluğu içerisinde yaygın olarak kullanılan selâmlaşma biçiminin İslâm geleneğinde yer alan "esselâmü aleyküm" ifadesi yerine "esselâmü Aliyyüküm" veya halk arasında telaffuz edildiği şekliyle "esselâmu Alîyküm" olduğu belirtilmektedir. Baha Said'e göre bu farklı kullanımın temel amacı, selâm ve selâmetin ancak Hz. Ali aracılığıyla gerçekleştiği inancını ifade etmek içindir.[87]

Baha Said'in aktardığına göre Nusayrîlerde kelime-i şehâdet, "Ben Nusayrî dininden, Cünbülânî tarikatından, Cündubî görüşünden, Hâsibî mezhebinden, Cillî görüşünden ve Meymûnî fıkhından olduğuma şehadet ederim" anlamını taşıyan şu ifadelerden oluşmaktadır: "Eşhedü ve ennî Nusayrîyyü'd-dîni, Cünbülâniyyü't-tarîkati, Cündübiyyü'r-re'yi, Hasîbiyyü'l-mezhebi ve Celiyyü'l-mekâli, Meymûnü'l-fıkhi." Baha Said'e göre bu şehâdet cümlesini kabul eden kişi tam anlamıyla ikrarda bulunmuş sayılmaktadır. Ayrıca Baha Said, Kamerîler ile diğer Nusayrî grupları arasındaki farklılığın bu şehâdet metninde yalnızca tek bir kelimeden ibaret

[83] Bu konuda geniş bilgi için bk. Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 18-22.
[84] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 22.
[85] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 22.
[86] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 23;
[87] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 23.

olduğunu belirtmektedir. Buna göre Kamerîler, "Celiyyü'l-mekâl" ifadesi yerine "Cisriyyü'l-mekâl" tabirini kullanmaktadırlar.[88]

Baha Said, genel olarak Haydarî ve Kamerî gruplarının fıkhî anlayışlarının "Meymûn el-fıkhiyye" şeklinde ifade edildiğini belirtmektedir. Bu bağlamda söz konusu Meymûn'un, "Meymûnü'l-fıkhî" anlayışının kurucusu olarak kabul edilen Meymûn el-Kaddâh olduğu ileri sürülmektedir. Ayrıca Cündübî, Cünbülânî ve Hasîbî nispetlerinin, usûl, rey ve mezhep bakımından örnek alınan müçtehitlere işaret ettiği ifade etmekte bununla birlikte söz konusu şahısların kimlikleri ve tarihî kişilikleri hakkında olumlu tarihî bilgilerin araştırılmasının faydalı olacağını belirtmektedir.[89]

6. Baha Sadid'e Göre Nusayrîlerin Toplumsal Yaşamları

Baha Said'in belirttiğine göre Nusayrîlerde genel olarak toplumsal seciye sıdk ve vefâ üzerine kuruludur. Bu iki niteliği umumî bir şiar hâline getiren bir diğer topluluk ise İran Guebreleri'dir.[90] Ancak Guebreler'de doğru sözlülük, mezhebe özgü bir görev olmaktan ziyade genel bir karakter özelliği taşımaktadır. Bir Guebre için herhangi bir konu hakkında iki farklı söz söylemek haram kabul edildiğinden yalan söyleme davranışı söz konusu olmamaktadır. Baha Said'e göre benzer bir durum Nusayrîler arasında da kendi iç toplulukları bağlamında görülmektedir.[91]

Baha Said, Haydarîler ve Kamerîlerin dinî meclislerine gençlerin ve kadınları kabul etmediklerini belirtmektedir. Bu uygulamanın gerekçesi olarak, kadınlara yönelik olarak yaratılış bakımından eksiklik atfedilmesi ve "insanın en aşağısı" anlayışı gibi Hristiyanlığa özgü bazı anlayışların etkili olduğunu ifade etmektedir. Ayrıca ona göre bu gruplar üzerinde Hama ve Humus civarında yaşayan İsmâilîlerin etkisinin ve fikrî nüfuzunun bulunması muhtemel görülmektedir.[92]

Nusayrîler arasında zühd ve verâ anlayışının bir göstergesi olarak, kendi mezhep ve meşreplerine mensup olmayan Mu'tezilîlerle, diğer din veya mezhep mensuplarıyla temas kurmaktan ve onların elinden herhangi bir şey yiyip içmenin büyük günahlardan sayıldığı için kaçınmaktadırlar. Baha Said, bu sebeple Nusayrîler arasında münzevî bir hayat sürenlerin sayısının oldukça fazla olduğunu ileri sürmekte hatta dünyada en fazla münzevî hayat yaşayan mezhebin Nusayrîlik olabileceğini ifade etmektedir. Ona göre Nusayrîler tek başına yaşamayı tercih etmekte ve insanlarla iç içe yaşamaktan kaçınmaktadırlar.[93]

Baha Said, tasavvuf çevrelerinde nakledilen ve Hz. Peygamber'in Miraç sırasında Allah'ı genç bir delikanlı suretinde gördüğünü ifade eden rivayetin de bu anlayışı desteklemek amacıyla kullanıldığını belirtmektedir. Buradan hareketle, Nusayrî topluluklarının bir kısmında kadınların dinî toplantılara kabul edilmemesi ve dinî telkinlerin yalnızca on sekiz yaşına ulaşmış erkeklere yapılmasının söz konusu Miraç rivayetiyle ilişkilendirildiğini ileri sürmektedir. Ona göre on sekiz sayısının "Hayy" ismine işaret etmesi ve Mevlevîlikte de sembolik bir değer taşıması bu uygulamanın ilahî sureti temsil eden manevî bir rumuzdur.[94]

---

[88] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 24; Nusayrîlerin temel dinî metinlerinden biri olarak kabul edilen *Kitâbu'l-Mecmû*'da, Nusayrîlere ait kelime-i şehadet şu şekilde ifade edildiği belirtilmektedir: "Ben şehâdet ederim ki Ali b. Ebî Tâlib'ten başka ilâh, Muhammed Mahmud'dan başka hicâb, Selmân-ı Fârisî'den başka bâb yoktur." Bk. Uyar, "Nusayrîlik", *İslam Mezhepleri Tarihi El Kitabı*, 311.

[89] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 24.

[90] İran'da Guebre denilen halk Zerdüşt olanlardır. Bk. Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9. sayfadaki birinci dipnot.

[91] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9.

[92] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9-10.

[93] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 9.

[94] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 25.

Baha Said, Dürzîlerle karşılaştırıldığında Nusayrîlerde aynı ölçüde güçlü toplumsal örgütlenme özelliklerinin bulunmadığını ileri sürmektedir. Bununla birlikte Adana bölgesinde yaşayan Nusayrîlerin, düşünceleri inançları ne olursa olsun onların seciyeleri nispetinde bağımsız olarak toplumsal hayata kazandırılmaları ve gerçek hayatın gerekleriyle daha yakın ilişki kurmalarının gerekli olduğunu savunmaktadır. Ona göre Türk toplumunun bir parçası olan bu topluluğun dinî ve psikolojik yapısının anlaşılması hem Türk toplumu hem de Nusayrîler açısından karşılıklı fayda sağlayacaktır.[95]

7. Sonuç

Baha Said'in bu çalışmasını, Adana'da yaşayan Nusayrîlerin yani Arap Alevîlerin kökenlerine ilişkin mevcut bilgileri ve kaynakları dikkate alarak hazırladığı anlaşılmaktadır. Eserde, Nusayrîlerin inanç sistemi ve mezhepsel yapısı ele alınmış, temel inanç esaslarına yönelik farklı yorum ve içtihatlar sonucunda Kamerî, Haydarî, Mütevâlî ve Gıyâbî olmak üzere dört ana fırkaya ayrıldıkları belirtilmiştir. Ayrıca Nusayrî Telkîni ile Nusayrî mezhebindeki sır ve remizler gibi konuların daha kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyduğu ifade edilmiş, Nusayrîlerin teşekkül süreçleri, inançları ve kanaatleri genel hatlarıyla ortaya konulmuştur.

Bunun yanı sıra Baha Said, Türk toplumu içerisinde yaşayan bu topluluğun duygu dünyası ve psikolojik yapısının anlaşılmasının hem toplum hem de Nusayrîler açısından önem taşıdığına dikkat çekmiştir. Bu doğrultuda, Nusayrîlerin soy ve kültürel kökenlerine ilişkin değerlendirmelerde bulunmuş, onların millî özelliklerini belirlemeye yönelik incelemeler gerçekleştirmiş ve inanç esaslarını genel çerçevesiyle açıklamıştır. Siyasi, sosyal ve toplumsal açıdan önemli dönüşümlerin yaşandığı bir dönemde yaşamış olan Baha Said'in, dönemin fikir ve düşünce akımlarının etkisiyle Anadolu'daki dinî oluşumlara ilişkin çeşitli değerlendirmelerde bulunduğu görülmektedir.

Kısacası, Baha Said'in Osmanlı'dan Cumhuriyet'e geçiş sürecinde Anadolu'daki Nusayrîlerin inançları, ritüelleri ve kökenleri hakkında döneme ışık tutacak bilgiler ortaya koymaya çalıştığı görülmektedir. Türkçülük düşüncesini benimseyen Baha Said'in, Anadolu'daki Nusayrî topluluklarının Türk kökenli olduklarına dikkat çekerek devlete bağlılıklarını güçlendirmeyi ve aynı zamanda oryantalistlerin ve bazı düşünürlerin bu toplulukların kökenlerine ilişkin ileri sürdükleri farklı görüşlere karşı bir değerlendirme ortaya koymayı amaçladığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte Baha Said'in, Nusayrîlerin ortaya çıktıkları coğrafyadaki çeşitli dinî ve inançsal unsurlardan etkilendiklerini ve bu etkileşim sonucunda bâtınî anlayışın belirleyici olduğu bir inanç yapısına sahip olduklarını ifade ettiği görülmektedir. Ayrıca, Hz. Ali'nin tanrısal bir konumda kabul edilmesi ile tenâsüh inancının benimsenmesini, Nusayrî inanç sisteminin temel özellikleri arasında değerlendirdiği anlaşılmaktadır.

Kaynakça

Arslan, Hatice. "Başlangıcından Günümüze Arap Alevîliği-Nusayrîlik". *Mizanü'l-Hak: İslami İlimler Dergisi* 1 (2015), 101-111.

Arslan, Hatice. "Klâsik Nusayrî Eserlerinde Tanrı Düşüncesi". *Turkish StudiesTürkoloji Araştırmaları* 12/35 (2017), 463-476.

Aslan, Cahit. "Nusayriler'de 'Amcalık' Kurumu ve İşlevleri". *Antakiyat* 1/2 (Aralık 2018), 202-214.

Bağlıoğlu, Ahmet. "Nusayrîlik". *İslam Mezhepleri Tarihi*. Ed. Maksut Çetin-Muhammet Raşit Batur. 205-221. İstanbul: Lisans Yayıncılık, 2023.

[95] Baha Said, "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri", 27.

Batur, Muhammet Raşit. "Nusayrîliğin Teşekkülü ve İnanç Esasları". *İnsan ve Toplum* 3/5 (Haziran 2013), 55-84.
Bulgen, Mehmet-Baloğlu, Adnan Bülent. "Tenâsüh". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 40/443-446. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2011.
Bulut, Halil İbrahim. "Tarih, İnanç, Kültür ve Dinî Ritüelleriyle Nusayrîlik". *Ortadoğu Yıllığı 2011*. Ed. Kemal İnal-Muhittin Ataman. 580-614. Sakarya, 2011.
Er, Abdullah. "Fransızca Yazılı Kaynaklarda Nusayrîler". *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi* 54 (2010), 149-158.
Fığlalı, Ethem Ruhi. *Çağımızda İtikadî İslâm Mezhepleri*. 5. Baskı. Ankara: Selçuk Yayınları, 1991.
Gölpınarlı, Abdülbaki. *100 Soruda Türkiye'de Mezhepler ve Tarikatlar*. İstanbul: Gerçek Yayınevi, 1969.
Görkem, İsmail. "Türk Folklor Araştırma Tarihinde Millî Talim ve Terbiye Cemiyeti ve Bahâ Saîd Bey'in Yeri". *Uluslararası Beşeri Bilimler ve Eğitim Dergisi* 5/10 (1992), 39-56.
Görkem, İsmail. *Türkiye'de Alevî-Bektaşî, Ahi ve Nusayrî Zümreleri*. Ankara: Kültür Bakanlığı Yayınları, 2000.
Kayserî, Mustafa b. Ebû Bekr el-. *Dâmiğu'n-Nusayriyye*. İstanbul: Büyükşehir Belediyesi Atatürk Kitaplığı, Osman Ergin Yazmaları, nr. 97, 1979.
Öz, Mustafa. "Metâvile". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 29/404-405. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2004.
Palabıyık, M. Hanefi. "Dinî İnançları ve Özellikleri Bakımından Nusayrîlik". *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi* 54 (2010), 17-48.
Said, Baha. "Anadolu'da Gizli Mabetlerden: Nusayrîler ve Esrâr-ı Mezhebiyeleri". *Türk Yurdu* 5/25 (Kanun-i Sânî 1927), 6-27.
Sinanoğlu, Abdülhamit. *Nusayrîlerin İnanç Dünyası ve Kutsal Kitabı*. Konya: Esra Yayınları, 1997.
Şık, İsmail. "Alevi Nusayrilerin İslâm Anlayışı ve Temel İnançları (Adana/Akkapı-Hadırlı Örneklemi)." *Geçmişten Günümüze Alevilik I. Uluslararası Sempozyumu* içinde, ed. Mehmet Yazıcı, 248-262. Bingöl: Bingöl Üniversitesi Yayınları, 2014.
Türer, Osman. "Harîrî-zâde'nin, Sülûkün Mertebelerine Dair Bir Risalesi: Feyzu'l-Muğnî Min Sırri Hadîsi 'Men Talebenî". *Tasavvuf: İlmî ve Akademik Araştırma Dergisi* 23 (2009), 37-51.
Türk, Hüseyin. "Nusayrîlerin Etnik Kökeni". *Alevîlik-Bektaşîlik Araştırmaları Dergisi* 28 (Aralık 2023), 3-17.
Uyar, Mazlum. "Nusayrîlik". *İslam Mezhepleri Tarihi El Kitabı*. Ed. Hasan Onat-Sönmez Kutlu. 299-340. Ankara: Grafiker Yayınları, 2012.
Üzüm, İlyas. "Nusayrîlik". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 33/270-274. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2007.
Yavuz, Yusuf Şevki. "Hulûl". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 18/341-344. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 1998.
Yitik, Ali İhsan. "Tenâsüh". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 40/441-443. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 2011.
Yoldaş, Mehmet Hanifi-Kubat, Mehmet. "Çağdaş Nusayrî Şeyhlerinin Eserlerinde Tanrı Tasavvuru ve Hz. Ali Algısı". *Yakın Doğu Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* 10/1 (Haziran 2024), 1-24.
Yurdagür, Metin. "Bâb". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 4/359. İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 1991.

CİVATA BAĞLANTILARINDA KAPLAMA HASARI VE KOROZYON DAVRANIŞI

Ali Berk TAVACI
Nurol Makina ve Sanayi A.Ş., Ar-Ge Departmanı, Ankara, Türkiye
ORCID: 0009-0009-5172-5048
Taha Süreyya ÖZGÜ
Nurol Makina ve Sanayi A.Ş., Ar-Ge Departmanı, Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8843-8140

ÖZET
Civatalı bağlantıların sıkılması sırasında oluşan temas basıncı ve sürtünme, boya sisteminde ezilme, çizilme ve yerel kaplama kayıplarına neden olabilmektedir. Bu hasarlar çelik yüzeyin korozif ortama açılmasına ve bağlantı bölgelerinde erken kırmızı pas oluşumuna yol açmaktadır. Bu çalışmada, flanşlı ve pullu civata bağlantılarının boyalı S355J2 çelik plakalar üzerinde oluşturduğu montaj hasarı ile tuz sisi ortamındaki korozyon davranışı karşılaştırılmıştır. Deneylerde aynı astar ve son kat boya sistemine sahip kataforez kaplamalı ve kataforez kaplamasız plakalar kullanılmıştır. Flanşlı bağlantı sisteminde flanşlı civata ve somunlar, pullu bağlantı sisteminde ise standart civata ve somunlarla birlikte plakanın her iki tarafında düz pullar kullanılmıştır. M10, M12 ve M16 bağlantılarına sırasıyla 80, 143 ve 359 N·m sıkma torku uygulanmıştır. Sıkma sırasında civata başı sabit tutulmuş ve somun döndürülmüştür. Montaj hasarının incelenmesi amacıyla ilk delik grubundaki bağlantılar sıkıldıktan sonra sökülmüş, civata başı ve somun tarafında oluşan boya hasarı görsel olarak değerlendirilmiştir. Aynı bağlantı elemanları daha sonra ikinci delik grubuna yeniden monte edilmiş ve numuneler ASTM B117 standardına uygun tuz sisi testine alınmıştır. Numuneler 24 saatlik aralıklarla görüntülenerek kırmızı pas oluşumu takip edilmiştir. Görsel incelemelerde, pullu bağlantılarda oluşan boya hasarının çoğunlukla pul temas alanıyla sınırlı kaldığı, flanşlı bağlantılarda ise daha geniş ve belirgin çevresel hasar izleri meydana geldiği görülmüştür. En belirgin montaj hasarı, civata başı altı tırtıklı olan M16 flanşlı bağlantıda gözlenmiştir. Tuz sisi testinin ilk 48 saatinde, kataforez kaplamasız pullu numunelerin sökülmüş delik çevrelerinde kırmızı pas 24. saatte görülmüş ve 48. saatte artmıştır. Kataforez kaplamasız flanşlı numunelerde kırmızı pas 48. saatte belirginleşirken, kataforez kaplamalı numunelerde bu süre içinde belirgin kırmızı pas gözlenmemiştir. Sonuçlar, pul kullanımının montaj sırasında oluşan boya hasarını daha dar bir alanda sınırlandırdığını ve kataforez kaplamanın hasar gören bölgelerde kırmızı pas oluşumunu geciktirdiğini göstermiştir.
Anahtar Kelimeler: Civatalı bağlantı, montaj hasarı, boya sistemi, tuz sisi

COATING DAMAGE AND CORROSION BEHAVIOR IN BOLTED JOINTS

ABSTRACT
The contact pressure and friction generated during the tightening of bolted joints may cause crushing, scratching, and localized coating loss in paint systems. Such damage may expose the steel substrate to corrosive environments and lead to early red rust formation around the joint regions. In this study, the assembly-induced coating damage and corrosion behavior of flanged and washer-assisted bolted joints on painted S355J2 steel plates were comparatively investigated. Cathodic electrocoated and non-electrocoated plates with the same primer and topcoat paint system were used. Flanged bolts and nuts were used in the flanged joint system, whereas standard bolts and nuts with flat washers on both sides of the plate were used in the washer-assisted system. Tightening torques of 80, 143, and 359 N·m were applied to the M10, M12, and M16 joints, respectively. During tightening, the bolt head was held stationary while

the nut was rotated. To evaluate assembly-induced damage, the fasteners installed in the first group of holes were removed after tightening, and the paint damage on both the bolt-head and nut sides was visually examined. The same fasteners were subsequently reassembled in the second group of holes, and the specimens were subjected to a salt spray test in accordance with ASTM B117. Red rust formation was monitored by photographing the specimens at 24-hour intervals. Visual examination showed that the coating damage in the washer-assisted joints was generally confined to the washer contact area, whereas the flanged joints produced wider and more pronounced circumferential damage marks. The most severe assembly-induced damage was observed in the M16 flanged joint, which had serrations beneath the bolt head. During the first 48 hours of the salt spray test, red rust was observed after 24 hours around the removed holes of the non-electrocoated specimens assembled with washers and became more pronounced after 48 hours. In the non-electrocoated specimens with flanged joints, red rust became evident after 48 hours, whereas no distinct red rust was observed on the cathodic electrocoated specimens within the same period. The results showed that the use of washers limited assembly-induced paint damage to a narrower area and that cathodic electrocoating delayed red rust formation in damaged joint regions.
Keywords: Bolted joint, assembly-induced damage, paint system, salt spray

1. GİRİŞ

Civatalı bağlantılar, sökülebilir olmaları, montaj kolaylığı sağlamaları ve farklı malzeme ile geometrilerin birleştirilmesine imkân vermeleri nedeniyle makine, taşıt ve çelik yapı uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bağlantının görevini güvenilir biçimde yerine getirebilmesi için civatada yeterli bir ön yük oluşturulması ve bu ön yükün servis süresince korunması gerekir. Tork kontrollü sıkmada ön yük, civata başının veya somunun belirli bir torka kadar döndürülmesiyle dolaylı olarak oluşturulur. Yan ve arkadaşları (2024), sıkma torkunun diş adımı, diş sürtünmesi, baş altı veya somun altı sürtünmesi ve etkili temas yarıçapı gibi bileşenlere dağıldığını; bu nedenle aynı nominal torkun farklı yüzey koşullarında aynı ön yükü garanti etmediğini belirtmiştir.

Sıkma işlemi sırasında bağlantı elemanının oturma yüzeyinde normal temas basıncı ile dönmeye bağlı teğetsel sürtünme birlikte oluşur. Özellikle somunun döndürüldüğü bağlantılarda somun altı yüzey, doğrudan plaka veya pul üzerinde kayar. Yue ve arkadaşları (2024), sıkma hızı, yağlama durumu, oturma yüzeyi, sızdırmazlık malzemesi ve pul kullanımının tork-ön yük ilişkisini ve sürtünme katsayılarını belirgin biçimde etkilediğini göstermiştir. Bu tribolojik etkileşim metalik yüzeylerde aşınmaya, organik boya sistemlerinde ise ezilme, çizilme, halka biçimli sürtünme izleri ve yerel kaplama kaybına neden olabilir. Düz pullar temas alanını tanımlamak ve yükü daha geniş bir bölgeye yaymak amacıyla kullanılsa da, boya üzerindeki gerçek hasar davranışı pulun geometrisine, sertliğine, dönüp dönmemesine ve oluşan ön yüke bağlıdır.

Boyalı çelik bağlantılarda kaplama sistemi yalnızca estetik bir tabaka değil, çelik altlığı su, oksijen ve klorür iyonlarından ayıran temel korozyon bariyeridir. Kaplamanın montaj sırasında yerel olarak kaldırılması, açıkta kalan çelik yüzeyde kırmızı pas oluşumunu hızlandırabilir. Frank, Yura ve Fouad (1984), yüksek dayanımlı civatalı bağlantılarda boyalı temas yüzeylerinin sürtünme davranışının kaplama türü, boya kalınlığı ve sıkma kuvveti gibi değişkenlerden etkilendiğini; korumasız bırakılan temas yüzeylerinin ise açık ortamda yarık korozyonuna ve çevredeki boya sisteminin bozulmasına yol açabildiğini bildirmiştir. Ahn ve arkadaşları (2016), civata başında meydana gelen korozyon kaynaklı kesit kaybının bağlantı sıkma kuvvetini azalttığını göstermiştir.

Kataforez kaplama, elektrik alan yardımıyla metal yüzeye organik bir astar tabakasının çöktürülmesine dayanan ve özellikle karmaşık geometrilerde homojen kaplama elde etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Almeida ve arkadaşları (2003), epoksi esaslı kataforetik otomotiv astarlarının korozyon davranışını incelemiş ve kaplamanın çizilerek hasar gördüğü bölgelerde kataforetik sistemin korozyon ilerlemesine karşı daha yüksek direnç gösterebildiğini bildirmiştir. Bu özellik, civata montajı sırasında boya bütünlüğünün bozulduğu bağlantı çevrelerinde kataforez tabakasının ek bir koruma sağlayabileceğini düşündürmektedir.

Bağlantı elemanlarının tekrar kullanılması da temas yüzeylerinin tribolojik durumunu değiştirebilen bir etkendir. Liu ve arkadaşları (2020), yüksek dayanımlı civatalarda tekrarlı sıkma çevrimleri boyunca diş ve oturma yüzeyi sürtünme katsayılarının değişebildiğini deneysel olarak göstermiştir. Bu nedenle sökülüp yeniden monte edilen bir bağlantıda ikinci sıkma çevrimi, ilk sıkma ile tamamen aynı temas koşullarını temsil etmeyebilir. Bununla birlikte, bakım veya yeniden montaj uygulamalarında bağlantı elemanlarının tekrar kullanılması pratikte karşılaşılan bir durumdur.

Bu çalışmada flanşlı civata-somun sistemi ile her iki yüzeyde düz pul kullanılan standart civata-somun sisteminin, boyalı S355J2 çelik plakalar üzerinde oluşturduğu montaj hasarı karşılaştırılmıştır. Aynı astar ve son kat boya sistemine sahip kataforez kaplamalı ve kataforez kaplamasız plakalar kullanılarak, bağlantı geometrisinin yanında kataforez tabakasının erken dönem korozyon davranışına etkisi de incelenmiştir. Montaj hasarı, sıkılıp sökülen bağlantı bölgelerinde görsel olarak değerlendirilmiş; aynı bağlantı elemanları ikinci delik grubuna yeniden takılarak numuneler ASTM B117'ye uygun tuz sisi ortamına maruz bırakılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı bağlantı sistemlerinin boya üzerinde oluşturduğu hasar biçimini belirlemek ve bu hasarın ilk kırmızı pas oluşumuyla ilişkisini karşılaştırmalı olarak ortaya koymaktır.

2. MALZEME VE METOT

2.1. Plaka malzemesi ve yüzey sistemleri

Deneysel çalışmada yaklaşık 8 mm kalınlığındaki S355J2 çelik plakalar kullanılmıştır. Tüm numunelere aynı astar ve son kat boya sistemi uygulanmış, deney değişkeni olarak boya sisteminin altında kataforez tabakasının bulunup bulunmaması esas alınmıştır. Kataforez kaplamalı plakadaki kataforez tabakasının nominal kalınlığı yaklaşık 25-30 µm'dir. Kataforez sonrası ilave mekanik yüzey hazırlığı uygulanmamıştır. Kataforez kaplamasız plaka da aynı astar ve son kat boya sistemiyle kaplanmıştır. Böylece iki plaka grubu arasındaki temel fark, boya sisteminin altında kataforez tabakasının bulunmasıdır.

Tablo 1. Deney grupları ve numune kodları

Kod	Yüzey sistemi	Bağlantı sistemi	Değerlendirme
P	Kataforez kaplamasız, ortak astar + son kat	Standart civata + iki düz pul + somun	Montaj hasarı ve tuz sisi
F	Kataforez kaplamasız, ortak astar + son kat	Flanşlı civata + flanşlı somun	Montaj hasarı ve tuz sisi
KP	Kataforez kaplamalı, ortak astar + son kat	Standart civata + iki düz pul + somun	Montaj hasarı ve tuz sisi
KF	Kataforez kaplamalı, ortak astar + son kat	Flanşlı civata + flanşlı somun	Montaj hasarı ve tuz sisi

Her plakada M10, M12 ve M16 bağlantılarına uygun iki ayrı delik grubu hazırlanmıştır. İlk üç delik, sıkma ve sökme sonrasında montaj hasarının incelenmesi için kullanılmıştır. Bağlantı elemanları daha sonra alt sıradaki ikinci üç deliğe yeniden monte edilmiş ve tuz sisi testi boyunca sıkılı durumda bırakılmıştır. Bu nedenle iki delik grubu birbirinin tekrarı değil, montaj hasarı ile montajlı durumdaki korozyon davranışını değerlendiren iki farklı deney aşamasıdır.

2.2. Bağlantı elemanları ve sıkma koşulları

Flanşlı bağlantı sisteminde DIN 6921 olarak tedarik edilen 10.9 kalite civatalar ve DIN 6923 sınıf 10 flanşlı somunlar kullanılmıştır. Pullu bağlantı sisteminde DIN 933 olarak tedarik edilen 10.9 kalite altı köşe civatalar, DIN 934 sınıf 10 somunlar ve DIN 125 düz pullar kullanılmıştır. Pullu sistemde bir pul civata başı ile plaka arasına, ikinci pul ise somun ile plaka arasına yerleştirilmiştir. M10 ve M12 flanşlı civataların baş altı yüzeyleri düz, M16 flanşlı civatanın baş altı yüzeyi ise tırtıklıdır. M16 flanşlı somun düz yüzeylidir.

Tablo 2. Kullanılan bağlantı elemanları

Sistem	Boyut	Civata	Somun	Pul
Flanşlı	M10	M10x1,5x25 – DIN 6921, 10.9	M10x1,5 – DIN 6923, sınıf 10	–
Flanşlı	M12	M12x1,5x25 – DIN 6921, 10.9	M12x1,5 – DIN 6923, sınıf 10	–
Flanşlı	M16	M16x1,5x30 – DIN 6921, 10.9, baş altı tırtıklı	M16x1,5 – DIN 6923, sınıf 10	–
Pullu	M10	M10x1,5x25 – DIN 933, 10.9	M10x1,5 – DIN 934, sınıf 10	A10,5 – DIN 125, iki tarafta
Pullu	M12	M12x1,75x25 – DIN 933, 10.9	M12x1,75 – DIN 934, sınıf 10	A13 – DIN 125, iki tarafta
Pullu	M16	M16x2x30 – DIN 933, 10.9	M16x2 – DIN 934, sınıf 10	A17 – DIN 125, iki tarafta

Bağlantılar kalibre edilmiş tork ekipmanı kullanılarak sıkılmıştır. M10, M12 ve M16 bağlantılarına sırasıyla 80, 143 ve 359 N·m tork uygulanmıştır. Dişler kuru durumda bırakılmış; sıkma sırasında civata başı sabit tutulmuş ve somun döndürülmüştür. Aynı nominal çap için flanşlı ve pullu sistemlere aynı tork uygulanmıştır. Ancak sistemlerin diş adımı ve temas yüzeyi koşulları aynı olmadığından eşit torkun eşit ön yük oluşturduğu kabul edilmemiştir. Bağlantı elemanları ticari olarak tedarik edildikleri yüzey koşulunda kullanılmış ve bağlantı elemanı kaplamaları bağımsız olarak karakterize edilmemiştir.

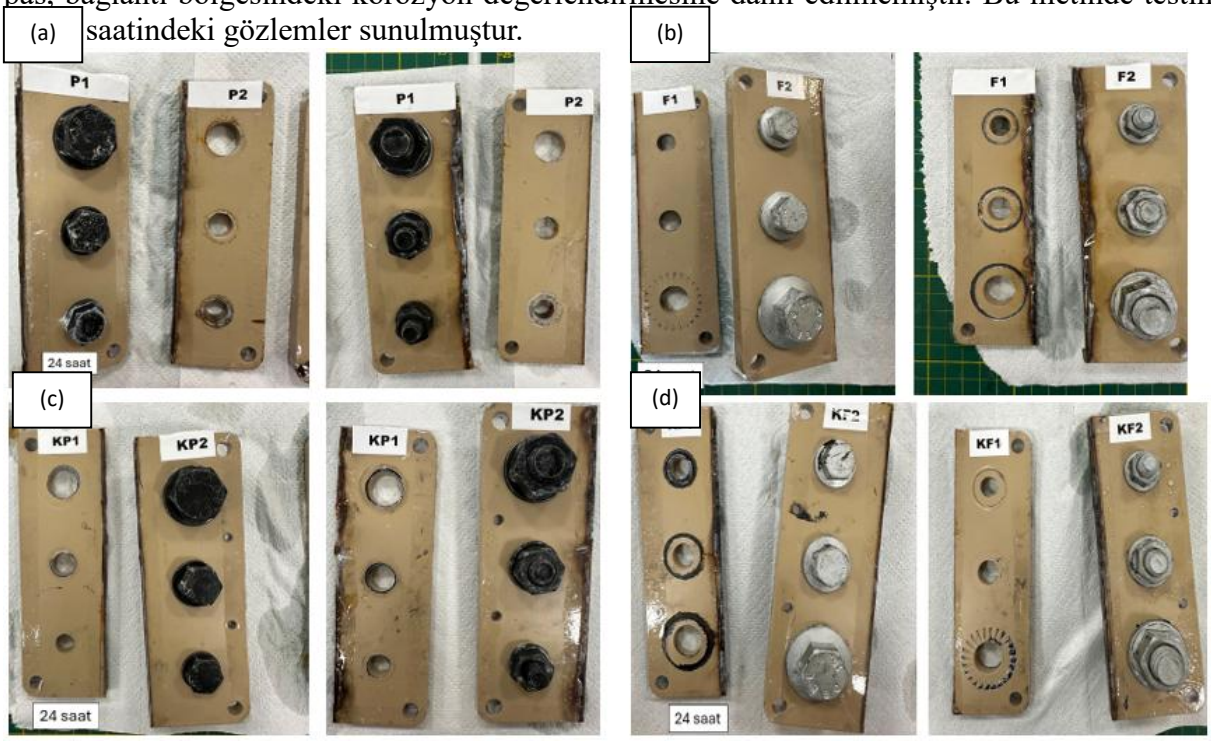
Tablo 3. Sıkma ve korozyon testi koşulları

Parametre	M10	M12	M16
Sıkma torku	80 N·m	143 N·m	359 N·m
Sıkılan taraf	Somun	Somun	Somun
Sabit tutulan taraf	Civata başı	Civata başı	Civata başı
Diş durumu	Kuru	Kuru	Kuru
Korozyon testi	ASTM B117	ASTM B117	ASTM B117
Görsel kontrol aralığı	24 saat	24 saat	24 saat

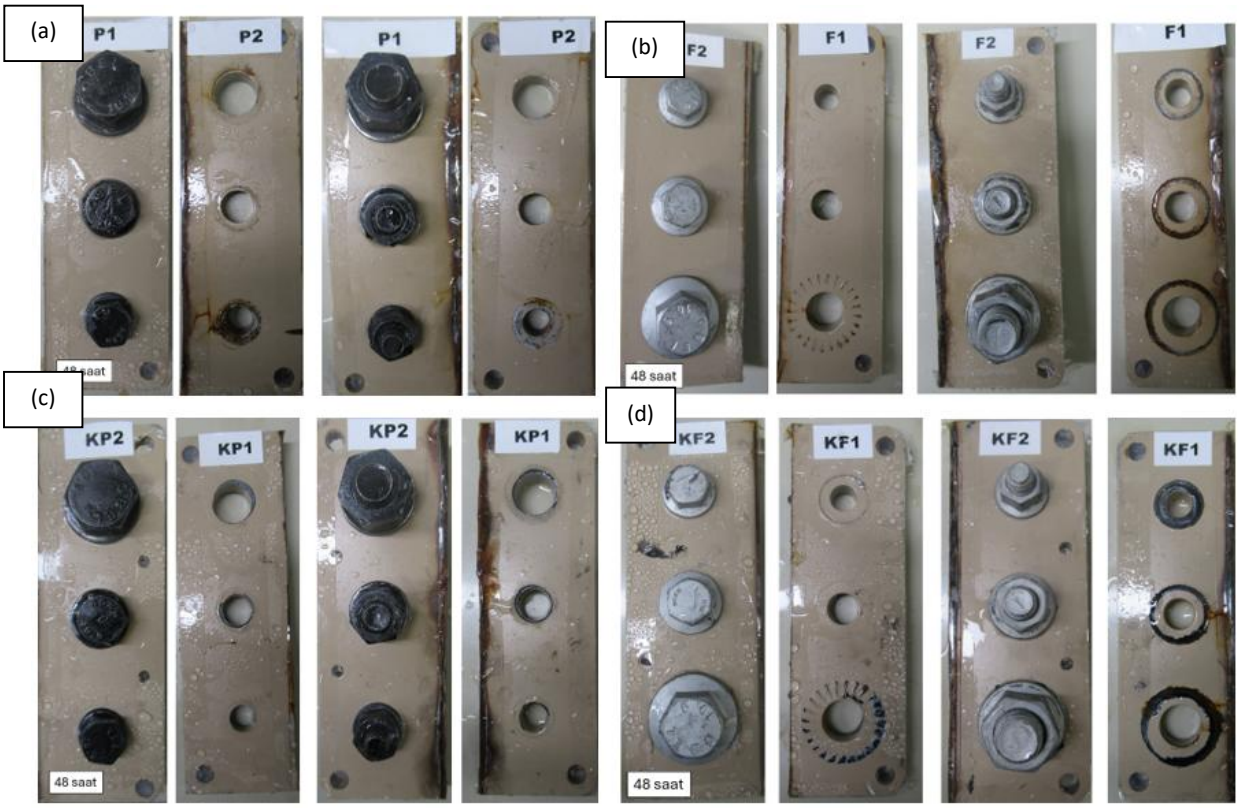
2.3. Montaj hasarının ve korozyon davranışının değerlendirilmesi

Montaj hasarı, üst delik grubundaki bağlantılar belirlenen torka kadar sıkılıp söküldükten sonra plakanın civata başı ve somun taraflarında görsel olarak incelenmiştir. Değerlendirmede hasarın temas alanıyla sınırlı kalıp kalmadığı, çevresel veya radyal iz oluşumu, boya tabakasının yerel olarak kalkması ve metal yüzeyin açığa çıkması dikkate alınmıştır. Çalışmada hasar alanı nicel görüntü analiziyle ölçülmediğinden sonuçlar makroskobik ve karşılaştırmalı niteliktedir.

Aynı bağlantı elemanları ikinci delik grubuna yeniden monte edilmiş ve numuneler ASTM B117'ye uygun tuz sisi testine alınmıştır. ASTM B117 kontrollü bir korozif ortamın oluşturulma ve işletilme koşullarını tanımlamakta, ancak tek başına maruziyet süresini veya kabul kriterini belirlememektedir. Bu çalışmada değerlendirme ölçütü olarak ilk görünür kırmızı pas oluşumu seçilmiş ve numuneler 24 saatlik aralıklarla fotoğraflanmıştır. Plaka kesim kenarlarında oluşan pas, bağlantı bölgesindeki korozyon değerlendirmesine dâhil edilmemiştir. Bu metinde testin 24. saatindeki gözlemler sunulmuştur.



Şekil 1. Tuz sisi testinin 24. saatindeki numuneler: (a) P, (b) F, (c) KP ve (d) KF. Her panelde sıkılı bağlantılar ile montaj sonrası sökülmüş delik grubu birlikte gösterilmiştir.



Şekil 2. Tuz sisi testinin 48. saatindeki numuneler: (a) P, (b) F, (c) KP ve (d) KF.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Montaj kaynaklı boya hasarı

Pullu bağlantılarda sökme sonrasında görülen izlerin genel olarak pulun oturma alanıyla sınırlı kaldığı ve dairesel bir halka biçiminde geliştiği belirlenmiştir. Flanşlı bağlantılarda ise özellikle somunun döndürüldüğü yüzeyde daha geniş çevresel izler ve daha düzensiz boya kayıpları gözlenmiştir. Bu farkın, pullu sistemde dönen somun ile boyalı plaka arasındaki doğrudan temasın pul tarafından sınırlandırılmasıyla ilişkili olduğu değerlendirilmektedir.

En belirgin görsel hasar M16 flanşlı civatanın bulunduğu bölgede oluşmuştur. M16 flanşlı civatanın baş altı yüzeyindeki tırtıklar, civata başı sabit tutulmasına rağmen yüksek sıkma kuvveti altında boya tabakasına gömülerek radyal izler meydana getirmiştir. M10 ve M12 flanşlı civatalarda baş altı yüzeyleri düz olduğundan bu radyal izler görülmemiştir. Bu nedenle M16 flanşlı sonuçları yalnızca civata çapı veya uygulanan tork artışıyla açıklanmamış; tırtıklı temas geometrisinin etkisi ayrıca dikkate alınmıştır.

Aynı nominal çapta iki bağlantı sistemine aynı tork uygulanmış olmakla birlikte, flanşlı ve pullu sistemlerin oturma yüzeyleri ve bazı boyutlarda diş adımları farklıdır. Yan ve arkadaşlarının (2024) belirttiği üzere tork kontrollü sıkmada ön yük, diş ve oturma yüzeyi sürtünmesine duyarlıdır. Dolayısıyla gözlenen hasar, bağlantı sisteminin bütünsel davranışını temsil etmekte; yalnızca flanş veya pul geometrisinin izole etkisi olarak değerlendirilmemektedir.

3.2. Tuz sisi testinin 24. saatindeki gözlemler

Tuz sisi testinin 24. saatinde kataforez kaplamasız pullu numunenin sökülmüş delik çevrelerinde kırmızı pas oluşumu görülmüştür. Kırmızı pas özellikle boya bütünlüğünün bozulduğu pul oturma halkaları ve delik çevrelerinde belirginleşmiştir. Aynı sürede kataforez kaplamasız flanşlı numunede çevresel montaj izleri açık biçimde görülmekle birlikte, sökülmüş delik çevrelerindeki kırmızı pas pullu numunedeki kadar belirgin değildir. Kataforez kaplamalı

KP ve KF numunelerinde ise sökülmüş delik çevrelerinde 24. saat itibarıyla belirgin kırmızı pas gözlenmemiştir.

Sıkılı durumda bırakılan bağlantılarda ilk 24 saat içinde plaka-bağlantı arayüzünden çıktığı açık biçimde ayırt edilebilen kırmızı pas oluşumu belirlenmemiştir. Bu durum, bağlantı altında kalan boyalı yüzeyin dış ortamla doğrudan temasının sınırlı olmasıyla ilişkili olabilir. Ancak bağlantı altındaki gerçek korozyon durumu, test sonunda bağlantılar sökülmeden kesin olarak değerlendirilemez.

3.3. Tuz sisi testinin 48. saatindeki gözlemler

48. saat sonunda kataforez kaplamasız pullu numunenin sökülmüş delik çevrelerindeki kırmızı pas miktarı görsel olarak artmış ve çevresel oturma izleri daha belirgin hâle gelmiştir. Kataforez kaplamasız flanşlı numunede de 48. saatte sökülmüş bağlantı bölgelerinde kırmızı pas belirginleşmiştir. Buna karşılık kataforez kaplamalı KP ve KF numunelerinin sökülmüş delik çevrelerinde aynı süre içinde belirgin kırmızı pas görülmemiştir.

Kataforezli ve kataforezsiz numuneler arasındaki bu fark, boya sistemi montaj sırasında yerel olarak hasar gördüğünde kataforez tabakasının çelik altlığın korozif ortama açılmasını geciktirdiğini göstermektedir. Almeida ve arkadaşlarının (2003) çizilmiş kataforetik kaplamalarda korozyonun ilerlemesine karşı daha yüksek direnç bildiren sonuçları, mevcut çalışmadaki ilk 48 saatlik eğilimle uyumludur. Bununla birlikte test süresi kısa olduğundan, kataforezli grupların uzun dönem davranışı veya iki bağlantı sisteminin nihai korozyon sıralaması hakkında kesin bir genelleme yapılmamıştır.

48. saate kadar sıkılı bırakılan bağlantıların çevresinde belirgin kırmızı pas görülmemiştir. Ancak bağlantı altı bölgeleri yarık benzeri bir geometri oluşturduğundan, dışarıdan pas akıntısı görülmemesi bağlantı altında korozyon bulunmadığını tek başına kanıtlamaz. Nihai değerlendirmede bağlantıların test sonunda sökülerek civata başı altı, pul altı, somun oturma yüzeyi ve delik iç yüzeylerinin ayrı ayrı incelenmesi gerekmektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada flanşlı ve pullu civata bağlantılarının, aynı astar ve son kat boya sistemine sahip kataforez kaplamalı ve kataforez kaplamasız S355J2 çelik plakalar üzerinde oluşturduğu montaj hasarı ve tuz sisi ortamındaki ilk 48 saatlik korozyon davranışı karşılaştırılmıştır.

Pullu bağlantılarda montaj sonrası boya hasarı çoğunlukla pulun temas alanıyla sınırlı ve halka biçiminde kalmıştır. Flanşlı bağlantılarda ise daha geniş çevresel sürtünme izleri ve daha belirgin boya kayıpları görülmüştür. En belirgin görsel hasar, baş altı yüzeyi tırtıklı olan M16 flanşlı civata bölgesinde oluşmuştur.

Kataforez kaplamasız pullu numunenin sökülmüş delik çevrelerinde kırmızı pas 24. saat kontrolünde görülmüş ve 48. saatte artmıştır. Kataforez kaplamasız flanşlı numunede kırmızı pas 48. saatte belirginleşmiştir. Kataforez kaplamalı numunelerin sökülmüş delik çevrelerinde ise ilk 48 saat içinde belirgin kırmızı pas gözlenmemiştir.

Sıkılı durumda bırakılan bağlantıların dış çevresinde ilk 48 saatte belirgin kırmızı pas tespit edilmemiştir. Bununla birlikte bağlantı altındaki gerçek korozyon durumunun belirlenmesi için test sonunda bağlantıların sökülerek temas yüzeylerinin incelenmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, incelenen koşullarda pul kullanımı montaj hasarını daha dar bir bölgede sınırlandırmış, kataforez tabakası ise montajla hasar gören açık bağlantı bölgelerinde kırmızı pas oluşumunu geciktirmiştir. ASTM B117 sonuçları bağıl karşılaştırma sağlamaktadır; bu sonuçlar tek başına doğal atmosferdeki servis ömrüne doğrudan dönüştürülmemelidir.

REFERANSLAR

Almeida, E., I. Alves, C. Brites, and L. Fedrizzi. 2003. “Cataphoretic and Autophoretic Automotive Primers: A Comparative Study.” Progress in Organic Coatings 46 (1): 8-20. https://doi.org/10.1016/S0300-9440(02)00144-3.

Ahn, Jin-Hee, Jae Min Lee, Jin-Hwan Cheung, and In-Tae Kim. 2016. “Clamping Force Loss of High-Strength Bolts as a Result of Bolt Head Corrosion Damage: Experimental Research A.” Engineering Failure Analysis 59: 509-525. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.08.037.

Frank, Karl H., Joseph A. Yura, and Fouad H. Fouad. 1984. “Bolted Shear Connections with Painted Surfaces.” Engineering Journal 21 (3): 171-184. https://doi.org/10.62913/engj.v21i3.420.

Liu, Zhifeng, Mingpo Zheng, Xing Yan, Y. Zhao, Q. Cheng, and C. Yang. 2020. “Changing Behavior of Friction Coefficient for High Strength Bolts during Repeated Tightening.” Tribology International 151: 106486. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106486.

Yan, Xing, Zhifeng Liu, Mingpo Zheng, Ying Li, Yuezhen Wang, and Wentao Chen. 2024. “Preload Control Method of Threaded Fasteners: A Review.” Chinese Journal of Mechanical Engineering 37: 97. https://doi.org/10.1186/s10033-024-01082-w.

Yue, Xuande, Xiaogang Dang, Tao Geng, Honghao Zhang, and Ying Xie. 2024. “Effect of Tightening Process Parameters on the T-F Curve of Bolts in Composite Structures.” Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science 238 (8): 3578-3601. https://doi.org/10.1177/09544062231205181.

ASTM B117. Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. ASTM International.

VDI 2230 Blatt 1. Systematic Calculation of Highly Stressed Bolted Joints—Joints with One Cylindrical Bolt. Verein Deutscher Ingenieure.

SÜRDÜRÜLEBİLİR RESTORASYONDA BÜTÜNCÜL KORUMA YAKLAŞIMI: ÇEVRESEL, TOPLUMSAL VE KÜLTÜREL BOYUTLARIN ENTEGRASYONU

İç Mimar Pınar SEZER
Independent Researcher
ORCID ID: 0009-0002-4214-9404

ÖZET

Kültürel mirasın korunmasına yönelik çağdaş yaklaşımlar, tarihî yapıların yalnızca fiziksel bütünlüğünün korunmasını değil; çevresel sürdürülebilirlik, toplumsal katılım ve kültürel sürekliliğin birlikte ele alındığı bütüncül bir koruma anlayışını gerekli kılmaktadır. İklim değişikliği, doğal afetler, hızlı kentleşme ve doğal kaynakların sürdürülebilir olmayan kullanımı gibi güncel sorunlar, restorasyon uygulamalarının yeniden değerlendirilmesini zorunlu hâle getirmektedir. Bu bağlamda koruma süreçlerinde teknik müdahalelerin yanı sıra çevresel, toplumsal ve kültürel boyutların birlikte ele alınması sürdürülebilir koruma anlayışının temel gerekliliklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, sürdürülebilir restorasyon yaklaşımını çevresel, toplumsal ve kültürel boyutlarıyla değerlendirerek bütüncül koruma anlayışının temel ilkelerini ortaya koymaktır. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş; ulusal ve uluslararası literatür, koruma kuramları, uluslararası koruma belgeleri ve sürdürülebilirlik odaklı çalışmalar belge incelemesi yöntemiyle analiz edilmiştir. Kuramsal değerlendirme, Süleymaniye Külliyesi başta olmak üzere seçilmiş tarihî yapı örnekleri üzerinden desteklenmiş; yerel malzeme kullanımı, enerji verimliliği, geleneksel yapım tekniklerinin korunması, toplumsal katılım ve kültürel hafızanın sürdürülebilirliği bütüncül koruma yaklaşımı kapsamında incelenmiştir. Araştırma sonucunda, sürdürülebilir restorasyonun yalnızca yapıların fiziksel korunmasına odaklanan teknik bir uygulama olmadığı; çevresel sorumluluk, toplumsal katılım ve kültürel sürekliliği birlikte ele alan çok boyutlu bir koruma anlayışı gerektirdiği ortaya konulmuştur. Çalışma, tarihî yapıların fiziksel değerlerinin yanı sıra sosyal işlevleri, çevresiyle kurduğu ilişkiler ve kültürel kimlikleriyle birlikte değerlendirilmesinin sürdürülebilir koruma açısından önemini vurgulamakta ve çevresel, toplumsal ile kültürel boyutları bütünleştiren bütüncül bir değerlendirme yaklaşımı önermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir restorasyon, kültürel miras, bütüncül koruma, kültürel miras yönetimi, sürdürülebilirlik.

A HOLISTIC CONSERVATION APPROACH IN SUSTAINABLE RESTORATION: INTEGRATION OF ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND CULTURAL DIMENSIONS

ABSTRACT

Contemporary approaches to cultural heritage conservation require a holistic perspective that integrates environmental sustainability, social participation, and cultural continuity rather than focusing solely on the physical preservation of historic structures. Current challenges such as climate change, natural disasters, rapid urbanization, and the unsustainable use of natural resources necessitate the re-evaluation of restoration practices in line with sustainability principles. In this context, integrating environmental, social, and cultural dimensions into conservation processes, alongside technical interventions, has become a fundamental requirement for sustainable heritage conservation. The aim of this study is to examine the sustainable restoration approach through its environmental, social, and cultural dimensions and to identify the fundamental principles of holistic conservation. A qualitative research methodology was adopted, and national and international literature, conservation theories, international conservation documents, and sustainability-oriented studies were analyzed

through document analysis. The theoretical framework was supported by selected historic building examples, particularly the Süleymaniye Complex. Key issues including the use of local materials, energy efficiency, preservation of traditional construction techniques, social participation, and the sustainability of cultural memory were examined within the framework of holistic conservation. The findings indicate that sustainable restoration should not be regarded merely as a technical process focused on the physical preservation of historic buildings. Rather, it requires a multidimensional conservation approach that integrates environmental responsibility, social participation, and cultural continuity. The study emphasizes that historic buildings should be evaluated not only for their physical characteristics but also for their social functions, relationships with their surroundings, and cultural identity. Accordingly, it proposes a holistic framework that integrates environmental, social, and cultural dimensions to support more sustainable restoration practices.
Keywords: Sustainable restoration, cultural heritage, holistic conservation, cultural heritage management, sustainability.

GİRİŞ

Kültürel miras, geçmiş ile gelecek arasında kurulan en güçlü bağlardan biri olarak toplumların kimlik ve hafıza unsurlarını barındırır ve uluslararası koruma yaklaşımında gelecek kuşaklara aktarılması gereken ortak bir değer alanı olarak ele alınır (Ahunbay, 1999; Feilden, 2003; UNESCO, 1972). Tarihî yapılar, sadece fiziksel birer mekân değil, aynı zamanda üretildikleri dönemin teknolojik, sosyal ve estetik birikimini bugüne taşıyan canlı belgelerdir. Ancak 21. yüzyılda artan nüfus, hızlı kentleşme süreçleri, doğal kaynakların tükenmesi ve küresel iklim krizinin tetiklediği çevresel tehditler, kültürel mirasın korunması alanındaki geleneksel paradigmaların sorgulanmasına yol açmıştır. Geçmişte ağırlıklı olarak yapının fiziksel bütünlüğünü ve malzeme ömrünü uzatmayı hedefleyen dar kapsamlı restorasyon anlayışları, günümüzün karmaşık ekolojik ve toplumsal dinamikleri karşısında yetersiz kalmaktadır.
Bu doğrultuda, çağdaş koruma teorileri; yapıların ekolojik ayak izini azaltmayı, yerel toplulukların katılımını sağlamayı ve kültürel sürekliliği korumayı merkeze alan sürdürülebilir restorasyon ve bütüncül koruma kavramlarını ön plana çıkarmaktadır (Pendlebury, 2010; ICOMOS, 2017). Sürdürülebilir restorasyon; teknik müdahalelerin ötesinde, çevresel sorumluluk, toplumsal kapsayıcılık ve kültürel değerlerin ortak bir potada eritildiği çok boyutlu bir yaklaşımı ifade eder. Bu makalenin temel amacı, bu çok boyutlu yapıyı teorik temelleriyle incelemek ve Süleymaniye Külliyesi özelinde bütüncül koruma ilkelerinin somut yansımalarını ortaya koymaktır.

Kültürel mirasın korunmasına ilişkin güncel çalışmalar incelendiğinde; enerji verimliliği, malzeme koruması, toplumsal katılım ve kültürel süreklilik gibi sürdürülebilir restorasyonun farklı boyutlarının çeşitli çalışmalar kapsamında ele alındığı görülmektedir. Bununla birlikte, çevresel, toplumsal ve kültürel sürdürülebilirlik bileşenlerinin restorasyon bağlamında aynı değerlendirme çerçevesi içerisinde birlikte ele alınması, bütüncül koruma açısından geliştirilmesi gereken bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma, söz konusu gereksinimden hareketle çevresel, toplumsal ve kültürel boyutları aynı değerlendirme sistemi içerisinde ele alan Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesini (BKDÇ) kavramsal bir yaklaşım olarak önermektedir. Böylece sürdürülebilir restorasyon uygulamalarının yalnızca fiziksel koruma açısından değil, çevresel, toplumsal ve kültürel sürdürülebilirlik bağlamında birlikte değerlendirilebilmesine katkı sunulması amaçlanmaktadır.

KURAMSAL ÇERÇEVE VE KAVRAMSAL YAKLAŞIM

Kültürel mirasın korunması tarihi, Venedik Tüzüğü gibi erken dönem uluslararası metinlerde daha çok malzeme bütünlüğü, özgünlük ve belgelenebilirlik ilkeleri üzerine kurulmuştur (ICOMOS, 1964; Jokilehto, 1999). Ancak zamanla yapıların çevresiyle, ekosistemle ve içinde yaşadığı toplumla olan etkileşimi göz ardı edilemeyecek kadar hayati bir boyut kazanmıştır.

2.1. Sürdürülebilir Restorasyonun Tanımı ve İlkeleri

Sürdürülebilir restorasyon, tarihî yapılara müdahale edilirken enerji ve malzeme kullanımının gözetilmesini ve müdahalenin çevresel etkilerinin azaltılmasını önemseyen bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir (Feilden, 2003; ICOMOS, 2017). Aynı zamanda geleneksel yapım tekniklerinin ekolojik dengelerle uyumunu esas alır. Bu yaklaşımın temel ilkeleri şunlardır:
Malzeme Tasarrufu ve Yerel Malzeme Kullanımı: Özgün dokunun korunması ve karbon salınımının azaltılması için yerel ve geleneksel malzemelerin tercih edilmesi.
Enerji Verimliliği: Tarihî yapıların mimari karakterine zarar vermeden ısıl performanslarının iyileştirilmesi.
Kültürel Sürdürülebilirlik: Yapının barındırdığı zanaat, estetik ve kültürel değerlerin gelecek kuşaklara aktarılması (ICOMOS, 1994; ICOMOS, 2000).

2.2. Bütüncül Koruma Anlayışı

Bütüncül koruma, bir yapının çevresinden, tarihî doku içerisindeki konumundan ve kullanıcılarıyla kurduğu ilişkiden bağımsız değerlendirilmesi yerine, bu bileşenlerin birlikte ele alınmasını esas almaktadır (Pendlebury, 2010; ICOMOS, 2017). Yapıyı ekolojik çevresi, toplumsal dokusu ve kültürel belleğiyle bir bütün olarak değerlendirmektedir. Bu çerçevede koruma süreci; mimar ve mühendislerin yanı sıra farklı disiplinlerden uzmanların, yerel toplumun ve ilgili paydaşların katılımını içeren çok aktörlü bir yaklaşımı gerekli kılmaktadır.

2.3. Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesi

Bu çalışma kapsamında önerilen Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesi, sürdürülebilir restorasyonun çevresel, toplumsal ve kültürel boyutlarını birbirinden bağımsız değil, karşılıklı etkileşim içerisinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çerçeve, mevcut uluslararası koruma ilkelerinin yerine yeni bir model geliştirme iddiası taşımamakta; aksine farklı koruma yaklaşımlarını ortak bir değerlendirme zemini üzerinde bir araya getirmektedir.
Çevresel boyut; doğal kaynakların korunması, yerel malzeme kullanımı, enerji verimliliği, iklimle uyumlu tasarım ve çevresel etkilerin azaltılmasını kapsamaktadır. Toplumsal boyut; yerel halkın katılımı, kamusal kullanımın devamlılığı, sosyal aidiyet ve paydaşlar arasındaki iş birliğini içermektedir. Kültürel boyut ise özgünlük, tarihsel kimlik, geleneksel yapım teknikleri, zanaatkârlık bilgisi ve kültürel belleğin korunmasını esas almaktadır.
Bu üç boyut birbirini tamamlayan bileşenler olarak değerlendirildiğinde, sürdürülebilir restorasyon yalnızca yapıların fiziksel olarak korunmasını değil, tarihî çevrenin yaşamaya devam eden bir kültürel sistem olarak geleceğe aktarılmasını da desteklemektedir. Bu nedenle önerilen değerlendirme çerçevesi, restorasyon uygulamalarının planlanması ve değerlendirilmesinde çok boyutlu bir bakış açısı sunmaktadır.

Tablo 1. Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesi

Boyut	Temel Unsurlar	Beklenen Katkı
Çevresel	Yerel malzeme, enerji verimliliği, Su yönetimi, doğal havalandırma	Doğal kaynakların korunması
Toplumsal	Katılım, kamusal kullanım, Erişilebilirlik, vakıf sistemi	Sosyal sürdürülebilirlik
Kültürel	Özgünlük, zanaatkârlık, Geleneksel bilgi, kültürel bellek	Kültürel süreklilik

YÖNTEM

Bu araştırmada, sürdürülebilir restorasyon ve bütüncül koruma kavramlarını derinlemesine inceleyebilmek amacıyla nitel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Çalışmanın veri altyapısını;

- Ulusal ve uluslararası yazılı literatür,
- Temel koruma kuramları ve uluslararası tüzük/belgeler (Venedik, Nara, Krakov vb.),
- Sürdürülebilirlik odaklı mimari ve kentsel koruma çalışmaları oluşturmaktadır.

Toplanan veriler belge incelemesi yöntemiyle eleştirel bir süzgeçten geçirilmiş ve kavramsal bir çerçeveye oturtulmuştur. Kuramsal argümanlar, Osmanlı mimarisinin anıtsal örneklerinden biri olan Süleymaniye Külliyesi üzerinden somutlaştırılmıştır.

SÜLEYMANİYE KÜLLİYESİ ÖRNEĞİ ÜZERİNDEN BÜTÜNCÜL KORUMA ANALİZİ

İstanbul'un silüetini ve tarihî dokusunu belirleyen önemli yapı gruplarından biri olan Süleymaniye Külliyesi, Mimar Sinan'ın mimarlık anlayışını yansıtmasının yanı sıra çevresel, toplumsal ve kültürel bileşenlerin birlikte okunabildiği önemli tarihî yapı topluluklarından biridir (Kuban, 2010). Külliye; cami, medreseler, imaret, darüşşifa, hamam ve kütüphane gibi farklı işlevleri bir araya getiren yapısıyla, dönemin sosyal ve kamusal yaşamını bütüncül biçimde destekleyen bir yapı topluluğu niteliğindedir.

Tablo Analizi Özetleri:

Çevresel Boyut: Yerel malzeme kullanımı ve enerji verimliliğinin korunması.

- Toplumsal Boyut: Toplumsal katılım ve kamusal işlevlerin sürekliliği.
- Kültürel Boyut: Karşılığı: Kültürel belleğin ve zanaat geleneklerinin aktarılması.

Süleymaniye Külliyesi'nin geçmişten günümüze geçirdiği restorasyon süreçleri incelendiğinde, sadece taşıyıcı sistemin güçlendirilmesinin yetmediği; yapının kamusal hafızasındaki yerinin ve çevre dokusuyla kurduğu organik bağın da korunması gerektiği açıkça görülmektedir. Özgün harç içerikleri, taş kullanımı ve doğal havalandırmaya ilişkin geleneksel çözümler, tarihî yapım

bilgisinin günümüzde sürdürülebilir tasarım kapsamında değerlendirilen bazı çevresel ilkelerle ilişkilendirilebileceğini göstermektedir.

TARTIŞMA VE BULGULAR

Araştırma sürecinde elde edilen bulgular, sürdürülebilir restorasyonun geleneksel kalıpların ötesine geçmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen temel bulgular şunlardır:

Çok Boyutluluk: Restorasyon yalnızca fiziksel ve teknik müdahalelerden oluşan bir süreç olarak değil; kaynak kullanımının azaltılmasına katkı sağlayabilen, yerel zanaatkârlığı destekleyebilen ve yerel ekonomik süreklilikle ilişki kurabilen çok boyutlu bir koruma pratiği olarak değerlendirilmelidir.

Toplumsal Aidiyet: Restorasyon süreçlerine yerel toplumun ve ilgili sivil paydaşların katılımı, yapıların koruma sonrasındaki toplumsal benimsenmesini ve uzun vadeli sürdürülebilirliğini destekleyen önemli unsurlardan biri olarak değerlendirilmektedir.

Kültürel Süreklilik: Tarihî yapıların korunmasında yalnızca fiziksel varlığın sürdürülmesi değil; özgün değerleriyle uyumlu olduğu ölçüde toplumsal yaşamla ilişkilerinin ve kültürel sürekliliklerinin desteklenmesi de önem taşımaktadır.

Bulgular, sürdürülebilir restorasyonun yalnızca teknik koruma uygulamalarına indirgenemeyeceğini göstermektedir. Uluslararası koruma belgelerinde geliştirilen koruma ilkeleri, kültürel mirasın fiziksel özelliklerinin yanı sıra bağlamı, değerleri ve değişen çevresel koşullarla ilişkisi içinde değerlendirilmesini desteklemektedir (ICOMOS, 1994; ICOMOS, 2000; ICOMOS, 2017). Ancak uygulamada birçok restorasyon projesinin fiziksel müdahalelere odaklandığı, sosyal ve kültürel boyutların ise ikincil planda kaldığı görülmektedir. Bu durum, tarihî yapıların özgün kimliklerini koruyarak yaşamaya devam etmelerini zorlaştırabilmektedir. Bu çalışma kapsamında önerilen Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesi, restorasyon projelerinin yalnızca fiziksel müdahaleler üzerinden değil; çevresel sürdürülebilirlik, toplumsal katılım ve kültürel süreklilik ölçütleri üzerinden birlikte değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. Özellikle Süleymaniye Külliyesi örneğinde görüldüğü gibi tarihî yapıların uzun ömürlü olmasını sağlayan unsur yalnızca mimari sağlamlık değil, aynı zamanda çevresiyle kurduğu ilişki, toplumsal işlevlerini sürdürmesi ve kültürel hafızanın yaşatılmasıdır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak; tarihî yapıların korunması, günümüzün küresel krizleri karşısında ekolojik, toplumsal ve kültürel bileşenleri bir arada ele alan bütüncül bir perspektifle yeniden ele alınmalıdır. Süleymaniye Külliyesi örneği, geleneksel tasarım ve yapım bilgisinin günümüz sürdürülebilir koruma yaklaşımları açısından yeniden değerlendirilmesinin önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu doğrultuda önerilen Bütüncül Koruma Değerlendirme Çerçevesi (BKDÇ), hem kuramsal tartışmalara hem de koruma uygulamalarının çok boyutlu değerlendirilmesine katkı sunabilecek kavramsal bir araç niteliğindedir. Öneriler bağlamında, yerel malzeme ve geleneksel yapım tekniklerinin yasal düzenlemelerde daha çok teşvik edilmesi ve toplumsal katılım mekanizmalarının kurumsallaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmanın literatüre temel katkısı, sürdürülebilir restorasyonun çevresel, toplumsal ve kültürel boyutlarını tek bir kavramsal değerlendirme çerçevesi altında bir araya getirmesidir. Önerilen yaklaşım, mevcut koruma ilkelerinin yerine yeni bir model sunmaktan ziyade, farklı sürdürülebilirlik bileşenlerini ortak bir değerlendirme zemini üzerinde bütünleştirmektedir. Bu çerçevenin gelecekte farklı tarihî yapı örnekleri üzerinde uygulanarak geliştirilmesi, sürdürülebilir koruma yaklaşımlarının uygulamaya aktarılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Ahunbay, Z. (1999). Tarihî Çevre Koruma ve Restorasyon Mimarlığı. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Feilden, B. M. (2003). Conservation of Historic Buildings. Architectural Press.

Jokilehto, J. (1999). A History of Architectural Conservation. Butterworth-Heinemann.

ICOMOS. (1964). Anıtların ve Sitlerin Korunması ve Restorasyonuna İlişkin Uluslararası Tüzük (Venedik Tüzüğü).

UNESCO. (1972). Dünya Kültürel ve Doğal Mirasının Korunmasına Dair Sözleşme.

ICOMOS. (1994). Nara Document on Authenticity. International Council on Monuments and Sites.

ICOMOS. (2000). The Kraków Charter 2000: Principles for the Conservation and Restoration of Built Heritage.

ICOMOS. (2017). Cultural Heritage and Climate Change: Introduction and Overview of Key Issues. ICOMOS Climate Change and Cultural Heritage Working Group.

Pendlebury, J. (2010). Conservation values, the authorised heritage discourse and the heritage-planning 'turn'. International Journal of Heritage Studies, 16(3), 170-183.

Kuban, D. (2010). Sinan'ın Sanatı ve Selimiye. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları.

FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ FEN OKURYAZARLIĞI ALGISI VE YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Melisa TOPAL
Gazi University, Institute of EducationalSciences, Department of MathematicsandScienceEducation, Division of ScienceEducation, 06560 Emniyet, Ankara
ORCID ID:0009-0009-7956-6720
Prof. Dr. Salih ATEŞ
Gazi University, Gazi Faculty of Education, Department of MathematicsandScienceEducation, 06500 Beşevler, Ankara
ORCID ID:0000-0003-0425-0982

ÖZET
Bu araştırmanın Amacı fen bilimleri öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algısı ile yapay zekâ okuryazarlığı arasındaki ilişkinin incelenmesidir.Ayrıca bu araştırmada öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algısı ve yapay zekâ okuryazarlığının cinsiyet değişkenine göre farklılık gösterip göstermediğinin ortaya konulması da amaçlanmıştır. Araştırma, nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın örneklemini, Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümünde öğrenim gören Fen Bilgisi, Fizik, Kimya ve Biyoloji Öğretmenliği programlarına kayıtlı toplam 177 üçünce ve dördüncü sınıf öğretmen adayı oluşturmaktadır. Araştırma daveti toplama aracı olarak Yapay Zekâ Okuryazarlık Ölçeği (YAPZEKO) ile Fen Okuryazarlık Algı Ölçeği (FOAÖ) kullanılmıştır.
Araştırma toplanan verilerin analizi sonucunda ulaşılan bulgulara göre öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algı puan ortalaması 194/246; yapay zekâ okuryazarlığı puan ortalaması ise 43/60 olarak belirlenmiştir. Öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algısı ile yapay zekâ okuryazarlığı algısı arasında pozitif yönlü, orta düzeyde ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunduğu saptanmıştır. Buna göre, fen okuryazarlığı algısı yüksek olan öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlık düzeyinin de yüksek olduğu arttığı görülmektedir. Cinsiyet değişkenine göre fen okuryazarlık algısı ve yapay zekâ okuryazarlık düzeylerine ilişkin bulgular incelendiğinde, kadın öğretmen adaylarının her iki ölçekten elde ettikleri puan ortalamalarının erkek öğretmen adaylarından daha yüksek olduğu görülmesiyle birlikte, gözlenen bu farklılığın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmüştür. Başka bir ifadeyle, cinsiyet değişkeninin fen okuryazarlığı algısı ve yapay zekâ okuryazarlığı üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı görülmüştür.
Araştırmadan elde edilen bulgular, fen okuryazarlığı algısı ile yapay zekâ okuryazarlığı arasındaki ilişkinin ortaya konulması açısından önem taşımakta olup, öğretmen adaylarının fen okuryazarlık algılarının geliştirilmesinin öğretmen adaylarının teknoloji ve bilim temelli yeterliklerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Fen okuryazarlığı algısı, yapay zekâ okuryazarlığı, fen bilimleri öğretmen adayları.

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SCIENCE TEACHER CANDIDATES' PERCEPTION OF SCIENCE LITERACY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE LITERACY

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the relationship between preservice science teachers' perception of science literacy and artificial intelligence literacy. Additionally, this study aims to reveal whether preservice teachers' perception of science literacy and artificial intelligence literacy differ according to the gender variable. The study was conducted using the correlational survey model, one of the quantitative research methods. The sample of the study consists of a total of 177 third- and fourth-year preservice teachers registered in the Science Education, Physics Education, Chemistry Education, and Biology Education programs at Gazi University, Gazi Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education. The Artificial Intelligence Literacy Scale (YAPZEKO) and the Science Literacy Perception Scale (FOAÖ) were used as data collection tools.

According to the findings obtained from the analysis of the collected data, the mean score of preservice teachers' science literacy perception was determined as 194/246, and the mean score of artificial intelligence literacy was determined as 43/60. It was found that there is a positive, moderate, and statistically significant relationship between preservice teachers' perception of science literacy and artificial intelligence literacy. Accordingly, it is observed that as the science literacy perception of preservice teachers increases, their artificial intelligence literacy level also increases. When the findings regarding science literacy perception and artificial intelligence literacy levels according to the gender variable were examined, although female preservice teachers' mean scores obtained from both scales were higher than male preservice teachers', it was observed that this difference was not statistically significant. In other words, it was observed that the gender variable had no significant effect on science literacy perception and artificial intelligence literacy.

The findings obtained from the study are of importance in terms of revealing the relationship between science literacy perception and artificial intelligence literacy, and it is thought that developing preservice teachers' science literacy perceptions can contribute to the development of preservice teachers' technology- and science-based competencies.

Keywords: Perception of science literacy, artificial intelligence literacy, preservice science teachers.

1. GİRİŞ

Fen okuryazarlığı algısı, bireylerin bilimsel kavramları, bilimsel süreçleri ve bilimin toplumla etkileşimini nasıl anladıklarını yansıtan bir kavramdır. Fen bilgisi öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algıları, bilimin doğasına, bilimsel yöntemlere ve bilimsel bilginin günlük yaşamla ilişkisine yönelik görüşlerini kapsamaktadır. Fen okuryazarlığı algısı yalnızca bilimsel bilgi düzeyini değil, aynı zamanda bilime yönelik tutumları, etik sorumlulukları ve bilimsel düşünme alışkanlıklarını da içermektedir (Çalık ve diğerleri, 2024).

Fen okuryazarlığı algısının farklı boyutları bulunmaktadır. Bu boyutlar, öğretmen adaylarının bilimsel kavramları anlama, bilimsel süreçleri kullanma ve bilimin işlevini değerlendirme durumlarını kapsamaktadır. Suwono ve diğerleri (2022), fen bilgisi öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algılarını belirlemek amacıyla geliştirilen ölçeğin geçerlilik ve güvenirlik çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Çalık ve diğerleri (2024), bu ölçeği Türk bağlamına uyarlayarak fen bilgisi öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algılarını incelemiştir.

Yapay zekâ okuryazarlığı, yapay zekâ teknolojilerinin temel prensiplerini anlama, bu teknolojileri kullanma ve etik yönlerini değerlendirme becerisini ifade etmektedir. Yapay zekâ okuryazarlığı; bilme-anlama, uygulama-değerlendirme ve etik farkındalık boyutlarını içeren bir yapıya sahiptir. Long ve Magerko (2020), yapay zekâ okuryazarlığının eleştirel düşünme ve etik farkındalık unsurlarını kapsadığını belirtmiştir. Erdoğdu ve Çakır (2024), öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlık düzeylerini ve bu okuryazarlığın farklı boyutlarını incelemiştir.
Fen okuryazarlığı algısı ve yapay zekâ okuryazarlığı, fen bilgisi öğretmen adaylarının bilimsel ve teknolojik süreçleri anlamaları açısından ilişkili iki alan olarak değerlendirilmektedir.

2.ÇALIŞMA ALANI

Araştırmanın evrenini Ankara'daki Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü'nde öğrenim gören fen bilimleri ile ilgili anabilim dallarında okuyan 3. ve 4. sınıf öğretmen adayları oluşturmaktadır. Örneklem dört farklı öğretmen yetiştirme programından okuyan toplam 177 öğretmen adayından oluşmaktadır: Fen Bilgisi Eğitimi (n = 91), Fizik Eğitimi (n = 40), Biyoloji Eğitimi (n = 31) ve Kimya Eğitimi (n = 15).

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Modeli ve Katılımcılar

Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlıkları ile fen okuryazarlığı algıları arasındaki ilişkiyi ortaya koymayı ve incelemeyi amaçlamaktadır. Bu iki değişken arasındaki ilişkinin derecesini ve yönünü incelemek amacıyla nicel araştırma desenlerinden tarama modeli benimsenmiştir (Bekman, 2022). Çalışma grubuna ve uygulama alanına ilişkin detaylar *"2. Çalışma Alanı"* başlığında sunulmuştur.

2.2. Veri Toplama Araçları

Veriler iki temel araçla toplanmıştır. İlk ölçek 6'lı Likert ölçeği yapısında 8 alt boyutu bulunan (Bilime İlgi, Bilimin Doğası ve İşlevi, Ahlaki ve Sosyal Sorumluluk Duygusu, İnsan Uğraşı Olarak Bilim, Üst biliş, Zihnin Alışkanlıkları, Bilimsel Okuryazarlık Öğretimi ve Bilimde Etik) Fen Okuryazarlığı Algısı Ölçeğidir (FOAÖ). Diğeri ise 5'li Likert ölçeğiyapısında ve 4 alt boyutu olan (farkındalık, kullanım, değerlendirme, etik) Yapay Zekâ Okuryazarlığı Ölçeğidir (YAPZEKO).
Ölçekler uygulanmadan önce; cinsiyet, öğrenim görülen akademik program, günlük dijital ekran süresi ve beyan edilen bilgisayar beceri düzeylerine ilişkin demografik verileri toplamak amacıyla bir kişisel bilgi formu kullanılmıştır.
Veri toplama süreci gönüllülük esasına göre yürütülmüştür. Katılımcılara araştırmanın amacı hakkında bilgi verilmiş, gizlilik konusunda güvence sağlanmış (kişisel olarak tanımlayıcı bilgi istenmemiştir) ve bilgilendirilmiş onam alınmıştır. Çalışmada kullanılan ölçeklerin yapısal özellikleri ve iç tutarlılık (Cronbach Alpha) katsayıları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1.Ölçeklerin Yapısal Özellikleri ve Güvenirlik Katsayıları

Ölçek	Madde Sayısı	Likert Türü	Cronbach Alpha
Yapay Zeka Okuryazarlığı	12	5' li Likert	,71
Fen Okuryazarlık Algısı	41	6'lı Likert	,88

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, ölçekler aracılığıyla toplanan veriler üzerinde SPSS yazılımı kullanılarak yapılan istatistiksel analizlerden elde edilen bulgular sunulmuştur. Veriler frekans, yüzde, bağımsız örneklemler t-testi ve Pearson korelasyon analizi kullanılarak analiz edilmiş ve tablolar halinde sunulmuştur.

Öğretmen adaylarının Yapay Zekâ Okuryazarlığı puanlarının cinsiyet değişkenine göre karşılaştırılmasına ilişkin bağımsız örneklemler t-testi sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Yapay Zekâ Okuryazarlığı Puanlarının Cinsiyete Göre Karşılaştırılması

Cinsiyet	N	X̄	SS	t	df	p
Kadın	140	42,79	4,80			
Erkek	37	41,79	4,52	,936	175	,351

Tablo 2'de yapay zekâ okuryazarlığı puanlarının cinsiyete göre karşılaştırılmasına ilişkin bağımsız örneklemler t-testi sonuçlarını sunmaktadır. Verilere göre, kadın öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlığı puan ortalaması X̄= 42.79 iken, erkek öğretmen adaylarının puan ortalaması X̄= 41.79dur. Bu durum, kadın öğretmen adaylarının yapay zekâ okuryazarlığında erkek öğretmen adaylarına kıyasla daha yüksek bir puan ortalamasına sahip olduğunu göstermektedir. Standart sapma değerlerine bakıldığında, her iki grubun da benzer değerler sergilediği görülmektedir (Kadın SS = 4.80; Erkek SS = 4.52). Bağımsız örneklemler t-testi sonuçları, gruplar arasındaki bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığını ortaya koymuştur ($p > .05$). Buna göre, cinsiyet faktörünün yapay zekâ okuryazarlığı puanları üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığı ve puanlar arasında cinsiyete dayalı istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı ifade edilebilir.

Tablo 3. Fen Okuryazarlığı Algı Puanlarının Cinsiyete Göre Karşılaştırılması

Cinsiyet	N	X̄	SS	t	df	p
Kadın	140	194,66	15,91			
Erkek	37	189,46	20,72	1,419	47,799	,100

Tablo 3'de, fen okuryazarlığı algı puanlarının cinsiyete göre anlamlı bir farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla yapılan bağımsız örneklemler t-testi bulgularını sunulmaktadır. Verilere göre, kadın öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algı puan ortalaması X̄= 194.66 iken, erkek öğretmen adaylarının puan ortalaması X̄= 189.46'dır. Standart sapma,

kadın öğretmen adayları için 15.91, erkek öğretmen adayları için ise 20.72'dir. Analizden elde edilen t-değeri 47.799 serbestlik derecesinde 1.419'dur.
Bağımsız örneklemler t-testinden elde edilen anlamlılık düzeyinin .05'ten büyük olduğu belirlenmiştir ($p > .05$). Bu durum, öğretmen adaylarının puanlarının cinsiyete göre istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermediğine işaret etmektedir. Bulgular doğrultusunda, cinsiyetin öğretmen adaylarının fen okuryazarlığı algı puanlarında anlamlı bir fark oluşturmadığı, istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık olmaksızın benzer bir dağılım sergilediği sonucuna varılabilir.

Tablo 4.Öğretmen Adaylarının Fen Okuryazarlığı Algısı ile Yapay Zekâ Okuryazarlığı Arasındaki İlişki

Değişkenler	**Pearson Korelasyon**	**Sig. (2-tailed)**	**N**
Fen Okuryazarlığı Algısı	1	—	177
Yapay Zekâ Okuryazarlığı	,572**	,000	177

Tablo 4'tegörüldüğü üzere iki değişken arasındaki ilişkinin gücü, yönü ve anlamlılığı incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda fen okuryazarlığı algısı ile yapay zekâ okuryazarlığı arasında pozitif yönlü, orta düzeyde ve statiksel olarak anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($r= ,572$; $p< ,01$).Analiz sonucunda elde edilen korelâsyon katsayısının, pozitif yönde olması değişkenlerin aynı doğrultuda hareket etmesini, orta düzeyde olmasının sebebi ise aralarındaki ilişkinin ne çok güçlü ne çok zayıf olduğunu gösterme eğilimindedir.

4. SONUÇLAR

Bu araştırma, fen bilgisi öğretmen adaylarının yapay zeka okuryazarlığı ile fen okuryazarlığı algısı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırmanın temel sonucu, iki okuryazarlık türü arasında istatistiksel olarak anlamlı ve pozitif yönlü orta düzeyde bir ilişki olduğudur. Fen okuryazarlığı algısı güçlü olan öğretmen adaylarının, yapay zeka araçlarını fen eğitiminde daha bilinçli biçimde entegre edebilme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir. Fen okuryazarlığı algısı sekiz boyutlu bir yapıya sahiptir (Çalık vd., 2024); yapay zeka okuryazarlığı ise dört temel boyuttan oluşmaktadır (Polatgil ve Güler, 2023).Araştırmada cinsiyete göre yapay zeka okuryazarlığı ve fen okuryazarlığı algı puan ortalamaları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Literatürde bazı çalışmalar cinsiyetin dijital okuryazarlıkta fark yarattığını belirtse de (Karaman ve Köse, 2025), bu araştırma fen bilgisi öğretmen adayları özelinde cinsiyetin belirleyici olmadığını ortaya koymuştur. Öğretmen adaylarının ölçeklerden aldıkları puan ortalamaları literatürle önemli paralellikler göstermektedir (Çalık vd., 2024; Polatgil ve Güler, 2023; Karaman ve Köse, 2025)..

5.KATKI

Öğretmen adaylarının her iki cinsiyette de benzer okuryazarlık profiline sahip olması, fen derslerinin daha eşitlikçi ve kapsayıcı bir yaklaşımla planlanmasına olanak sağlamaktadır. Pozitif ilişki, eğitim fakültelerinde "Yapay Zeka Destekli Fen Eğitimi" gibi seçmeli veya zorunlu derslerin açılmasını desteklemektedir. Sonuç olarak bu araştırma, fen bilgisi öğretmen

adaylarının yapay zeka okuryazarlığı ile fen okuryazarlığı algısı arasındaki pozitif ilişkinin varlığını ortaya koymuş ve dijital dönüşüm sürecinde mesleki yeterliliklerin bütüncül biçimde geliştirilmesinin önemini vurgulamıştır.

REFERENCES

Bekman, M. (2022). Halkla İlişkiler Uygulamalarında Nicel Araştırma Yöntemi: İlişkisel Tarama Modeli. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 6(16), 238-258.

Çakı, M. N., & Çam, A. (2024). Fen eğitiminde dijital hikâye kullanımına ilişkin çalışmaların içerik analizi: Türkiye örneği.*Mehmet Akif Ersoy University Journal of Education Faculty*, 72, 28-60.

Çalık, S., İnaltun, H., Yalvaç Ertuğrul, E. ve Ateş, S. (2024). Fen bilgisi öğretmen adaylarının fen okuryazarlık algısı ölçeği uyarlama çalışması. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 8(1), 187-218.

Erdoğdu, F. ve Çakır, Ö. (2024). Öğretmen adaylarının yapay zeka okuryazarlıklarının ve yapay zekaya ilişkin algılarının belirlenmesi. *Uluslararası Türk Kültür Coğrafyasında Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(2), 63-95.

Karaman, K., & Köse, M. (2025). Fen bilimleri öğretmen ve öğretmen adaylarının yapay zekaya yönelik tutumları ile yapay zeka okuryazarlık düzeyleri: İlişkisel bir inceleme. *Eğitimde Yeni Yaklaşımlar Dergisi,* 8(2), 177-197.

Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-16. Association for Computing Machinery.

Özdemir, O. (2010). Fen ve teknoloji öğretmen adaylarının fen okuryazarlığının durumu. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 7(3), 42-56.

Suwono, H., Maulidia, L., Saefi, M., Kusairi, S., & Yuenyong, C. (2022). The development and validation of an instrument of prospective science teachers' perceptions of scientific literacy. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(1), Article em2068.

FAZ KAYDIRMALI TAM KÖPRÜ (PSFB) DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN LQI TABANLI DURUM GERİ BESLEME YÖNTEMİYLE KONTROLÜ

Ensar Taha ÇELİK
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Serdivan
ORCID ID: 0009-0002-0517-7924
Dr. Öğr. Üyesi ONUR DEMİREL
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya/Serdivan
ORCID ID: 0000-0002-4221-3739

ÖZET
Güç elektroniği sistemlerinde yüksek güç yoğunluğu ve elektriksel izolasyon sunan Faz Kaydırmalı Tam Köprü (PSFB) dönüştürücüler endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak, bu dönüştürücülerin çıkışında yer alan LC filtre yapısı ve doğrusal olmayan içsel dinamikler, sistemin kontrolünü zorlaştırmaktadır. Geleneksel Oransal-İntegral (PI) kontrolörler, ani yük değişimlerinde yetersiz kalabilmekte ve çıkış geriliminde dalgalanmalara veya salınımlara neden olabilmektedir. Bu çalışmada, PSFB dönüştürücülerin geçici rejim performansını iyileştirmek ve dinamik bozucu etkilerini azaltmak amacıyla Durum Geri Beslemeli (State Feedback) Doğrusal Karesel İntegral (LQI) kontrol algoritması tasarlanmıştır. Geliştirilen LQI kontrolcünün performansı, MATLAB/Simulink ortamında fiziksel sınırlarında çalıştırılan klasik PI kontrolcü ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Simülasyon sonuçları, durum geri beslemeli LQI kontrolcünün ani yük geçişlerinde klasik PI kontrolcüye göre daha az gerilim çökmesi yaşadığını ve daha kısa sürede kararlı duruma ulaştığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, LQI algoritmasının PSFB dönüştürücülerde gerilim regülasyonu ve geçici rejim tepkisi açısından belirgin iyileştirmeler sağladığını ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Faz Kaydırmalı Tam Köprü (PSFB), Durum Geri Beslemesi (State Feedback), Doğrusal Karesel İntegral (LQI), DC-DC Dönüştürücü.

CONTROL OF PHASE-SHIFTED FULL-BRIDGE (PSFB) CONVERTER USING LQI-BASED STATE FEEDBACK METHOD

ABSTRACT
Phase-Shifted Full-Bridge (PSFB) converters, which offer high power density and electrical isolation in power electronics systems, are frequently preferred in industrial applications. However, the LC filter structure at the output of these converters and their nonlinear internal dynamics make the control of the system difficult. Conventional Proportional-Integral (PI) controllers may fall short during sudden load changes, causing fluctuations or oscillations in the output voltage. In this study, a State Feedback Linear Quadratic Integral (LQI) control algorithm is designed to improve the transient performance of PSFB converters and reduce dynamic disturbance effects. The performance of the developed LQI controller was comparatively analyzed in the MATLAB/Simulink environment against a classical PI controller operating at its physical limits. Simulation results indicate that the state feedback LQI controller experiences less voltage dip during sudden load transitions and reaches steady-state in a shorter time compared to the classical PI controller. The findings reveal that the LQI algorithm provides notable improvements in voltage regulation and transient response in PSFB converters.
Keywords: Phase-Shifted Full-Bridge (PSFB), State Feedback, Linear Quadratic Integral (LQI), DC-DC Converter.

1. GİRİŞ

Modern güç dağıtım mimarilerinde yüksek verimlilik ve güvenilirlik arayışı giderek artmaktadır. Batarya veya jeneratörden sağlanan yüksek gerilimli ana baraların, elektronik sistemleri beslemek üzere düşük gerilimli ikincil baralara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, güç dönüştürücülerin gerilim regülasyonunu ve ani yük değişimlerindeki geçici rejim (transient) tepkilerini son derece katı sınırlar içerisinde tutması şart koşulmaktadır (DEPARTMENT OF DEFENSE INTERFACE STANDARD AIRCRAFT ELECTRIC POWER CHARACTERISTICS AMSC N/A AREA SESS NOT MEASUREMENT SENSITIVE, 2004).

Yüksek güç yoğunluğu ve izolasyon gereksinimleri, bu tür DC-DC güç dönüşümleri için Faz Kaydırmalı Tam Köprü (PSFB) topolojisini literatürde sıklıkla tercih edilen dönüştürücülerden biri konumuna getirmiştir (Erickson & Maksimovic, t.y.; Ibrahim vd., 2017). Sabit frekanslı anahtarlama altında Sıfır Gerilimde Anahtarlama (ZVS) kabiliyeti sunan PSFB mimarisi, elektromanyetik girişimin (EMI) azaltılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Ancak PSFB dönüştürücülerin kontrolü; transformatörün kaçak endüktansı ve sistemin çıkışındaki LC filtre (rezonans tankı) gibi doğrusal olmayan içsel dinamikler nedeniyle oldukça karmaşıktır. Endüstride yaygın olarak kullanılan klasik Oransal-İntegral (PI) veya sadece integral tabanlı kontrolörler, yalnızca çıkış gerilimindeki hataya odaklanan tek yönlü bir yapıya sahiptir. Bu durum, ani ve yüksek genlikli akım çeken dinamik faydalı yüklerin devreye girmesi durumunda kontrolcünün geç tepki vermesine, LC tankında sönümlenmesi zor salınımların (ringing) oluşmasına ve çıkış geriliminde standartların dışında aşırı gerilim veya çökmelere neden olabilmektedir (Taibi vd., 2021).

Bu dinamik kısıtlamaları aşmak ve LC filtresinin neden olduğu salınımları aktif olarak sönümlemek için, çok değişkenli sistemlerin eşzamanlı kontrolüne olanak tanıyan Durum Geri Beslemeli (State Feedback) ve Doğrusal Karesel İntegral (LQI) algoritmaları modern güç elektroniği literatüründe öne çıkmaktadır (Evran, 2025; Vaez vd., 2021), . Klasik PI kontrolcünün aksine LQI, sistemin iç dinamiklerini (örneğin bobin akımını) hesaba katarak durumlara anında müdahale eder, geçici rejim performansını iyileştirir ve sıfır kalıcı hal hatası sağlar.

Bu çalışmanın amacı, PSFB dönüştürücüde durum geri beslemeli bir LQI kontrolcü tasarlamaktır. Geliştirilen kontrol stratejisi, şiddetli dinamik yük profilleri altında simülasyon ortamında test edilerek klasik PI kontrolcüye kıyasla ne düzeyde bir performans sunduğunu ortaya koymaktadır. Bildirinin devamında; Bölüm 2'de PSFB dönüştürücünün modellenmesi ve kontrolcü tasarımı sunulmuş, Bölüm 3'te elde edilen karşılaştırmalı performans bulguları tartışılmış, Bölüm 4'te ise çalışma sonuçlandırılmıştır

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, izoleli PSFB dönüştürücünün dinamik matematiksel modeli çıkarılmıştır. Bu fiziksel model temel alınarak, Durum Geri Beslemeli Doğrusal Karesel İntegral (LQI) kontrol metodolojisi sunulmuştur. Ayrıca, önerilen yöntemin performansını nesnel bir şekilde kıyaslayabilmek adına klasik bir PI kontrolcü tasarımı da sisteme entegre edilmiştir.

2.1. PSFB Dönüştürücü Dinamik Modeli ve Sistem Parametreleri

Faz Kaydırmalı Tam Köprü (PSFB) dönüştürücülerin yüksek frekanslı anahtarlama dinamikleri, kontrolcü tasarımını kolaylaştırmak amacıyla durum-uzay ortalama modelleme (state-space averaging) tekniği kullanılarak sürekli zamanlı doğrusal bir modele dönüştürülmüştür. Sistemde enerji depolayan temel elemanlar olan çıkış filtresi bobin akımı (i_L) ve çıkış kondansatörü gerilimi (v_C), sistemin durum değişkenleri olarak belirlenmiştir. Durum vektörü $x = [i_L, v_c]^T$, sistem giriş (görev döngüsü) vektörü u = d ve çıkış vektörü y = v_C olarak tanımlandığında, doğrusal sürekli zaman modeli Denklem (1)'deki gibi ifade edilir:

$\dot{x} = Ax + Bu$ (1)
y = Cx

Sistemin dinamik karakteristiğini belirleyen durum (A), giriş (B) ve çıkış (C) matrisleri, devre topolojisine bağlı olarak Denklem (2)'deki gibi elde edilmiştir:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -1/L \\ 1/C & -1/(RC) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$B = \begin{bmatrix} (n.V_{in})/L \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \quad 1]$$

Burada; L çıkış filtre bobinini, C çıkış filtre kondansatörünü, n transformatör dönüşüm oranını, V_{in} giriş gerilimini ve R eşdeğer yük direncini temsil etmektedir. Tasarımı gerçekleştirilen ve kontrol mimarisine temel oluşturan dönüştürücüye ait sistemsel parametreler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. PSFB Dönüştürücü Sistem ve Bileşen Parametreleri.

Parametre Tanımı	Sembol	Değer
Nominal Giriş Gerilimi	V_{in}	270 V DC
Hedef Çıkış Gerilimi	V_{out}	28 V DC
Tasarım Güç Kapasitesi	P_{max}	300 W
Nominal Yük Akımı	I_{nom}	4 A
Maksimum Tepe Yük Akımı	I_{peak}	10 A
Transformatör Dönüşüm Oranı	n	0.2
Çıkış Filtre Bobini (Endüktans)	L	47 µH
Çıkış Filtre Kondansatörü (Kapasitans)	C	47 µF

2.2. Doğrusal Karesel İntegral (LQI) Kontrolcü Tasarımı

Güç dönüştürücülerinin dinamik yük geçişlerinde sıfır kalıcı hal hatası (zero steady-state error) ile çalışması kritik bir gereksinimdir. Bu gereksinimi karşılamak için, geleneksel Doğrusal Karesel Regülatör (LQR) algoritmasının durum geri besleme yapısına, referans izleme hatasının (e(t) = y(t) - r(t)) integrali eklenerek LQI kontrolcü tasarlanmıştır.

İntegratör durumu $x_i = \int (y - r) \cdot dt$ sisteme eklenerek genişletilmiş (augmented) bir durum vektörü ($x_a = [x^T, x_i]^T$) oluşturulur. LQI kontrolcüsünün temel amacı, durum sapmaları ile harcanan kontrol eforu (enerjisi) arasında optimal bir denge kuran Denklem (3)'teki karesel maliyet fonksiyonunu (J) minimize etmektir:

$$J = \int_0^\infty (x_a^T Q x_a + u^T R_c u)\, dt \quad (3)$$

Burada Q ve R_c, sırasıyla durum değişkenlerinin ve kontrol girişinin cezalandırma ağırlıklarını belirleyen pozitif tanımlı matrislerdir. Maliyet fonksiyonunu minimize eden optimal kontrol kuralı Denklem (4) ile belirlenir:

$$u(t) = -K x_a(t) \quad (4)$$

Burada K, genişletilmiş sistemin hedeflenen sönümlenme karakteristiğine göre hesaplanan durum geri besleme kazanç matrisidir. İntegral eyleminin sisteme matematiksel olarak dahil edilmesi, dış bozuculara karşı sistemin gürbüzlüğünü (robustness) ciddi oranda artırmaktadır.

2.3. Luenberger Durum Gözlemcisi ile "Dijital İkiz" Modellemesi

Durum geri beslemeli LQI kontrolcünün ($u = -K x_a(t)$) optimum şekilde çalışabilmesi için bobin akımının anlık olarak bilinmesi gerekmektedir. Donanım maliyetini ve elektriksel gürültüyü (EMI) minimize etmek amacıyla, fiziksel akım sensörü sistemden çıkarılmış ve yerine PSFB dönüştürücünün matematiksel bir kopyası, yani "dijital ikizi" (digital twin) olarak çalışan bir Luenberger durum gözlemcisi entegre edilmiştir. Bu gözlemci yapısı Denklem (5)'te ifade edilmiştir:

$$\dot{\hat{x}}(t) = A\hat{x}(t) + Bu(t) + L_g(y(t) - C\hat{x}(t)) \quad (5)$$

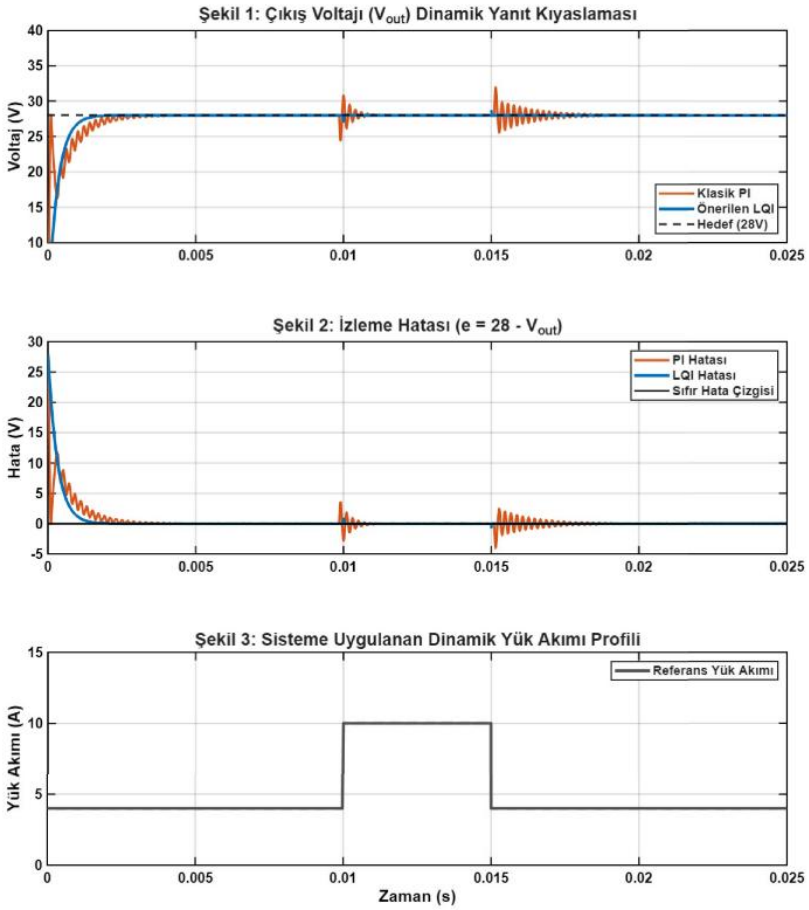
Bu denklemde; $\hat{x}$ tahmin edilen durum vektörünü, L_g ise gözlemci kazanç matrisini ifade etmektedir. Gözlemci, fiziksel sisteme uygulanan kontrol sinyalini (u) eşzamanlı olarak kendi dijital modeline de uygular. Yalnızca donanım üzerinden ölçülen çıkış gerilimi (y) ile kendi tahmin ettiği gerilim ($C\hat{x}(t)$) arasındaki hatayı kullanarak kendini düzeltir ve ölçülmeyen bobin akımını fiziksel bir sensöre ihtiyaç duymadan başarıyla tahmin eder.

2.4. Karşılaştırmalı Analiz İçin Klasik PI Kontrolcü Tasarımı (Referans Model)

Önerilen durum geri beslemeli LQI mimarisinin dinamik performansını ve bozuculara karşı direncini objektif bir şekilde değerlendirebilmek amacıyla, aynı PSFB dönüştürücü modeli için geleneksel bir Oransal-İntegral (PI) kontrolcü de tasarlanmıştır. LQI kontrolcü ile adil bir kıyaslama (benchmark) yapabilmek için, PI kontrolcünün parametreleri sistemin fiziksel stabilite sınırlarına kadar zorlanmış ve LQI'ın kalkış (step response) karakteristiğine en yakın yanıtı verecek şekilde manuel olarak optimize edilmiştir. Sistemin oransal kazancı ($K_p = 0.018$) çıkış gerilimindeki ilk sıçramayı (aşımı) sönümlemek için düşük tutulurken, integral kazancı ($K_i = 54.46$) hedefe ulaşma hızını artırmak amacıyla yüksek seçilmiştir. Bu fiziksel sınırlara dayandırılmış klasik PI kontrolcü, Bölüm 3'teki dinamik analizler için temel bir referans modeli oluşturmaktadır.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

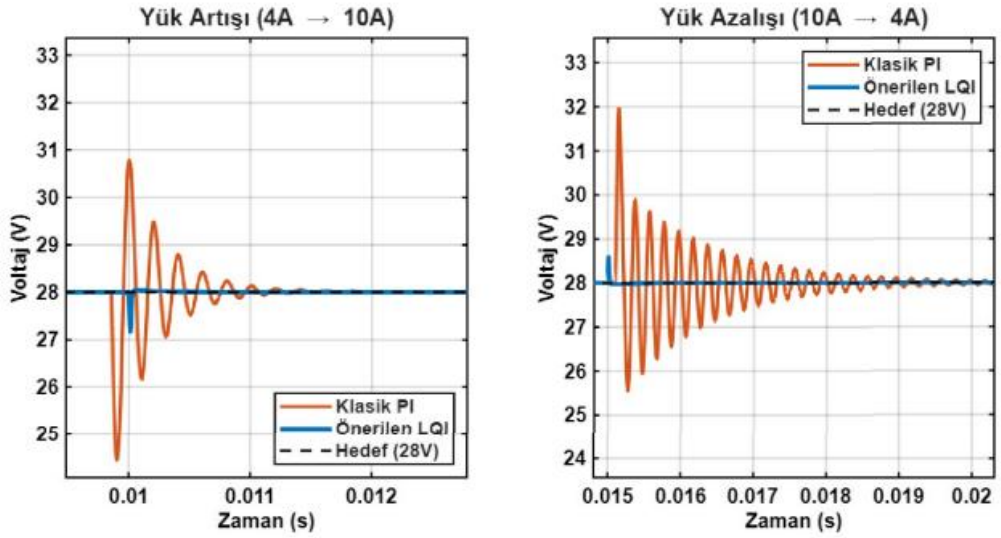
Önerilen durum geri beslemeli LQI kontrol mimarisinin ve referans olarak tasarlanan klasik PI kontrolcünün performansları, dinamik yük profilleri altında MATLAB/Simulink ortamında karşılaştırmalı olarak test edilmiştir. Simülasyon senaryosu 25 milisaniye (ms) ile sınırlandırılarak geçici rejim (transient) dinamiklerinin yüksek çözünürlükte incelenmesi hedeflenmiştir. Senaryo kapsamında; sistem t=0 anında nominal yük (4A) altında başlatılmış, 10. milisaniyede ani yük sıçramasını temsil eden 10A tepe akımına maruz bırakılmış ve 15. milisaniyede bu ek yük devreden çıkarılarak sistem yeniden nominal koşullarına (ani yük atma) döndürülmüştür.



Şekil 1. Önerilen LQI ve fiziksel sınırlarındaki klasik PI kontrol mimarilerinin dinamik yük testlerindeki (25 ms) karşılaştırmalı performansı: Çıkış gerilimi dinamik yanıtları (üst), referansa göre hesaplanan izleme hataları (orta) ve sisteme uygulanan dinamik yük akımı profili (alt).

Elde edilen genel sistem grafikleri (Şekil 1) ve detaylı sayısal performans metrikleri (Tablo 2) incelendiğinde, LQI kontrolcüsünün klasik PI tabanlı sistemlere kıyasla belirgin bir dinamik üstünlük sergilediği görülmektedir. Tablo 2'deki bulgulara göre, ilk kalkış (startup) anında fiziksel sınırlarına kadar optimize edilen klasik PI kontrolcü **3.12 ms**'de yerleşirken **0.07V**'luk bir aşım sergilemiştir. Önerilen durum geri beslemeli LQI kontrolcü ise yerleşme süresini iki katından daha fazla iyileştirerek **1.46 ms**'de referans gerilime ulaşmış ve bu esnada aşımı **0.01V** gibi ihmal edilebilir bir seviyede tutarak daha kararlı bir kalkış profili sunmuştur.

Dinamik bozuculara karşı sistem gürbüzlüğü (robustness) analiz edildiğinde, LQI'ın iç dinamiklere hakimiyetinin getirdiği avantajlar geçici rejim geçişlerinde çok daha belirgin hale gelmektedir. t=10. ms'de akım talebinin aniden %150 oranında artmasıyla (4A → 10A) klasik PI kontrolcü **3.56V**'luk derin bir çökme yaşamış ve yeniden dengelenmesi **2.77 ms** sürmüştür. Önerilen LQI kontrol mimarisi ise bu yük sıçramasını sadece 0.83V çökme ile karşılamış ve 0.02 ms gibi çok kısa bir sürede toparlamıştır.



Şekil 2. Sistem geçici rejim (transient) karakteristiklerinin yakınlaştırılmış (zoom) görünümleri: 4A'den 10A'e ani yük sıçraması anındaki gerilim çökmesi (sol) ve 10A'den 4A'e ani yük atılması anındaki aşırı gerilim sıçraması (sağ).

Şekil 2'de verilen yakınlaştırılmış grafiklerde görüleceği üzere, t=15. ms'deki yük atma (load shedding) durumunda klasik PI kontrolcü **3.97V** gibi aşırı gerilim sıçraması (overvoltage) üretirken, LQI kontrolcü salınımları aktif olarak sönümleyerek sıçramayı **0.58V**'ta sınırlandırmıştır. PI kontrolcünün bozucu anlarında gösterdiği bu yüksek frekanslı salınımlar (ringing), çıkış LC filtresinin rezonans frekansına yaklaşmasından kaynaklanmaktadır. Sadece gerilim geri beslemesi kullanan PI yapısı bu salınımları engellemekte zayıf kalırken; bobin akımını bir durum değişkeni olarak gören LQI yapısı, sisteme aktif sönümleme (active damping) kazandırarak salınımları önemli ölçüde azaltmıştır.

Tablo 2. Önerilen LQI ve Fiziksel Sınırlarındaki Klasik PI Kontrol Mimarisinin Karşılaştırmalı Dinamik Performans, Hata ve RMSE Analizi Sonuçları.

Performans Metriği (Birim)	LQI Kontrolcü	Klasik PI Kontrolcü
Maksimum Aşım - Startup (V)	0.01	0.07
Yerleşme Zamanı - Startup (ms)	1.4665	3.1218
Maks. Çökme (4A → 10A) [V]	0.83	3.56
Maks. Sıçrama (10A → 4A) [V]	0.58	3.97
Toparlanma Süresi (Max) [ms]	0.02	2.77
Mutlak Hata İntegrali (IAE)	**0.009143**	**0.012972**
Zaman Ağırlıklı Mutlak Hata (ITAE)	**0.000005**	**0.000053**
Voltaj İzleme RMSE Hatası [V]	2.1569	1.7360

Nitekim sistemin toplam hata alanını gösteren IAE (Mutlak Hata İntegrali) skoru incelendiğinde LQI kontrolcü **0.0091** değeriyle PI kontrolcünün (**0.0129**) önüne geçmiştir. Daha da önemlisi, zamanla sönümlenmeyen salınımları cezalandıran Zaman Ağırlıklı Mutlak Hata (ITAE) metriğinde LQI kontrolcü (**0.000005**), klasik PI kontrolcüye (**0.000053**) kıyasla tam **on kat** daha gürbüz (robust) bir performans sergileyerek geçici rejim performansındaki iyileşmeyi göstermiştir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, izoleli bir Faz Kaydırmalı Tam Köprü (PSFB) dönüştürücü için Durum Geri Beslemeli Doğrusal Karesel İntegral (LQI) kontrol stratejisi tasarlanmış ve simülasyon ortamında analiz edilmiştir. Geliştirilen kontrolcü ile, dönüştürücünün özellikle dinamik yük değişimleri altındaki gerilim regülasyonunun ve geçici rejim performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Geliştirilen kontrol mimarisinin performansı, dinamik yük geçişleri altında, fiziksel stabilite sınırlarına kadar optimize edilmiş klasik bir PI kontrolcü ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Simülasyon bulguları, durum geri beslemeli LQI kontrolcünün karesel maliyet fonksiyonu ve integral eylemi sayesinde sisteme yüksek bir gürbüzlük (robustness) kazandırdığını göstermektedir.

Performans testlerinde, önerilen LQI sistemi ilk kalkış anında sıfıra yakın (0.01V) bir aşım ile PI kontrolcünün yerleşme süresini önemli ölçüde kısaltarak 1.46 ms'de kararlı hale gelmiştir. Yük sıçramalarında ve yük atma durumlarında ise klasik PI kontrolcünün yaşadığı 3.56V ve 3.97V gibi dalgalanmaları aktif sönümleme ile sırasıyla 0.83V ve 0.58V seviyelerine çekmiş; 0.02 ms gibi kısa bir toparlanma süresi sunmuştur. Geçici rejim sırasındaki salınımları cezalandıran Zaman Ağırlıklı Mutlak Hata (ITAE) skorunun PI kontrolcüye kıyasla on kat azaltılması, önerilen sistemin endüstriyel olarak uygulanabilirlik potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

DEPARTMENT OF DEFENSE INTERFACE STANDARD AIRCRAFT ELECTRIC POWER CHARACTERISTICS AMSC N/A AREA SESS NOT MEASUREMENT SENSITIVE. (2004). www.dodssp.daps.mil.

Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (t.y.). *Fundamentals of Power Electronics Second edition*.

Evran, F. (2025). Robust State Observation in Buck-Boost Converters Using a Luenberger Observer. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, (Advanced Online Publication), 251-261. https://doi.org/10.18586/msufbd.1709992

Ibrahim, O., Yahaya, N. Z., Saad, N., & Ahmed, K. Y. (2017). Development of Observer State Output Feedback for Phase-Shifted Full Bridge DC-DC Converter Control. *IEEE Access*, *5*, 18143-18154. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2745417

Taibi, D., Amieur, T., Bechouat, M., Sedraoui, M., & Kahla, S. (2021). Sensorless Control of DC-DC Converter Using Integral State Feedback Controller and Luenberger Observer. *Lecture Notes in Networks and Systems*, *211 LNNS*, 1477-1488. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73882-2_134

Vaez, H. H., Khosravi, A., & Malekzadeh, M. (2021, Mayıs 27). Robust observer based control scheme for DC-DC boost converter using LMI. *2021 International Conference on Applied and Theoretical Electricity, ICATE 2021 - Proceedings*. https://doi.org/10.1109/ICATE49685.2021.9464994

Y VE Z KUŞAĞI ALIŞVERİŞ MERKEZİ ÇALIŞANLARININ İŞ MOTİVASYONU DÜZEYLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YL Öğrencisi Esra BOZKURT
Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İşletme ABD, Karabük
ORCID ID: 0009-0000-3073-9859
Prof. Dr. Ozan BÜYÜKYILMAZ
Karabük Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, Karabük
ORCID ID: 0000-0001-5499-1485

ÖZET
Bu çalışmanın amacı, Öz-Belirleme teorisi kapsamında alışveriş merkezlerinde görev yapan Y ve Z kuşağı çalışanlarının iş motivasyonu düzeyleri ve alt boyutları arasındaki farklılıkları incelemektir. Bu amaç kapsamında, Türkiye'nin Ankara ilinde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir alışveriş merkezinde perakende, idari, güvenlik, temizlik ve yiyecek-içecek gibi farklı birimlerde görev yapan 257 çalışandan yüz yüze anket yöntemi ve kolayda örnekleme tekniği kullanılarak veriler elde edilmiştir. Araştırmada ölçeğin iç tutarlılığını belirlemek amacıyla Cronbach Alfa güvenilirlik analizinden yararlanılmış, Y ve Z kuşakları arasındaki iş motivasyonu boyutlarının farklılaşmasını inceleyen hipotezleri test etmek amacıyla ise bağımsız örneklem t-testi analizi kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Y kuşağı çalışanlarının kişisel düzenleme, içsel motivasyon ve genel iş motivasyonu düzeylerinin Z kuşağı çalışanlarına kıyasla anlamlı derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, Z kuşağı çalışanlarının maddesel dışsal düzenleme ve motive olmama düzeylerinin Y kuşağı çalışanlarına göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sosyal dışsal düzenleme ve içe yansıtılan düzenleme boyutlarında ise kuşaklar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.
Anahtar Kelimeler: İş Motivasyonu, Kişisel Düzenleme, Maddesel Dışsal Düzenleme, Sosyal Dışsal Düzenleme, Motive Olmama, İçe Yansıtılan Düzenleme, İçsel Motivasyon

A COMPARISON OF WORK MOTIVATION LEVELS AMONG GENERATION Y AND GENERATION Z SHOPPING CENTER EMPLOYEES

ABSTRACT
The purpose of this study is to examine the differences in work motivation levels and their subdimensions among Generation Y and Generation Z employees working in shopping malls within the framework of Self-Determination Theory. To this end, data were collected from 257 employees working in various departments (including retail, administrative, security, cleaning, and food and beverage) at a large-scale shopping mall in Ankara, Turkey, using a face-to-face survey method and convenience sampling. Cronbach's alpha reliability analysis was used to determine the scale's internal consistency, while an independent samples t-test was employed to test hypotheses examining differences in work motivation dimensions between Generation Y and Generation Z employees. The results of the study revealed that Generation Y employees' identified regulation, intrinsic motivation, and general work motivation were significantly higher than those of Generation Z employees. Conversely, it was determined that Generation Z employees' levels of material external regulation and amotivation were significantly higher than those of Generation Y employees. However, no statistically significant differences were found between the generations in the dimensions of social external regulation and introjected regulation.

Keywords: Work Motivation, Identified Regulation, Material External Regulation, Social External Regulation, Amotivation, Introjected Regulation, And Intrinsic Motivation

1. GİRİŞ

Günümüz küresel ve ulusal ekonomisinde perakende ve hizmet sektörü, dinamik yapısı, yüksek rekabet temposu ve sunduğu geniş istihdam olanaklarıyla ekonomik büyümenin odak noktasında yer almaktadır (Ankun, 2022; Meydan, 2025). Esnek ve uzun vardiyalı çalışma düzeni, yoğun müşteri etkileşimi, performans odaklı iş temposu ve belirgin personel devir hızı gibi çetin çalışma koşulları ile karakterize edilen alışveriş merkezleri bu sektörün en önemli çekim merkezlerinden biri durumundadır. Alışveriş merkezi işletmelerinin kurumsal verimliliklerini sürdürebilmeleri ve kaliteli hizmet sunabilmeleri, doğrudan müşteriyle temas halinde olan insan kaynağının sergilediği motivasyonel çabaya dayanmaktadır (FLores & Caballero, 2025).

Ancak, modern iş dünyasında iş gücünün yapısı homojen değildir. İş dünyası içerisinde farklı zaman dilimlerinde doğan ve farklı sosyo-kültürel iklimlerde yetişen kuşaklar bir arada çalışmaktadır (Smola & Sutton, 2002; Twenge, 2010; Twenge vd., 2010). Kuşak kuramına göre, benzer yıllarda doğan ve benzer teknolojik veya ekonomik olaylara maruz kalan bireyler ortak iş değerleri ve davranış kalıpları geliştirmektedir. Günümüz perakende sektöründe iş gücünün ana gövdesini oluşturan iki temel grup Y Kuşağı ve Z Kuşağı olarak öne çıkmaktadır (Bencsik vd., 2016). Y kuşağı çalışanları (1981–1995 doğumlular), kariyerlerinde belirli bir mesleki kıdeme ulaşmış, kişisel gelişime, işte anlam bulmaya ve özerkliğe önem veren bir profil sergilemektedir. İş gücüne yakın dönemde dahil olan Z kuşağı çalışanları (1996 ve sonrası doğumlular) ise esnekliğe, iş güvencesine, anlık takdir edilmeye ve şeffaf yönetsel iletişime büyük değer vermektedir (Gursoy vd., 2008).

İş motivasyonu, bireyin iş yerindeki çabasının yönünü ve kararlılığını belirleyen temel psikolojik güçtür. Motivasyonel süreçleri açıklayan en kapsayıcı yaklaşımlardan biri olan Öz-Belirleme teorisi, motivasyonu tek boyutlu bir olgu yerine bireyin özerklik ihtiyacına göre şekillenen çok boyutlu bir yapıda ele almaktadır (Deci & Ryan, 2000; Gagné & Deci, 2005). Gagné vd. (2015) tarafından kavramsallaştırılan modelde iş motivasyonu, içsel motivasyon ve kişisel düzenleme gibi özerk katmanların yanı sıra içe yansıtılan düzenleme, maddesel dışsal düzenleme, sosyal dışsal düzenleme ve amaçsızlaşmayı simgeleyen motive olmama boyutlarından oluşmaktadır.

Alışveriş merkezlerinde çalışan Y ve Z kuşağı personelinin Öz-Belirleme Kuramı çerçevesindeki çok boyutlu iş motivasyonu düzeylerinin karşılaştırılması, hem teorik hem de uygulamalı açıdan büyük bir önem taşımaktadır. Bu kapsamda, genel geçer insan kaynakları politikaları yerine kuşakların farklılaşan psikolojik ihtiyaçlarına yanıt veren yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, alışveriş merkezi bünyesinde görev yapan Y ve Z kuşağı çalışanlarının iş motivasyonu boyutlarındaki farklılıklarını ampirik ve teorik çerçevede ortaya koymaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI VE HİPOTEZLER

Öz-Belirleme teorisi kapsamında iş motivasyonu, bireyin özerklik gereksinimine göre farklılaşan içsel (kişisel düzenleme, içsel motivasyon) ve dışsal (maddesel, sosyal, içe yansıtılan düzenleme) boyutlarının yanı sıra amaçsızlaşmayı simgeleyen motive olmama halini içeren çok boyutlu bir yapıyı ifade etmektedir (Çivilidağ & Şekercioğlu, 2017; Gagné vd., 2015). İş gücünü oluşturan Y ve Z kuşaklarının sosyo-kültürel yetiştirilme tarzları, işten beklentileri ve kariyer evreleri değişkenlik gösterdiğinden, bu motivasyonel boyutların kuşaklar arasında farklılaşacağı öngörülmektedir (Smola & Sutton, 2002; Twenge vd., 2010)

Kişisel düzenleme, işin bireysel hedef ve değerlerle uyumlu bulunmasını ifade etmektedir.

Kariyer olgunluğuna erişmiş Y kuşağı çalışanlarının, mesleki rollerini kişisel hedefleriyle bütünleştirme konusunda iş hayatına henüz giren Z kuşağına kıyasla daha deneyimli olduğu düşünülmektedir. Z kuşağı ise henüz kariyer arayışında olduğundan bu uyumu kurma aşamasındadır (Inceoglu vd., 2012; Schroth, 2019). Bu doğrultuda araştırmanın ilk hipotezi şu şekildedir:

H1: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında kişisel düzenleme düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

Maddesel dışsal düzenleme, çalışanın iş yerinde çaba sarf etme gerekçesini doğrudan maaş, prim, ekonomik ödüller ve iş güvencesi gibi somut ve finansal araçlara bağlamasını ifade etmektedir (Gagné vd., 2015). Maddesel dışsal düzenleme, Öz-Belirleme teorisi kapsamında dışsal motivasyonun en belirgin katmanlarından biridir. Çalışanın işi kendi içinde eğlenceli veya anlamlı bulmasından ziyade, işin sunduğu ekonomik getiriler ve sağladığı finansal emniyet için performans göstermesi anlamına gelmektedir (Gagné & Deci, 2005). İş hayatının henüz başında yer alan ve kendi ayakları üzerinde durarak finansal bağımsızlığını kazanmayı hedefleyen Z kuşağı, mesleki kararlarında ve iş motivasyonlarında maaş adaletine, prim sistemlerine ve işini kaybetmeme garantisine Y kuşağına kıyasla daha yüksek bir hassasiyet göstermektedir. Buna karşılık, kariyerlerinde belirli bir mesleki kıdeme ve finansal istikrara ulaşmış olan Y kuşağı çalışanları için temel maddesel ihtiyaçlar görece karşılandığından, onların motivasyonel odakları finansal getiri arayışından ziyade işte anlam bulma ve özerklik kazanma gibi özerk motivasyon kanallarına kayabilmektedir (Bencsik vd., 2016; Ertas, 2015; Smola & Sutton, 2002; Twenge, 2010). Bu doğrultuda araştırmanın ikinci hipotezi şu şekildedir:

H2: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında maddesel dışsal düzenleme düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

Sosyal dışsal düzenleme, çalışanın iş yerindeki çabasını ve performansını doğrudan amirlerin, çalışma arkadaşlarının veya ailenin takdirini, onayını ve saygısını kazanma ya da onların eleştirilerinden ve dışlamalarından kaçınma arzusu üzerine kurması durumudur (Gagné vd., 2015). Bu motivasyon türü, çalışanın eylemlerini kendi içsel doğrularından ziyade çevresinden gelecek sosyal dönütlere ve dışsal kabul mekanizmalarına göre şekillendirdiğini göstermektedir (Gagné & Deci, 2005). Sosyal mecralardaki anlık beğeni ve onay ikliminin yarattığı alışkanlıkla iş hayatına adım atan Z kuşağı, yürüttükleri görevlerin yöneticileri ve meslektaşları tarafından anında fark edilmesine, takdir edilmesine ve olumlu şekilde değerlendirilmesine Y kuşağına kıyasla daha yüksek bir duyarlılık göstermektedir. Diğer taraftan, mesleki hayatlarında belirli bir kıdeme, tecrübeye ve özgüvene erişmiş olan Y kuşağı çalışanları, dışsal sosyal onay arayışından ziyade kendi içsel doğrularına, mesleki standartlarına ve iş yerindeki özerklik alanlarına odaklanmaktadır. Bu durum Z kuşağının sosyal dışsal düzenleme düzeyini Y kuşağına göre daha belirgin hale getirmektedir (Bencsik vd., 2016; Inceoglu vd., 2012; Smola & Sutton, 2002). Bu doğrultuda araştırmanın üçüncü hipotezi şu şekildedir:

H3: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında sosyal dışsal düzenleme düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

Motive olmama durumu, bireyin sergilediği çabanın bir sonuca ulaşmayacağına inanması, eylemleri ile elde ettiği çıktılar arasındaki nedensellik bağını yitirmesi ve iş yerinde derin bir amaçsızlık ile psikolojik kopuş yaşaması halidir (Gagné vd., 2015). Öz-Belirleme teorisine göre motive olmama durumu, motivasyonel yapının en olumsuz boyutunu simgelemektedir. Bu durum, çalışanın iş yerindeki eylemlerini anlamsız bulması ve hedefsizlik hissetmesi ile karakterize edilmektedir (Gagné & Deci, 2005). İş hayatında özerkliğe, esnekliğe, şeffaf yönetsel iletişime ve anlık geri bildirime büyük değer veren Z kuşağı çalışanları, monolog yönetilme tarzları, aşırı hiyerarşik engeller veya monoton çalışma temposu ile karşılaştıklarında

Y kuşağına kıyasla çok daha düşük bir sabır eşiği sergilemektedir. Süreç odaklı çalışma mantığına ve kurumsal yapılara daha yüksek uyum ve sabır kapasitesine sahip olan Y kuşağı çalışanları ise zorlayıcı iş şartlarını daha fazla tolere edebilmektedir. Dolayısıyla, Z kuşağı çalışanları iş ortamındaki anlamsızlık ve esneklik eksikliği karşısında işten, işin amacından ve kurumsal aidiyetten çok daha hızlı bir kopuş yaşayarak motive olmama aşamasına kayabilmektedir (Bencsik vd., 2016; Ohene Afriyie vd., 2024; Özdemir & Büyükyılmaz, 2025; Schroth, 2019). Bu doğrultuda araştırmanın dördüncü hipotezi şu şekildedir:

H4: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında motive olmama düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

İçe yansıtılan düzenleme, çalışanın iş yerindeki çabasını ve performansını içselleştirilmemiş dışsal beklentilere, vicdani sorumluluklara ve ego odaklı güdülere bağlaması anlamına gelmektedir (Gagné vd., 2015). Öz-Belirleme teorisi kapsamında içe yansıtılan düzenleme, çalışanın eylemlerini bir görevi eksik yapmanın yaratacağı suçluluk duygusundan, vicdani mahcubiyetten ve öz-saygı kaybından kaçınmak için gerçekleştirmesini ifade etmektedir. Yine bu teoriye göre çalışan başarılı olarak gurur duyma ve ego tatmini sağlama arzusuyla faaliyetlerini yerine getirmektedir (Gagné & Deci, 2005). Y kuşağı çalışanları, iş yerinde yaşanabilecek olası bir aksaklıkta veya başarısızlıkta derin bir mahcubiyet ve öz-eleştiri hissetme eğilimindedir Aynı zamanda, kurumsal sorumlulukları üstlenme ve süreci eksiksiz tamamlama noktasında yüksek bir vicdani hassasiyet sergilemektedir. Buna karşılık, Z kuşağı çalışanları iş ile kişisel benlikleri arasına daha net ve rasyonel sınırlar çizebilmektedir. Çalışma hayatındaki görevleri vicdani bir yükümlülük veya ego meselesi haline getirmemekte, esneklik, finansal güvence ve doğrudan takdir edilme gibi dışsal mekanizmalarla motive olmaktadır. Bu durum, Y kuşağı çalışanlarının içe yansıtılan düzenleme düzeylerini Z kuşağına kıyasla daha belirgin kılmaktadır (Bencsik vd., 2016; Gursoy vd., 2008; Smola & Sutton, 2002; Twenge vd., 2010). Bu doğrultuda araştırmanın beşinci hipotezi şu şekildedir:

H5: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında içe yansıtılan düzenleme düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

İçsel motivasyon, çalışanın herhangi bir dışsal ödül, finansal getiri, zorlama veya sosyal onay beklentisi olmaksızın, bir işi doğrudan eğlenceli, ilginç, uyarıcı ve tatmin edici bulduğu için icra etmesi anlamına gelmektedir (Gagné vd., 2015). Öz-Belirleme teorisinin en özerk ve en üst düzey motivasyon katmanını oluşturmaktadır. İçsel motivasyon, bireyin temel psikolojik ihtiyaçlarından olan özerklik ve yetkinlik hissiyatıyla doğrudan beslenmektedir (Gagné & Deci, 2005). Y kuşağı çalışanları, iş hayatında belirli bir mesleki tecrübeye, unvan istikrarına ve uzmanlığa erişmiş olan görevler üzerinde daha fazla karar alma serbestisine sahiptir. Bu durum, Y kuşağı çalışanlarının icra ettikleri işten doğrudan zevk almalarını, işi kişisel bir gelişim aracı olarak görmelerini ve yüksek bir içsel motivasyon sergilemelerini kolaylaştırmaktadır. Öte yandan, iş hayatının henüz ilk yıllarında yer alan Z kuşağı çalışanları için öncelikli odak noktası temel güvenceleri sağlamak, finansal bağımsızlık elde etmek ve mesleki rolüne uyum sağlamaktır. Diğer bir ifadeyle Z kuşağı çalışanlarının motivasyonel enerjileri henüz dışsal kanallarda yoğunlaşmaktadır. Bu durum Y kuşağı çalışanlarının içsel motivasyon düzeylerini Z kuşağına kıyasla daha belirgin ve yüksek kılmaktadır (Bencsik vd., 2016; Ertas, 2015; Twenge, 2010; Twenge vd., 2010). Bu doğrultuda araştırmanın altıncı hipotezi şu şekildedir:

H6: Alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu kapsamında içsel motivasyon düzenleme düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

Genel iş motivasyonu, bireyin iş yerindeki çaba ve adanmışlığını şekillendiren özerk motivasyon katmanları (içsel motivasyon ve kişisel düzenleme) ile dışsal motivasyon katmanlarının (maddesel, sosyal ve içe yansıtılan düzenleme) bütüncül bir bileşimini simgelemektedir (Gagné vd., 2015). Öz-Belirleme teorisine göre genel motivasyon düzeyi,

yalnızca dışsal ödüllerin veya baskıların değil, çalışanın işte bulduğu anlamın, sahip olduğu özerklik alanının ve amaçsızlaşma riskinden ne kadar uzak kalabildiğinin bir yansımasıdır (Gagné & Deci, 2005). Y kuşağı çalışanları, mesleki kariyerlerinde belirli bir kıdeme, unvan istikrarına ve yetkinlik hissine ulaşmış durumdadır. Bu nedenle, işlerini kişisel hedefleriyle daha kolay bütünleştirmekte ve işte yaşadıkları zorluklar karşısında daha yüksek bir tolerans sergilemektedir. Bu durum, Y kuşağının genel iş motivasyonu ortalamalarını yukarı taşımaktadır. Buna karşılık, iş hayatının başında yer alan Z kuşağı çalışanlarının motivasyonel enerjileri ağırlıklı olarak maddesel güvence ve anlık sosyal onay beklentisi gibi dışsal araçlarda yoğunlaşmaktadır. Katı kurallar veya monoton çalışma düzeniyle karşılaştıklarında Z kuşağının amaçsızlaşma riskine daha hızlı kayabilmesi, onların genel iş motivasyonu düzeyini Y kuşağında göre daha düşük düzeyde tutabilmektedir (Inceoglu vd., 2012; Ohene Afriyie vd., 2024; Özdemir & Büyükyılmaz, 2025; Schroth, 2019; Smola & Sutton, 2002). Bu doğrultuda araştırmanın yedinci ve son hipotezi şu şekildedir:

H7: Alışveriş merkezi çalışanlarının genel iş motivasyon düzeyleri Y ve Z kuşaklarına göre farklılaşmaktadır.

3. YÖNTEM

Yöntem bölümünde araştırmanın ana kitlesi ve örneklemine, veri toplama yöntemine, ölçüm araçlarına ve analiz yöntemine ilişkin bilgilere yer verilmektedir.

3.1. Ana Kitle ve Örneklem

Araştırmanın ana kitlesini, Türkiye'nin Ankara ilinde faaliyet gösteren büyük ölçekli bir alışveriş merkezinde istihdam edilen personel oluşturmaktadır. İlgili alışveriş merkezi yönetiminden ve insan kaynakları birimlerinden temin edilen kurumsal veriler doğrultusunda farklı operasyonel birimlerde görev yapan toplam çalışan sayısının yaklaşık 5000 olduğu tespit edilmiştir.

Evrenin tamamına ulaşmanın yaratacağı zaman ve maliyet kısıtları göz önünde bulundurularak, veri toplama sürecinde kolayda örnekleme tekniği benimsenmiştir. Veri toplama safhasında, çalışanların günlük iş akışlarını aksatmamak ve katılım oranını azami düzeye çıkarabilmek amacıyla yüz yüze (kağıt-kalem) anket uygulaması gerçekleştirilmiştir. Alışveriş merkezi bünyesindeki farklı departmanlara mensup çalışanlara anket formları elden ulaştırılmış ve doldurulan formlar yine elden teslim alınmıştır.

Toplanan veri ön incelemeye tabi tutulmuştur ve eksik veya hatalı doldurulan anketler analiz sürecine dahil edilmemiştir. Gerçekleştirilen veri temizliği işlemlerinin sonucunda, 257 geçerli anketten oluşan nihai örneklem grubuna ulaşılmıştır. Araştırma kapsamında yürütülen tüm analizler bu 257 kişilik veri seti üzerinden gerçekleştirilmiştir.

3.2. Veri Toplama Yöntemi ve Ölçüm Araçları

Araştırmaya katılan alışveriş merkezi personelinin iş motivasyon düzeylerini ve bu motivasyonun altında yatan farklı boyutları ölçümlemek amacıyla Gagné vd. (2015) tarafından kavramsallaştırılan ölçek kullanılmıştır. Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik uyarlaması Çivilidağ ve Şekercioğlu (2017) tarafından gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmadaki Türkçe formu esas alınarak anket yapısına dahil edilmiştir. Toplam 18 maddeden oluşan ölçek, 5'li Likert tipinde derecelendirilmiş olup yanıt seçenekleri "1 = Kesinlikle Katılmıyorum" ile "5 = Kesinlikle Katılıyorum" arasında ölçeklendirilmiştir. Ölçek, Öz-Belirleme teorisinin teorik ilkelerine uygun olarak toplam 6 alt boyuttan oluşmaktadır. Bu boyutlar; kişisel düzenleme, maddesel dışsal düzenleme, sosyal dışsal düzenleme, motive olmama, içe yansıtılan düzenleme ve içsel motivasyon şeklindedir. Her bir alt boyut 3'er madde ile temsil edilmektedir.

3.3. Analiz Yöntemi

Araştırmada, öncelikle güvenilirlik analizi gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aracının güvenilirlik düzeyini belirleyebilmek için her bir alt boyutun ve genel olarak iş motivasyonu ölçeğinin

Cronbach alfa istatistiği hesaplanmıştır. Daha sonra ise araştırma hipotezleri bağımsız örneklem t-testi aracılığıyla araştırılmıştır.

4. BULGULAR

Bulgular bölümünde ilk olarak katılımcıların demografik bilgilerine değinilmekte, daha sonra araştırmada kullanılan ölçüm aracının güvenilirliği incelenmekte ve son olarak ise hipotez testleri sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmektedir.

4.1. Demografik Bilgiler

Araştırmaya katılan alışveriş merkezi çalışanlarının yaş, cinsiyet, medeni durum, eğitim durumu ve çalışma süresi değişkenlerine göre dağılımları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Demografik Dağılım

Değişken	Kategori	Frekans (N)	Yüzde (%)
Yaş (Ortalama= 31)	Z Kuşağı (30 yaş altı)	135	52,5
	Y Kuşağı (31-45 yaş arası)	122	47,5
Cinsiyet	Kadın	143	55,6
	Erkek	114	44,4
Medeni Durum	Evli	85	33,1
	Bekar	166	64,6
	Boş Bırakan	6	2,3
Eğitim Durumu	Lise ve Altı	119	46,3
	Önlisans	69	26,8
	Lisans	56	21,8
	Lisansüstü	5	1,9
	Boş Bırakan	8	3,2
Çalışma Süresi	1 Yıldan Az	56	21,8
	2-5 Yıl Arası	81	31,5
	6-10 Yıl Arası	42	16,3
	10 Yıldan Fazla	75	29,2
	Boş Bırakan	3	1,2
	TOPLAM	**257**	**100**

Örneklem grubunun yaş ortalamasının 31 olduğu tespit edilmiştir. Kuşaklara göre dağılım incelendiğinde; örneklemin %52,5'ini (n=163) 30 yaş altındaki Z kuşağı çalışanları, %47,5'ini ise (n=147) 31-45 yaş aralığında yer alan Y kuşağı çalışanları oluşturmaktadır.

Cinsiyet dağılımı açısından değerlendirildiğinde, katılımcıların %55,6'sının (n=172) kadın, %44,4'ünün (n=138) ise erkek çalışanlardan oluştuğu görülmektedir.

Medeni duruma ilişkin veriler analiz edildiğinde, katılımcıların çoğunluğunun (%64,6, n=200) bekar olduğu, evli çalışanların oranının %33,1 (n=103) düzeyinde kaldığı ve katılımcıların %2,3'ünün (n=7) bu ifadeyi yanıtsız bıraktığı saptanmıştır.

Eğitim durumu değişkeni incelendiğinde; örneklemin %46,3'ünün (n=144) lise ve altı eğitim düzeyine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bunu sırasıyla %26,8 (n=83) ile önlisans, %21,8 (n=68) ile lisans ve %1,9 (n=6) ile lisansüstü mezunları takip etmektedir. Katılımcıların %3,2'si (n=10) ise eğitim durumunu belirtmemiştir.

Son olarak, çalışanların mevcut iş yerlerindeki mesleki kıdemleri (çalışma süreleri) değerlendirildiğinde, %31,5'inin (n=98) 2–5 yıl arası, %29,2'sinin (n=90) 10 yıldan fazla, %21,8'inin (n=68) 1 yıldan az ve %16,3'ünün (n=51) 6–10 yıl arası bir çalışma geçmişine sahip olduğu görülmektedir.

4.2. Güvenilirlik Analizi

Araştırmada hipotez testleri öncesinde kullanılan ölçeklerin güvenilirlikleri incelenmektedir. Bu çerçevede, iş motivasyonu ve boyutlarının ölçümünden kullanılan araçlara ilişkin Cronbach Alfa (α) değerleri hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. İş Motivasyonu Ölçeği Güvenilirlik Değerleri

Ölçek/Boyut	İfade Sayısı	Cronbach Alfa (α) değeri
Kişisel Düzenleme	3	0,823
Maddesel Dışsal Düzenleme	3	0,788
Sosyal Dışsal Düzenleme	3	0,835
Motive Olmama	3	0,779
İçe Yansıtılan Düzenleme	3	0,819
İçsel Motivasyon	3	0,814
GENEL İŞ MOTİVASYONU	18	0,837

Güvenilirlik analizi sonucunda iş motivasyonu ölçeğinin alt boyutları için Cronbach Alfa (α) katsayıları; kişisel düzenleme boyutu için 0,823, maddesel dışsal düzenleme boyutu için 0,788, sosyal dışsal düzenleme boyutu için 0,835, motive olmama boyutu için 0,779, içe yansıtılan düzenleme boyutu için 0,819 ve içsel motivasyon boyutu için 0,814 olarak hesaplanmıştır. Ölçeğin 18 maddeden oluşan toplam yapısına ilişkin Cronbach Alfa katsayısı ise 0,837 olarak tespit edilmiştir.

Elde edilen bu bulgular, ölçeğin gerek tüm alt boyutları gerekse genel iş motivasyonu için hesaplanan iç tutarlılık değerlerinin kabul edilebilir alt sınır olan 0,70'in üzerinde yer aldığını göstermektedir. Dolayısıyla veri toplama aracının yüksek düzeyde güvenilir bir ölçek yapısına sahip olduğu söylenebilir (Nunnally & Bernstein, 1994).

4.3. Hipotez Testleri

Hipotez testleri kapsamında, alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu derecelerinin Y ve Z kuşağına göre farklılaşıp farklılaşmadığı araştırılmaktadır. Bu amaçla bağımsız örneklem T-testi analizinden yararlanılmıştır. Analiz bulguları Tablo 3'te sunulmaktadır.

Tablo 3 incelendiğinde, alışveriş merkezi çalışanlarının iş motivasyonu alt boyutları ve genel iş motivasyon düzeylerinin kuşak değişkenine (Z ve Y Kuşağı) göre farklılık gösterip göstermediğini belirlemek amacıyla yapılan bağımsız örneklem t-testi analiz sonuçları yer almaktadır. Analiz sonuçlarına göre, çalışanların kişisel düzenleme (t=-3,057; p=0,002<0,01), maddesel dışsal düzenleme (t=2,102; p=0,037<0,05), motive olmama (t=2,434; p=0,016<0,05), içsel motivasyon (t=-2,962; p=0,003<0,01) ve genel iş motivasyonu (t=-2,253; p=0,025<0,05) algılarında kuşaklar açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Farklılık Analizleri Bulguları

Değişken	Kategori	Ortalama	Std. Sapma	t-değeri	Sig. (p)
Kişisel Düzenleme	Z Kuşağı	3,092	0,995	-3,057	**0,002****
	Y Kuşağı	3,480	1,038		
Maddesel Dışsal Düzenleme	Z Kuşağı	3,380	1,075	2,102	**0,037***
	Y Kuşağı	3,125	0,864		
Sosyal Dışsal Düzenleme	Z Kuşağı	2,977	1,083	1,046	0,296
	Y Kuşağı	2,835	1,087		
Motive Olmama	Z Kuşağı	2,690	1,196	2,434	**0,016***
	Y Kuşağı	2,353	1,017		
İçe Yansıtılan Düzenleme	Z Kuşağı	3,243	1,089	-0,821	0,412
	Y Kuşağı	3,351	1,014		
İçsel Motivasyon	Z Kuşağı	2,786	1,065	-2,962	**0,003****
	Y Kuşağı	3,170	1,008		

GENEL İŞ MOTİVASYONU	Z Kuşağı	2,944	0,605	-2,253	**0,025***
	Y Kuşağı	3,119	0,642		

* p<0,05; ** p<0,01; N: Z Kuşağı=135, Y Kuşağı=122

Ortalamalar incelendiğinde; Y Kuşağı çalışanlarının kişisel düzenleme ($\bar{x}$=3,480), içsel motivasyon ($\bar{x}$=3,170) ve genel iş motivasyonu ($\bar{x}$=3,119) düzeylerinin Z Kuşağı çalışanlarına göre ($\bar{x}$_kişisel=3,092, $\bar{x}$_içsel=2,786, $\bar{x}$_genel=2,944) anlamlı derecede daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Buna karşılık, Z Kuşağı çalışanlarının maddesel dışsal düzenleme ($\bar{x}$=3,380) ve motive olmama ($\bar{x}$=2,690) düzeylerinin Y Kuşağı çalışanlarına kıyasla ($\bar{x}$_maddesel=3,125, $\bar{x}$_motive_olmama=2,353) anlamlı derecede daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan, sosyal dışsal düzenleme (t=1,046; p=0,296>0,05) ve içe yansıtılan düzenleme (t=-0,821; p=0,412>0,05) boyutlarında Z ve Y kuşakları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır. Bu bulgulara göre; H1, H2, H4, H6 ve H7 hipotezleri kabul edilmiş, H3 ve H5 hipotezleri ise reddedilmiştir.

5. SONUÇ

Öz-Belirleme teorisi çerçevesinde yürütülen bu araştırmada, alışveriş merkezi bünyesinde görev yapan Y ve Z kuşağı çalışanlarının iş motivasyonu düzeyleri ve alt boyutları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda elde edilen ampirik bulgular bütüncül olarak değerlendirildiğinde, kuşaklar arasında iş motivasyonu boyutları açısından belirgin ayrışmaların olduğu görülmektedir. Araştırma sonuçlarına göre, Y kuşağı çalışanlarının kişisel düzenleme, içsel motivasyon ve genel iş motivasyonu düzeyleri, Z kuşağı çalışanlarına kıyasla istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek bulunmuştur. Buna karşılık, Z kuşağı çalışanlarının maddesel dışsal düzenleme ile motive olmama düzeylerinin Y kuşağı çalışanlarına göre anlamlı derecede daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, sosyal dışsal düzenleme ve içe yansıtılan düzenleme boyutlarında ise Y ve Z kuşakları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık saptanmamıştır.

Elde edilen bu ampirik sonuçlar, literatürdeki pek çok araştırma ile önemli ölçüde paralellik göstermektedir. Y kuşağının içsel motivasyon ve kişisel düzenleme seviyelerinin daha yüksek çıkması, mesleki kıdem ile yaş arttıkça çalışanların özerk motivasyon kanallarının güçlendiği yönündeki ampirik bulguları desteklemektedir (Gagné vd., 2015; Inceoglu vd., 2012). Benzer şekilde, Z kuşağında maddesel dışsal motivasyonun öne çıkması ve amaçsızlaşma riskinin daha yüksek bulunması, Z kuşağının iş hayatındaki birincil beklentilerinin finansal güvence, esneklik ve şeffaf iletişim olduğu yönündeki bulgular ile örtüşmektedir (Schroth, 2019).

Araştırma bulguları, AVM üst yönetimleri ve perakende sektöründeki insan kaynakları uygulayıcıları için doğrudan yönetimsel katkılar sağlamakta ve sektörde sıklıkla uygulanan tek tip motivasyon ve ödüllendirme politikalarının işlevsizleştiğini açıkça göstermektedir. Araştırma bulguları, Y kuşağı çalışanlarını kurumda tutabilmek için özerklik, kariyer yolları ve kişisel gelişim imkanlarının öne çıkarılması gerektiğini göstermektedir. Buna karşılık Z kuşağı çalışanları için esnek vardiya modelleri, adil ve şeffaf prim sistemleri ile anlık geri bildirim mekanizmalarının kurulması gerektiği yönetsel bir zorunluluk olarak ortaya konmaktadır.

Araştırma sonuçlarının değerlendirilmesinde bazı sınırlılıkların dikkate alınması gerekmektedir. Verilerin yalnızca Ankara ilindeki tek bir alışveriş merkezi bünyesinde görev yapan çalışanlarla sınırlı olması, kesitsel bir tasarım taşıması ve olasılıklı olmayan kolayda örnekleme yöntemiyle toplanmış olması araştırmanın temel kısıtlarını oluşturmaktadır. Gelecekte bu alanda çalışma yapacak araştırmacılar, araştırma modelini farklı illerdeki alışveriş merkezleri veya perakende dışı sektörleri kapsayacak şekilde genişletebilir. Ayrıca, Z kuşağının mesleki kıdemi arttıkça motivasyonel yapısındaki değişimi izlemek adına boylamsal tasarımlar yürütülmesi ve nicel verilerin yanı sıra nitel araştırma yöntemlerinden yararlanarak derinlemesine araştırmalar gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Ankun, T. (2022). *Pandemi Sürecinde Perakende Sektörü Çalışanlarının Motivasyonunun İş Kazalarına Etkileri ve Sonuçları* (Yüksek Lisans Tezi), Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bencsik, A., Horváth-Csikós, G., & Juhász, T. (2016). Y and Z Generations at Workplaces. *Journal of Competitiveness*, *8*(3), 90-106. https://doi.org/10.7441/joc.2016.03.06

Çivilidağ, A., & Şekercioğlu, G. (2017). Çok Boyutlu İş Motivasyonu Ölçeğinin Türk Kültürüne Uyarlanması. *Akdeniz İnsani Bilimler Dergisi*, *7*(1), 143-156. https://doi.org/10.13114/MJH.2017.326

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The "What" and "Why" of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry*, *11*(4), 227-268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Ertas, N. (2015). Turnover Intentions and Work Motivations of Millennial Employees in Federal Service. *Public Personnel Management*, *44*(3), 401-423. https://doi.org/10.1177/0091026015588193

FLores, E. L., & Caballero, D. J. A. (2025). Human Resource Motivation Practices on Employee Service Quality in the Retail Industry. *International Journal of All Research Writings*, *6*(11), 711-717.

Gagné, M., & Deci, E. L. (2005). Self-Determination Theory and Work Motivation. *Journal of Organizational Behavior*, *26*(4), 331-362. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/job.322

Gagné, M., Forest, J., Vansteenkiste, M., Crevier-Braud, L., van den Broeck, A., Aspeli, A. K.,…Westbye, C. (2015). The Multidimensional Work Motivation Scale: Validation evidence in seven languages and nine countries. *European Journal of Work and Organizational Psychology*, *24*(2), 178-196. https://doi.org/10.1080/1359432X.2013.877892

Gursoy, D., Maier, T. A., & Chi, C. G. (2008). Generational Differences: An Examination of Work Values and Generational Gaps in the Hospitality Workforce. *International Journal of Hospitality Management*, *27*(3), 448-458. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2007.11.002

Inceoglu, I., Segers, J., & Bartram, D. (2012). Age-Related Differences in Work Motivation. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, *85*(2), 300-329. https://doi.org/10.1111/j.2044-8325.2011.02035.x

Meydan, B. (2025). Mağaza Atmosferi Algısında Çalışanların Demografik Farklılıklar Üzerine Bir Alışveriş Merkezi Uygulaması [A Shopping Center Application on the Demographic Differences of Employees in the Perception of Store Atmosphere]. *Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(17), 1-21.

Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric Theory* (3. Baskı). New York: McGraw-Hill Inc.

Ohene Afriyie, E., Owusu-Acheampong, E., Opare Darko, L., & Oduro-Nyarko, C. (2024). Job Design and Employee Involvement on SMEs Performance: The Mediating Role of Employee Motivation. *Journal of Small Business Strategy*, *34*(1), 45-79. https://doi.org/10.53703/001c.94165

Özdemir, G., & Büyükyılmaz, O. (2025). Organizational Trust and Its Impact on Employees' Voluntary Contributions: A Study on Organizational Citizenship Behavior. *Ekonomi, İşletme ve Yönetim Dergisi*, *9*(1), 86-130.

Schroth, H. (2019). Are You Ready for Gen Z in the Workplace? *California Management Review*, *61*(3), 5-18. https://doi.org/10.1177/0008125619841006

Smola, K. W., & Sutton, C. D. (2002). Generational Differences: Revisiting Generational Work Values for the New Millennium. *Journal of Organizational Behavior*, *23*(SpecIssue), 363-382. https://doi.org/10.1002/job.147

Twenge, J. M. (2010). A Review of the Empirical Evidence on Generational Differences in Work Attitudes. *Journal of Business and Psychology*, *25*(2), 201-210. https://doi.org/10.1007/s10869-010-9165-6

Twenge, J. M., Campbell, S. M., Hoffman, B. J., & Lance, C. E. (2010). Generational Differences in Work Values: Leisure and Extrinsic Values Increasing, Social and Intrinsic Values Decreasing. *Journal of Management*, *36*(5), 1117-1142. https://doi.org/10.1177/0149206309352246

BATIL İNANÇLAR: KÜLTÜREL KODLAR VE TOPLUMSAL İŞLEVLER ÜZERİNE EVRENSEL BİR İNCELEME

Dr. Burcu Meliha KESER
Sokhumi Devlet Üniversitesi, İnsani Bilimler Fakültesi, Tiflis, Gürcistan
ORCID ID: 0000-0002-7791-9862

ÖZET
Batıl inançlar, tarih boyunca farklı toplumlarda görülen, bireylerin belirsizlik, korku, risk ve kontrol edilemeyen durumlarla başa çıkma biçimlerini yansıtan kültürel pratiklerdir. Bu inanışlar çoğu zaman mantıksal veya bilimsel temelden yoksun olarak değerlendirilse de, toplumsal yaşamda psikolojik güvenlik sağlama, sosyal normları pekiştirme ve kültürel mirası aktarma gibi önemli işlevler üstlenmektedir. Bu çalışmanın amacı, batıl inançları yalnızca yerel ve irrasyonel inanışlar olarak değil, farklı kültürlerde benzer işlevler üstlenen evrensel bir olgu olarak incelemektir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye ve Gürcistan toplumlarında görülen batıl inançlar karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Çalışmada nitel araştırma yöntemi kullanılmış; veriler literatür taraması, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve çevrimiçi kaynakların incelenmesi yoluyla elde edilmiştir. Araştırma kapsamında Türkiye'den 12, Gürcistan'dan 12 olmak üzere toplam 24 katılımcı ile görüşülmüş ve elde edilen veriler tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, iki toplumda nazardan korunma, kötü şansı uzaklaştırma, çocukları koruma, bereketi sürdürme ve belirsizlikleri anlamlandırma gibi ortak temaların öne çıktığını göstermektedir. Buna karşılık, giden kişinin arkasından su dökme, türbe ziyareti, mayıs ayında evlenmenin uğursuz sayılması ve gece çöp atmanın maddi kayıpla ilişkilendirilmesi gibi inanışların kültürel, tarihsel ve dini bağlama göre farklı anlamlar kazandığı belirlenmiştir. Katılımcı ifadeleri, bu inanışların çoğunlukla aile büyükleri aracılığıyla öğrenildiğini ve günlük yaşam pratikleri içinde sürdürüldüğünü göstermektedir. Sonuç olarak çalışma, batıl inançların yerel biçimlerde ortaya çıksa da belirsizlikle başa çıkma, kontrol duygusu geliştirme, toplumsal uyumu güçlendirme ve kültürel kimliği sürdürme bakımından evrensel işlevlere sahip çok katmanlı kültürel yapılar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle araştırma, iki toplum örneğinden hareket ederek batıl inançların insan deneyimindeki ortak anlam üretme kapasitesini ve işlevini karşılaştırmalı biçimde açıkça vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Batıl inançlar, evrensel işlev, kültürel kod, toplumsal işlev, Türkiye ve Gürcistan

SUPERSTITIONS: A UNIVERSAL STUDY ON CULTURAL CODES AND SOCIAL FUNCTIONS

ABSTRACT
Superstitions are cultural practices observed in different societies throughout history and reflect the ways individuals cope with uncertainty, fear, risk, and situations beyond their control. Although these beliefs are often regarded as lacking logical or scientific foundations, they perform important functions in social life, such as providing psychological security, reinforcing social norms, and transmitting cultural heritage. This study aims to examine superstitions not merely as local and irrational beliefs, but as a universal phenomenon that performs similar functions across different cultures. In this regard, superstitions observed in Turkish and Georgian societies are analyzed comparatively. The study employs a qualitative research method; the data were obtained through literature review, semi-structured interviews, and the examination of online sources. Within the scope of the research, interviews were conducted with 24 participants, including 12 from Türkiye and 12 from Georgia, and the data were

evaluated through thematic analysis. The findings reveal that common themes such as protection from the evil eye, avoidance of bad luck, protection of children, preservation of prosperity, and interpretation of uncertainty are prominent in both societies. On the other hand, certain beliefs, such as pouring water after a departing person, visiting tombs for wishes or healing, considering marriage in May unlucky, and associating taking out the trash at night with financial loss, acquire different meanings depending on cultural, historical, and religious contexts. Participants' statements indicate that these beliefs are mostly learned through older family members and sustained in everyday life practices. As a result, the study shows that although superstitions appear in local forms, they are multilayered cultural structures with universal functions in coping with uncertainty, developing a sense of control, strengthening social cohesion, and maintaining cultural identity.
Keywords: Superstitions, universal functions, cultural codes, social functions, Türkiye and Georgia

1. GİRİŞ

Batıl inançlar, insanların belirsizlik, risk ve doğal olaylarla başa çıkma çabalarının bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Mantık dışı veya doğaüstü unsurlara dayanan bu inanışlar, tarih boyunca farklı toplumların kültürel ve toplumsal yapılarında önemli roller üstlenmiştir. İnsanlar, günlük yaşamlarında karşılaştıkları belirsizlikleri anlamlandırmak, kontrol duygusu yaratmak ve sosyal normları sürdürmek için bu inanışları kullanmıştır.

"Batıl" kelimesi, Arapçadan Türkçeye geçmiş ve "butlan" kelimesinden türetilmiştir. "Boş, geçersiz, saçma" anlamlarını taşımakta ve kültürel olarak geçmişten günümüze uzanan bir kavram olarak kullanılmaktadır (Etimoloji Türkçe t.y.). Mevcut literatürde batıl inançlar çoğunlukla psikolojik bir ihtiyaç veya bilgi eksikliğinin bir sonucu olarak ele alınsa da, antropolojik ve sosyolojik perspektifler, bu inanışların toplumsal düzeni yeniden üretmede ve kültürel anlam üretiminde oynadığı rolü vurgular.

Bu bağlamda batıl inançlar, yalnızca bireysel inanışlar değil, aynı zamanda kolektif anlam dünyasını şekillendiren kültürel kodlar olarak değerlendirilebilir. Kültürel anlamda, antik topluluklardan günümüze kadar, insanlar doğal olaylar, geleceğe olan merak ve yaşamın karmaşıklığı karşısında çaresizlik duygusunu aşmak için çeşitli arayışlara girmiştir. Bu arayışlar, bilimsellikten veya rasyonel düşünceden yoksun olduğu için bazen yanlış sonuçlara yol açmış ve merak ile ihtiyaçtan kaynaklanan batıl inançların ortaya çıkmasına neden olmuştur (Alkan 2012). Eski topluluklarda, güneşin doğuşu ve batışı, mevsim değişiklikleri, yağmur ve deprem gibi doğal afetler sıklıkla tanrılara veya doğaüstü güçlere bağlanmıştır.

Alfred Lehmann'a göre batıl inançlar, belirli bir dinle uyumsuz, temelsiz ya da toplumun mevcut bilgi seviyesiyle çelişen yaygın bir sanılardır (Lehmann 1908). Wuttke, batıl inancı "nesnelere doğaüstü, insanlara ise insanüstü özellikler yükleme" olarak tanımlar (Örnek 1966). Bu tanımlar, hurafelerin insanların okült güçlere veya mistik özelliklere sahip objelere ve varlıklara olan inançlarını vurgular.

Dalyan'a göre; "İnsanlar, psikolojik olarak bu tür inanışların negatif etkisine maruz kaldıkları için bunların doğruluğunu sorgulamadan içten bir şekilde inanmışlardır. Bu inançlar zamanla insanların yaşantısına yön verdiği gibi duygularını da olumlu veya olumsuz olarak beslemiştir" (Dalyan 2011). Ph. Schmidt ise batıl inancı, alışılmış olan inanmanın amacını ve hedefini aşan, belli bir nedene tutunamayan yanlış bir inanma olarak tanımlar (Schmidt 1956). Schmidt'in tanımı, batıl inançların genellikle doğaüstü unsurlara veya geleneksel normlara dayandığını ve bu inançların bilimsel gerçeklere aykırı olduğunu vurgular.

Batıl inançlar genellikle bireylerin düşünce sistemlerinde yer alır ve bu inançlar sonucunda belirli davranışlar ortaya çıkabilir. İnsanlar, anlam veremedikleri veya kontrol edemedikleri

durumları açıklamak için sıklıkla mitolojik veya doğaüstü unsurlara başvurmuşlardır. Batıl inançlar, akıl ve mantıkla bağdaşmayan ancak insanoğluna oldukça cazip gelebilen rivayetler ve uygulamalar olarak tanımlanmaktadır (Günay 2002). Özellikle doğu ve batı kültürlerinde, tarih boyunca bu inançların varlığı gözlemlenmiştir. Batıl inançlar, bireylerin düşünce sistemlerinde yer almakla kalmaz; toplumsal ve kültürel düzeyde de işlev görür.
Bu çalışma, batıl inançların evrensel kültürel kod ve toplumsal işlevlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Türkiye ve Gürcistan toplumlarından elde edilen veriler vaka çalışması niteliğinde sunulmakta, böylece batıl inançların belirli kültürlere özgü olmadığı, insan deneyimiyle bağlantılı evrensel bir fenomen olduğu vurgulanmaktadır.

2. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Kültürel kod olarak batıl inançlar

Kültürel kodlar, bir toplumun paylaştığı semboller, anlamlar ve yorumlama biçimleri aracılığıyla sosyal gerçekliği yapılandıran temel ve çoğu zaman görünmez sistemlerdir (Simons & Hyatt 1999). Bu kodlar, bireylerin olaylara yüklediği anlamları şekillendirirken aynı zamanda toplumsal etkileşim süreçlerini de yönlendirir. Renato Rosaldo'ya göre kültürel farklılıklar, gündelik yaşam pratikleri içinde deneyimlenir ve bireylerin kimlik oluşumunda belirleyici bir rol oynar (Rosaldo 1993). Edgar Schein ise kültürel kodların çoğu zaman görünmez, ancak güçlü biçimde yönlendirici yapılar olduğunu vurgular (Schein 1992).
Bu kuramsal çerçeve doğrultusunda batıl inançlar, yalnızca bireysel düşünce kalıpları olarak değil, aynı zamanda kültürel anlam üretiminde aktif rol oynayan sembolik sistemler olarak değerlendirilebilir. Belirsizlikle başa çıkma, kontrol duygusu oluşturma ve toplumsal uyumu pekiştirme gibi işlevlerinin yanı sıra, bu inanışlar toplumsal normların aktarılmasında ve kültürel sürekliliğin sağlanmasında önemli bir rol üstlenir.
Batıl inançlar, ritüeller, semboller ve gündelik pratikler aracılığıyla kuşaktan kuşağa aktarılır. Bu süreçte kolektif hafızayı canlı tutar, toplumsal düzenin korunmasına katkı sağlar ve bireylerin aidiyet duygusunu güçlendirir. Farklı toplumlarda farklı biçimlerde ortaya çıksa da benzer işlevler üstlenmeleri, bu inanışların yalnızca yerel değil, aynı zamanda evrensel düzeyde anlam taşıyan kültürel kodlar olduğunu göstermektedir.
Sonuç olarak batıl inançlar, modern toplumlarda dahi etkisini sürdüren, kimlik inşası ve kültürel devamlılık açısından önemli birer kültürel mekanizma olarak varlığını korumaktadır.

2.2. Batıl inançların ortaya çıkış nedenleri

Batıl inançlar, tarih boyunca farklı toplumlarda yaygın olarak görülen ve insanlığın ortak deneyimleriyle şekillenen inanış sistemlerinden biridir. Bu inanışlar, yalnızca belirli bir kültüre özgü olmayıp, farklı dönemlerde ve coğrafyalarda benzer biçimlerde ortaya çıkmış ve toplumsal yaşamın bir parçası hâline gelmiştir. Bu yönüyle batıl inançlar, insanların dünya ile etkileşimini anlamlandırma çabalarının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Bu doğrultuda, literatürde batıl inançların tarihsel süreç boyunca toplumların ortak bir meselesi olarak ele alındığı görülmektedir (Çakan 1981).
İnsanlar, tarih boyunca doğa olaylarını ve yaşamın belirsizliklerini anlamlandırmak için çeşitli açıklama biçimleri geliştirmiştir. Özellikle erken dönem toplumlarında, doğa olaylarının bilimsel olarak açıklanamaması, bu olayların doğaüstü güçlerle ilişkilendirilmesine yol açmıştır. Güneşin doğuşu ve batışı, mevsim değişiklikleri, şimşek ve gök gürültüsü gibi olaylar, çoğu zaman tanrılar ya da doğaüstü varlıkların etkisiyle açıklanmıştır. Bu durum, insanların hem doğayı kontrol etme hem de anlamlandırma çabasının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır.
Batıl inançların ortaya çıkışında psikolojik faktörler de önemli bir rol oynamaktadır. İnsanlar, kontrol edemedikleri ya da anlamlandıramadıkları durumlar karşısında bir açıklama arayışına

girerler. Bu noktada batıl inançlar, bireylere bir tür güvenlik hissi ve kontrol duygusu sağlar. Örnek'e göre, insanların eşyanın özünü ve doğa yasalarını tam olarak kavrayamaması, geleceği bilme isteği, korku, cin ve benzeri doğaüstü varlıklara olan inanç gibi unsurlar batıl inançların ortaya çıkmasında etkili olmuştur (Örnek 1966; Örnek 1971).

Bunun yanı sıra, batıl inançlar bireylerin deneyim ve gözlemlerine dayalı olarak da şekillenebilmektedir. İnsanlar, belirli bir davranışın olumlu ya da olumsuz bir sonuç doğurduğunu düşündüklerinde, bu durumu genelleştirerek kalıcı bir inanç hâline getirebilirler. Bu süreç, deneme-yanılma temelli bir öğrenme biçimi olarak değerlendirilebilir. Örneğin, bir kişi belirli bir ritüeli gerçekleştirdikten sonra olumlu bir sonuç elde ettiğinde, bu ritüelin etkili olduğuna inanarak aynı davranışı tekrar etme eğilimi gösterebilir. Bu durum, batıl inançların bireysel düzeyde nasıl güçlendiğini ve süreklilik kazandığını açıklamaktadır.

Toplumsal ve kültürel faktörler de batıl inançların oluşumunda belirleyici rol oynamaktadır. Kültürler, geçmişten gelen bilgi ve deneyimleri nesilden nesile aktararak belirli inanç sistemlerinin devamlılığını sağlar. Bu bağlamda batıl inançlar, toplumsal hafızanın bir parçası olarak varlığını sürdürür ve kültürel kimliğin oluşumunda önemli bir rol oynar. İnsanlar, ait oldukları toplumun değerlerini ve inanışlarını benimseyerek bu kültürel kodları yeniden üretirler.

Turgut Akpınar'a göre, insanların soyut ve ulaşılması güç bir Tanrı anlayışı yerine daha somut ve kendilerine yakın kutsal varlıklara yönelmesi, batıl inançların yaygınlaşmasında etkili olmuştur (Akpınar 1999). Bu durum, bireylerin manevi ihtiyaçlarını daha somut yollarla karşılama isteğiyle ilişkilidir. Bu nedenle halk, evliyalar, yatırlar veya kutsal kabul edilen mekânlar aracılığıyla doğaüstü güçlerle ilişki kurmaya çalışmakta; çaput bağlama, adak adama, mum yakma ve kurban kesme gibi ritüellerle bu inançlarını ifade etmektedir.

Batıl inançların ortaya çıkışında bir diğer önemli etken de belirsizlik ve çaresizlik duygusudur. İnsanlar, kontrol edemedikleri durumlar karşısında kendilerini daha güvende hissetmek için bu tür inanışlara yönelmektedir. Bu durum, özellikle hastalık, ölüm, doğal afetler ve gelecek kaygısı gibi insan yaşamını doğrudan etkileyen olaylarda daha belirgin hâle gelmektedir. Bu bağlamda batıl inançlar, bireylerin psikolojik olarak rahatlamasını sağlayan ve stresle başa çıkmalarına yardımcı olan bir mekanizma olarak işlev görmektedir.

Sonuç olarak, batıl inançlar; psikolojik, kültürel, toplumsal ve tarihsel dinamiklerin bir araya gelmesiyle oluşan çok katmanlı bir yapıya sahiptir. Bu inanışlar, bireylerin deneyimleri, toplumların kültürel birikimi ve insanlığın ortak korku ve beklentileri doğrultusunda şekillenmektedir. Farklı kültürlerde değişen biçimlerde ortaya çıkmasına rağmen, batıl inançların temelinde yatan nedenler büyük ölçüde benzerlik göstermekte ve bu durum onların evrensel bir olgu olarak değerlendirilmesine imkân tanımaktadır.

3. BATIL İNANÇLARIN KÜLTÜREL GÖRÜNÜMLERİ

3.1. Türkiye bağlamında batıl inançlar

Türk toplumundaki batıl inançlar, tarih boyunca çok kültürlü etkileşimlerin sonucu olarak tarihsel süreçte şekillenmiş ve sözlü kültür aracılığıyla kuşaktan kuşağa aktarılarak günümüze kadar gelmiştir. Bu inançların kökeninde genellikle doğa olaylarına duyulan hayranlık ve korku, bilinmeyenle başa çıkma isteği ve günlük yaşamı kolaylaştırma çabası yer almaktadır.

İnsan ve İnsan bedeniyle ilgili inançlar arasında birinin kulağının çınlaması, o kişi hakkında konuşulduğuna işaret eder; sağ kulağın çınlaması genelde iyiye, sol kulağın çınlaması ise kötüye yorulur. Benzer şekilde, sağ gözün seğirmesi sevindirici bir olayın habercisi, sol gözün seğirmesi ise maddi kazanç anlamında yorumlanır. Halk arasında, mavi gözlü kişilerin nazarının daha etkili olduğuna ve nazardan korunmak için nazar boncuğu takılması gerektiğine inanılır. Ayrıca, bir çocuğun üstünden atlanması, çocuğun boyunun uzamayacağı inanışı

yaygındır. Anne karnında ilk hareket eden bebeğin, annenin o anda baktığı kişiye benzeyeceğine inanılır. Bebek doğduktan sonra düşen göbek bağının önemli bir yere gömülmesinin, o çocuğun gelecekteki hayatını etkilediği düşünülür. Hamile bir kadının ayva yemesi, bebeğin gamzeli olacağı inancını doğurur. Ayrıca, genç kadınların yere ya da soğuk betona oturmasının ileride çocuk sahibi olamayacaklarına neden olacağı gibi inanışlar, toplumun doğurganlık konusundaki hassasiyetini yansıtır.

Durum ve Nesnelerle ilgili inançlar da oldukça çeşitlidir. Örneğin, giden birinin arkasından su dökmek, onun çabuk geri döneceğine işaret eder. Evde terliklerin veya ayakkabıların ters dönmesi uğursuzluk olarak kabul edilir ve evin reisinin vefatına yorulur. Benzer şekilde, iki terliğin üst üste gelmesi eve misafir geleceğine işaret eder. Boş beşik sallanmaz, çünkü bu durumun bebeğin sağlığını olumsuz etkileyeceği düşünülür. Kırık bir aynanın uğursuzluk getireceğine inanılır. Gökkuşağının altından geçmenin dilekleri gerçekleştirdiğine ve kişinin cinsiyetinin değişeceğine inanılırken, yemek yerken çatal ya da kaşık düşmesi, eve misafir geleceğinin habercisi olarak kabul edilir. Kapı eşiğine oturmak fakirlik ve bekârlık getireceği için hoş karşılanmaz. Merdivenin altından geçmek uğursuzluğa işaret eder.

Hayvanlarla ve bitkilerle ilgili inançlarda ise dört yapraklı yoncanın şans getirdiğine, bir eve kuş girerse mutlu bir haber geleceğine inanılır. Ancak baykuş ötmesi kötü bir olayın habercisi olarak kabul edilir. Kara kedinin önünüzden geçmesi uğursuzluk getirir; bu durumda kişinin saçını çekerek korunacağına inanılır. Ağaçlar ve su kaynaklarına gösterilen saygı, Türk toplumunun doğa unsurlarına verdiği önemi yansıtır.

Ruhani inançlarda ise bazı insanların, özellikle dudak kenarlarında çıkan uçuk, Türk inanışına göre kötü bir ruhun etkisi olarak görülür ve bu hastalığın özel bir ritüelle şifa bulunup giderileceğine inanılır (İnan 1971). Doğa ve Gece ile ilgili inançlar arasında geceleri tırnak kesmenin, sakız çiğnemenin ya da ıslık çalmanın uğursuzluk getireceği inancı yer alır. Ay tutulması sırasında havaya silahla ateş ederek ya da gürültü yaparak Ay'ın ejderhadan kurtarılacağı düşüncesi eski bir inanışın izlerini taşır (T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı t.y.). Şimşek ve gök gürültüsü, Tanrının öfkesinin bir göstergesi olarak kabul edilir.

Kehanet ve fallarla ilgili inançlar da Türk toplumunda köklü bir geçmişe sahiptir. Fal bakma geleneği, eski Türklerde Oğuz Kağan Destanı'na kadar uzanan bir uygulamadır (Alkan 2012). Günümüzde de kahve falı, el falı, tarot gibi yöntemlerle geleceği öğrenme isteği yaygındır. Falların insanlar üzerinde önemli kararlarını etkileyebileceği, hatta ilişkiler üzerinde belirleyici bir rol oynayabileceği düşünülür. Ayrıca, dileklerin kabul olması için türbelerde adak sunma, çaput bağlama ve mum yakma (Çakan 1981) gibi gelenekler de halk arasında sıklıkla görülmektedir. İlk kez kalınan bir evde yastığın altına anahtar konması, kişinin rüyasında müstakbel eşini göreceğine inanılır. İki aynı isimli kişinin arasına girip dilek dilemek ise dileğin gerçekleşeceğine inanılan bir başka uygulamadır.

Nazarla ve muskayla ilgili inançlar da Türk kültürünün vazgeçilmez bir parçasıdır. Nazarın kökeni çok eskiye, kadim zamanlara kadar dayanmaktadır. Halk arasında, nazar değmesinin güzel bir şeyi övmek yerine "maşallah" dememekten kaynaklandığına inanılır (Çıblak 2004). Nazar boncukları, kurşun dökme ritüelleri, muska (Çıblak 2004) taşımak ve tahtaya vurmak nazardan korunma yöntemleri arasında yer alır. Müslüman inancında Felak ve Nas dualarının okunmasının, kötü enerjilerden koruyacağına inanılır. Ayrıca, çocukların güzel oldukları direkt söylenmez; bu durum "Allah nazardan saklasın" gibi ifadelerle dile getirilir. Tarih boyunca Mısırlılar, Yunanlılar ve Türkler gibi farklı toplumlar nazar ve muskalarla ilgili çeşitli pratikler geliştirmiştir (Altun 2015). Örneğin, evlerin kapılarına asılan at nalı ya da üzerlerinde taşınan muskalar, kötü ruhlardan korunmak amacıyla kullanılmaktadır. Halk arasında nazar inancıyla bağlantılı olarak kurşun dökme geleneği de oldukça yaygındır (Çakan 1981). Bu ritüelin, kötü enerjilerin ve zararlı etkilerin bertaraf edilmesi amacıyla yapıldığına inanılır.

Türk toplumunda batıl inançlar, bireylerin hayatını düzenleyen, korkularını yatıştıran ve bilinmeyene karşı bir kontrol mekanizması sağlayan kültürel bir miras olarak varlığını sürdürmektedir. Bu inanışların birçoğu bilimsel bir temele dayanmasa da, toplumsal hafızanın bir parçası olarak günlük yaşamda etkisini göstermeye devam etmektedir.

3.2. Gürcistan bağlamında batıl inançlar

Milliyetine bakılmaksızın tüm insanlar arasında, nerdeyse herkesin dikkatle uymaya çalıştığı farklı kurallar silsilesi vardır. Bu kuralların bazıları inançlara dayanmaktadır ve çoğu zaman yanlış olabilmektedir. İnsanlar, her dönemde eski yüzyıllardan miras kalan inançlarını, kaynaklarını veya ortaya çıkış nedenlerini bilmeden önemsemişlerdir. Kökenleri eski kültürlere ve yok olmuş yaşam tarzlarına dayanan bazı inançlar, küçük değişimlerle günümüzde varlıklarını sürdürmektedir (Lorie 1997).

Gürcü toplumunun inanç yapısı, tarih boyunca hem yerel gelenekler hem de çeşitli dış kültürel etkilerle evirilmiş, batıl inançlar bu sürecin doğal bir sonucu olarak kuşaktan kuşağa aktarılarak günümüze kadar ulaşmıştır. Gürcü halkının inanç dünyasında doğa olaylarına duyulan saygı, dini ritüeller ve günlük yaşamla ilgili semboller önemli bir yer tutar. Yüzyıllar boyunca Gürcistan'ın coğrafi konumu, farklı kültürlerden gelen tüccarların, gezginlerin ve vaizlerin kendi bilgilerini, dinlerini ve geleneklerini bu topraklara taşımasına olanak sağlamıştır. Bu etkileşimler sonucunda Gürcistan'da Pagan inançları ile Hristiyanlık iç içe geçmiş, eski ritüeller Hristiyanlık çatısı altında yeniden anlam kazanmıştır. Örneğin, kötü ruhlar veya hastalık yayan varlıklar olarak görülen "Bat'onebiler" inancı, hastalıkların doğaüstü varlıklardan kaynaklandığına dair bir inanışı yansıtır (Berman vd. 2011).

Gürcü kültüründe insanlar, doğa olaylarını ya da günlük yaşamdaki basit sembolleri çoğu zaman şans, kötü talih veya uyarı işaretleri olarak yorumlamışlardır. Örneğin biber, soğan veya sarımsak gibi acı ya da keskin tatlı yiyecekleri birine verirken, o kişiye dertlerin de aktarıldığına inanılır (თოდუა 2014). Ölmüş birinden söz edilirken biri hapşırırsa "kutsal haç seni korusun" demek, kötü olayları engellemek amacıyla sürdürülen yaygın bir alışkanlıktır. Bunun yanında, gece çöp atmanın kötü ruhları çektiğine ve maddi kayıplara yol açtığına inanılır. Kırılan bir aynanın yedi yıl boyunca kötü şans getireceğine inanılır. Bu şanssızlıktan kurtulmak için ayna parçalarının ay ışığında gömülmesi gerektiği düşünülür.

Gürcü toplumunda yeni yıla dair batıl inançlar da oldukça yaygındır. Yeni yıla dolu ceplerle girmenin yıl boyunca maddi bolluk getireceğine inanılırken, boş ceplerle girmenin maddi sıkıntılara yol açacağı düşünülür. Ayrıca yeni yıla yeni bir süpürgeyle girmenin, geçmişin olumsuzluklarını geride bırakmayı temsil ettiği kabul edilir. Yeni yıl ritüelleri arasında dileklerin bir kâğıda yazılarak yakılması ve külünün şampanyaya karıştırılıp içilmesi de bulunur. Bu uygulamanın dileklerin gerçekleşmesini sağlayacağına inanılır (ჯიელოძე 2021).

İnsan bedeniyle ilgili inançlar arasında, sağ gözün seğirmesinin iyi haberlerin habercisi olduğu, sol gözün seğirmesinin ise olumsuzluklara işaret ettiği düşüncesi yer alır. Kulakların yanması, birinin kişi hakkında konuştuğuna yorulur. Masanın köşesinde oturmanın yedi yıl boyunca evlenememeye neden olacağına inanılırken, bir çocuğun üzerinden atlamanın onun boyunun uzamasını engelleyeceği düşünülür. Bu olumsuz etkinin yalnızca geri adım atılarak bozulabileceğine inanılır. Yaygın bir inanışa göre, mayıs ayında evlenen çiftlerin yaşamlarının geri kalanını mutsuz geçireceği düşünülmektedir. Gürcistan'da hıçkırık, birinin kişi hakkında konuştuğu anlamına gelirken, hapşırmanın söylenen bir şeyin doğruluğunu kanıtladığına inanılır (Ambebi 2015).

Durum ve nesnelerle ilgili inanışlar arasında, kapı eşiğine oturmanın kötü ruhların geçişine davetiye çıkaracağına ve negatif enerji çağıracağına dair düşünce yer alır. Bir çatalın düşmesi eve bir kız misafirin geleceğine, bir kaşığın düşmesi ise bir erkek misafirin geleceğine işaret

eder. Merdiven altından geçmenin uğursuzluk getireceğine, tuz dökmenin ise kavgalara yol açacağına inanılır. At nalı, evlerin kapılarına asılarak kötü ruhlardan korunma aracı olarak görülür (დოლიძე 2020). Yaygın batıl inançlardan biri de sevilen bir kişinin öldüğü evde aynaların kapatılması gerektiğidir. Bu inanç, açık aynaların ölen kişinin ruhu için bir tuzak hâline gelerek ruhun huzur bulmasını engelleyebileceği düşüncesine dayanmaktadır. Aynı zamanda açık aynaların yaşayanlara talihsizlik getirebileceği de öne sürülmektedir. Bu nedenle, bir kişi öldüğünde yapılacak ilk işin aynaları ve diğer yansıtıcı yüzeyleri örtmek olduğu düşünülür (Primetime 2024).

Hayvanlar ve bitkilerle ilgili inançlarda dört yapraklı yonca şansın sembolü olarak kabul edilir. Gürcistan'da bekâr kızlar, gelecekteki eşlerini hızla bulmak için ayakkabılarının tabanına yonca koyarlar (მეფარიშვილი 2021). Evde yılan görülürse, yılanın öldürülmemesi gerektiği, çünkü evin koruyucu ruhu olduğuna inanılır. Kurbağaların öldürülmesinin yağmur getireceği düşünülürken, üzerine kuş pislemesinin veya inek pisliğine basmanın maddi kazanç anlamına geleceği düşüncesi yaygındır. Kara kedinin önünüzden geçmesi uğursuzluk getirmektedir.

Ruhani inançlar da Gürcü kültüründe önemli bir yer tutar. Gün batımından sonra çöp atmanın kötü ruhları çektiğine inanılır (Geonewest 2025). Evde ıslık çalmanın koruyucu melekleri uzaklaştırdığı ve kötü ruhları çağırdığına inanılır. Gürcistan'da mum yakma ritüelleri, kötü enerjiyi ve nazarı uzaklaştırmanın yanı sıra dileklerin gerçekleşmesini sağlamak amacıyla yapılır. Tahtaya ya da ağaca vurmak, başarısızlığı, kötü şansı ve negatif enerjiyi uzaklaştırmak için yapılır. Hristiyan inanışlarına göre iyi ruhlar veya orman ruhları ağaçlarda yaşamaktadır (On.ge 2020).

Doğa olayları ve geceyle ilgili inanışlar, Gürcistan'daki geleneksel halk inançlarında önemli bir yer tutar. Doğa olaylarıyla ilgili inanışlarda, şimşek ve gök gürültüsünün tanrıların veya doğaüstü varlıkların öfkesini yansıttığına inanılır. Özellikle bazı bölgelerde, şimşek çaktığında ya da gök gürültüsü koptuğunda bunun kötü ruhları veya kötü niyetli varlıkları kovmak için bir uyarı veya işaret olarak kabul edildiği düşünülür. Bu tür inançlar, özellikle köylerde ve kırsal kesimlerde yaşayan halklar arasında yaygındır. Gün batımından sonra ise günün karanlık zamanlarının mistik ve gizemli kabul edilmesi nedeniyle geceyle ilgili birçok inanç ortaya çıkmıştır. Gürcüler, gün batımından sonra karanlık güçlerin harekete geçtiğine inanmış ve bu nedenle evde sefalet ve yoksulluktan kaçınmak için belirli faaliyetlerden uzak durmuşlardır. Örneğin, gece çöp atmak yasak kabul edilir ve maddi kaybın habercisi olarak görülür. Gürcülere göre kirli güçler geceleri etkindir ve bu nedenle eşyaların evden dışarı çıkarılması iyi bir fikir değildir. Ayrıca gece masada bıçak bırakmanın uğursuzluk getireceğine, bunun kötü ruhlara insanlara zarar vermek için bir fırsat sunduğuna inanılır (Primetime 2023). Gece tırnak kesmek de benzer şekilde uğursuzluk olarak görülür. Gece mezarlıktan geçmekten kaçınılması gerektiği, çünkü kötü ruhların kaderi çalabileceğine inanılır. Bununla birlikte gece dikiş dikmek yasaktır, çünkü bu kaderi değiştirme anlamına gelebilir (Forum.ge 2016). Gece sakız çiğnemek de ölüleri rahatsız ettiğine inanıldığı için yapılmaz (On.ge 2020). Kapı eşiğinde durmak ya da oradan geçmek kötü şansın işareti olarak kabul edilir. Bu inanışın kökeni, eski zamanlarda ölü yakıldıktan sonra atalarının küllerinin kapı eşiğine gömülmesi ve bu alanın rahatsız edilmemesi gerektiği inancına dayanır (Teasblogi 2013). Tüm bu inanışlar, Gürcü halkının geceye ve doğaya karşı geliştirdiği mistik algının önemli bir yansımasıdır.

Kehanet ve fal uygulamaları da Gürcü toplumunda eski dönemlerden bu yana varlığını sürdüren bir inanıştır (Coronachur t.y.). Hristiyanlık öncesi dönemde başlayan bu uygulamalar, resmi olarak yasaklanmış (Orthodoxy.ge t.y.) olsa da folklorik bir miras olarak devam etmiştir. Kehanet ve fallar, geleceği tahmin etmek veya bir durum hakkında bilgi almak için kullanılan yöntemlerdir ve halk arasında popülerliğini korumaktadır.

Nazar ve muskayla ilgili inançlar Gürcistan'da da oldukça yaygındır. Nazarın kötü enerjinin bakışlarla bir kişiye aktarılması anlamına geldiğine inanılır. İnsanlar, özellikle çocukları nazardan korumak için göz figürlü boncuklar veya muska takarlar. Gürcü halkı, nazar dualarını okuyarak ve bu tür koruyucu nesneler kullanarak sevdiklerini kötülüklerden uzak tutmaya çalışır (Berman vd. 2011). Ayrıca, nazarın kıskançlıkla ilişkili olduğu ve kötü niyetli bakışların talihsizlik getirebileceği düşünülür.

Gürcü toplumunda batıl inançlar, bireylerin yaşamlarını düzenleyen, korkularını yatıştıran ve bilinmeyene karşı bir kontrol mekanizması sağlayan önemli bir kültürel miras niteliği taşımaktadır. Bu inançlar, toplumsal hafızada semboller ve ritüeller aracılığıyla yer edinmiş; günlük hayatta kişilerin davranışları üzerinde etkisini sürdürmektedir.

4. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

4.1. Yöntem

Bu çalışma, batıl inançların kültürel kod ve toplumsal işlevlerini incelemek amacıyla nitel araştırma yöntemlerinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmada, farklı kültürel bağlamlarda ortaya çıkan batıl inançların benzerlik ve farklılıklarını ortaya koymak için karşılaştırmalı analiz yaklaşımı benimsenmiştir. Bu doğrultuda Türkiye ve Gürcistan örnekleri, batıl inançların kültürel ve toplumsal işlevlerini incelemek üzere vaka çalışması olarak ele alınmıştır. Araştırma sürecinde veriler; literatür taraması, yarı yapılandırılmış görüşmeler ve çevrimiçi kaynakların incelenmesi yoluyla elde edilmiştir. Elde edilen veriler tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiş ve kültürel bağlamlar arasında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, batıl inançların yalnızca yerel değil, aynı zamanda evrensel düzeyde işlevlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

4.2. Veri Toplama Süreci

4.2.1. Literatür Taraması

Araştırmanın kuramsal çerçevesini oluşturmak amacıyla batıl inançların tarihsel, kültürel ve toplumsal boyutlarına ilişkin akademik çalışmalar incelenmiştir. Literatür taraması kapsamında, farklı kültürlerde batıl inançların ortaya çıkışı, işlevleri ve sembolik anlamları üzerine yapılmış çalışmalar değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda Google Scholar, Academia.edu ve ResearchGate gibi akademik veri tabanları üzerinden erişilen makalelerden yararlanılmıştır. Ayrıca batıl inançların etnolojik, sosyolojik ve dini boyutlarını ele alan temel eserler incelenerek araştırmanın teorik altyapısı oluşturulmuştur. Literatür taraması, batıl inançların yalnızca bireysel bir fenomen değil, aynı zamanda toplumsal ve kültürel bir yapı olduğunu ortaya koyan yaklaşımların belirlenmesine katkı sağlamış ve çalışmanın evrensel çerçevede konumlandırılmasına temel oluşturmuştur.

4.2.2. Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler

- Katılımcı Profili

Araştırmanın saha çalışması kapsamında, farklı kültürel deneyimleri yansıtmak amacıyla toplam 24 katılımcı ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Katılımcıların 12'si Türkiye'den, 12'si Gürcistan'dan seçilmiştir.

Katılımcıların yaşları 30 ile 70 arasında değişmekte olup, hem kadın hem de erkek bireylerden oluşmaktadır. Eğitim düzeyleri genel olarak yükseköğretim seviyesindedir. Katılımcıların hem kırsal hem de kentsel bölgelerde yaşıyor olması, batıl inançların farklı sosyal bağlamlardaki görünümlerinin incelenmesine olanak sağlamıştır.

Bu çeşitlilik, batıl inançların yalnızca belirli bir sosyal gruba özgü olmadığını, farklı yaşam deneyimlerine sahip bireyler arasında da yaygın olarak görüldüğünü ortaya koymak açısından önemlidir.

- Görüşme yöntemi

Bu çalışmada nitel araştırma desenlerinden betimsel analiz yaklaşımı benimsenmiş ve veri toplama yöntemi olarak yarı yapılandırılmış görüşme tekniği kullanılmıştır. Katılımcılarla yüz yüze, çevrimiçi ve telefon aracılığıyla görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Tüm katılımcılar anonimlik ilkesi gereği kodlanmıştır (T1–T12, G1–G12). Görüşmelerde katılımcılara, günlük yaşamlarında uyguladıkları batıl inançlar, bu inanışların kaynakları ve toplumsal etkileri üzerine sorular yöneltilmiştir. Bu kapsamda katılımcılara şu tür sorular sorulmuştur:

Günlük yaşamınızda uyguladığınız batıl inançlar nelerdir?

Bu inançları kimden öğrendiniz?

Batıl inançların bireyler ve toplum üzerindeki etkileri hakkında ne düşünüyorsunuz?

Elde edilen veriler yazılı olarak kayıt altına alınmış ve tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu yöntem, katılımcıların deneyimlerini anlamlandırmayı ve batıl inançların toplumsal işlevlerini ortaya koymayı mümkün kılmıştır.

4.2.3. İnternet Kaynakları ve Forumlar

Batıl inançların modern toplumlarda nasıl sürdürüldüğünü ve güncel yansımalarını incelemek amacıyla çevrimiçi kaynaklar da araştırma kapsamına dâhil edilmiştir. Bu doğrultuda, özellikle Gürcü toplumuna ait batıl inançlara ilişkin içeriklere ulaşmak amacıyla çeşitli haber siteleri ve dijital platformlar incelenmiştir. Ayrıca bireylerin günlük deneyimlerini ve kişisel yorumlarını yansıtan forumlar ve bloglar değerlendirilmiştir. Bu dijital kaynaklar, batıl inançların yalnızca geleneksel bağlamda değil, aynı zamanda modern iletişim ortamlarında da varlığını sürdürdüğünü göstermesi açısından önemli veriler sunmuştur. İnternet kaynakları, bireylerin batıl inançlara yönelik algılarını, uygulama biçimlerini ve bu inanışların günümüzdeki dönüşümünü anlamaya katkı sağlamıştır. Böylece araştırma, batıl inançların hem geleneksel hem de modern bağlamdaki sürekliliğini ortaya koymayı hedeflemiştir.

4.3. Bulgular

Bu çalışma, batıl inançların kültürel bir kod olarak nasıl işlev gördüğünü karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelemiştir. Türkiye ve Gürcistan örnekleri üzerinden elde edilen veriler, batıl inançların farklı kültürel bağlamlarda ortaya çıkmasına rağmen benzer işlevler üstlendiğini göstermektedir. Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, katılımcı görüşleri ve literatür verileri doğrultusunda analiz edilmiş ve karşılaştırmalı olarak tablolar hâlinde sunulmuştur. Bu doğrultuda, iki toplumda görülen batıl inançlar ortak (benzer) ve farklı inanışlar şeklinde sınıflandırılmıştır. Katılımcıların büyük çoğunluğu, batıl inançların aile büyükleri aracılığıyla kuşaktan kuşağa aktarıldığını belirtmiştir. Bu durum, batıl inançların bireysel değil, toplumsal ve kültürel bir süreklilik taşıdığını göstermektedir.

Tablo 1. Kültürlerarası Ortak Batıl İnançlar

Batıl inançlar	Türk Toplumu	Gürcü Toplumu
Tahtaya vurmak	Kötü şans/negatif enerji uzaklaşır	Kötü şans/başarısızlık uzaklaşır
Çocuğun üzerinden atlamak	Çocuğun boyu uzamaz	Çocuğun boyu uzamaz
Göz seğirmesi	Sağ: sevinç, Sol: kariyer	Sağ: İyi haber, Sol: sorun
Çatal veya kaşığın düşmesi	Misafir gelir	Misafir gelir
Nazar boncuğu takmak	Nazardan korur	Nazardan korur
Merdiven altından geçmek	Uğursuzluk	Uğursuzluk
Mum yakmak	Kötü enerjilerden korur	Kötü enerji/kutsallık
Gece tırnak kesmek	Uğursuzluk	Uğursuzluk
Kara kedi görmek	Uğursuzluk	Uğursuzluk
Dört yapraklı yonca	Şans	Şans

Türk ve Gürcü toplumlarında ortak olarak görülen batıl inançlar Tablo 1'de sunulmuştur. Bu tabloda yer alan veriler, farklı kültürlerde benzer semboller ve ritüellerin bulunduğunu göstermektedir. Tablo 1 incelendiğinde, tahtaya vurmak, nazar boncuğu kullanmak, merdiven altından geçmekten kaçınmak, kara kediyi uğursuzlukla ilişkilendirmek ve dört yapraklı yoncayı şans sembolü olarak görmek gibi inanışların her iki toplumda da benzer anlamlar taşıdığı görülmektedir.

Bu tür inanışlar, bireylerin olumsuz durumları önleme ve kontrol altına alma çabalarının bir yansımasıdır. Örneğin, tahtaya vurma davranışı kötü şansı uzaklaştırma amacı taşırken; nazar boncuğu kullanımı bireyleri olumsuz enerjilerden koruma ihtiyacını göstermektedir. Benzer şekilde, çocuğun üzerinden atlanmasının çocuğun gelişimini olumsuz etkileyeceğine dair inanışın her iki toplumda da bulunması, çocukların korunmasına yönelik kültürel hassasiyetin bir göstergesidir. Katılımcı ifadeleri de bu bulguları desteklemektedir. Örneğin, bazı katılımcılar çocukluk dönemlerinde ailelerinin bu tür davranışları kesin bir şekilde yasakladığını belirtmiştir. Bu durum, batıl inançların bireyler üzerinde normatif bir kontrol mekanizması oluşturduğunu göstermektedir.

Tablo 1'de yer alan bulgular, batıl inançların farklı kültürlerde benzer sembollerle ifade edilse de temel işlevlerinin evrensel olduğunu ortaya koymaktadır.

Tablo 2. *Kültürel Bağlama Özgü Batıl İnançlar*

Batıl inançlar	Türk Toplumu	Gürcü Toplumu	Sonuç
Gidenin arkasından su dökmek	Çabuk döner	Yok	Türk toplumuna özgü
Türbe ziyareti	Dilek/şifa	Yok	Türk toplumuna özgü
Mayıs ayında evlenmek	Yok	Mutsuzluk	Gürcü toplumuna özgü
Masanın köşesine oturmak	Yok	7 yıl evlenemez	Gürcü toplumuna özgü
Kulak çınlaması	Sağ kulak: İyi, Sol: Kötü.	Yok	Türk toplumuna özgü
Geceleri çöp atmak	Yok	Maddi kayıp	Gürcü toplumuna özgü
Gece masada bıçak bırakmak	Yok	Hastalık	Gürcü toplumuna özgü
İki terliğin üst üste gelmesi	Misafir gelir	Yok	Türk toplumuna özgü
Yeni yılda dolu ceplerle girme	Yok	Maddi bolluk getirir	Gürcü toplumuna özgü
İki aynı isim arasına girmek	Dilek kabul olur	Yok	Türk toplumuna özgü

Türk ve Gürcü toplumlarında farklılık gösteren batıl inançlar ise Tablo 2'de sunulmuştur. Bu tabloda yer alan veriler, batıl inançların kültürel bağlama göre değişiklik gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2 incelendiğinde; Birinin arkasından su dökme, türbe ziyareti, yeni yıl ritüelleri, gece çöp atmama, masanın köşesine oturma gibi inanışların toplumlara özgü olduğu veya farklı anlamlar taşıdığı görülmektedir.

Bu farklılıklar, batıl inançların yalnızca evrensel değil, aynı zamanda kültürel ve tarihsel bağlamlara bağlı olarak şekillendiğini göstermektedir.
Örneğin, türbe ziyareti bireylerin manevi destek arayışını yansıtırken; gece çöp atmama inanışı, belirli toplumlarda geceye yüklenen mistik anlamlarla ilişkilidir.
Bu durum, batıl inançların aynı zamanda kültürel kimlik ve inanç sistemlerinin bir parçası olduğunu ortaya koymaktadır.
Aşağıda, her iki toplumda öne çıkan bazı batıl inançlar detaylı bir şekilde tartışılmıştır.

Katılımcı Verileri ve Tematik Analiz

1. Çocuğun Üzerinden Atlamak:

Her iki toplumda da çocuğun üzerinden atlamak, çocuğun boyunun uzamayacağına dair bir inanca işaret eder. Türklerde T-1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12; Gürcülerde G-2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 katılımcılar bu inanca sahiptir. Katılımcı (T-2) şöyle demiştir: *"Ben çocukken abim üzerimden atlardı, annem de ona çok kızardı. Arkasından bağırarak, "Senin yüzünden bu çocuğun boyu kısa kalacak," derdi (Erkek, 39).* Bu inancın hem Türk hem de Gürcü toplumlarında çocukların sağlığı ve gelişimi ile ilgili derin endişeleri yansıtır. Bu tür bir inanışın varlığı, çocukların fiziksel ve ruhsal gelişiminin korunmasına yönelik kültürel önemin altını çizer. Toplumsal bir tabu olarak, ebeveynlerin ve yetişkinlerin çocukları koruma içgüdüsünü pekiştirir.

2. Göz Seğirmesi:

Türk toplumunda sağ göz seğirmesi sevince, sol göz kariyere işaret ederken; Gürcü toplumunda sağ göz iyi haber, sol göz sorunlara işaret eder. Bu inanç Türklerde T-1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 12; Gürcülerde G-1, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 katılımcılar tarafından benimsenmiştir. Türk ve Gürcü toplumlarında farklı yorumlanan göz seğirmesi, iyi veya kötü olayların habercisi olarak görülmesiyle, bireylerin geleceğe yönelik beklentilerini ve endişelerini ifade etme şeklini gösterir. Bu batıl inanç, toplumda yaygın bir şekilde kabul gören ve bireylerin kaderine dair yorumlar yapmalarına olanak tanıyan bir unsurdur.
Okul yıllarımda sol gözüm seğirdiğinde gerçekten hep bir aksilik çıkardı. Özellikle sınav zamanlarında başıma gelirdi. Genelde annem bunu uğursuzluk olarak yorumlardı (G-5, Kadın, 34).

3. Nazar Boncuğu Takmak:

Nazar boncuğu takmak her iki toplumda da nazardan koruma inancına dayanır. Türk katılımcılar T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12 ve Gürcü katılımcılar G-1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 bu ritüeli uygular. Nazardan korunma amacı güden nazar boncuğu, Türk ve Gürcü toplumlarında benzer şekillerde kullanılarak kötü enerjileri uzaklaştırma ve koruma ihtiyacını gösterir. Bu, her iki kültürde de bireylerin ve ailelerin olumsuz etkilerden korunma çabasının bir göstergesidir.
Nazardan korunmak için hala bileğime nazar boncuklu bileklik takarım (T-7, Kadın, 43).

4. Tahtaya Vurmak:

Tahtaya vurmak, kötü şansı ve negatif enerjiyi uzaklaştırmak için her iki kültürde de yapılır. Türk katılımcılar T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 ve Gürcü katılımcılar G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 bu inanca sahiptir. Kötü şansı defetme pratiği olarak, her iki toplumda da güçlü bir şekilde benimsenen bu eylem, olumsuz düşünceleri veya beklenmedik kötü sonuçları önleme arzusunu gösterir. Bu, belirsizliği kontrol altına alma çabası olarak yorumlanmaktadır.
Evden çıkmadan önce üç kere tahtaya vururum. Bu alışkanlık bana anneannemden kaldı (G-3, Erkek, 51).

5. Türbe Ziyareti:

Türk toplumunda türbe ziyaretleri dilek dilemek ve şifa bulmak için yapılan ritüellerdir. Bu uygulamaya Türk katılımcılar T-1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12 inanırken, Gürcü toplumunda bu

inanç yer almaz. Bu durumun sebebi kültürel, dini ve tarihi sebeplerle alakalı olabilir. Türk toplumunda, maneviyatın günlük hayata derinlemesine işlediğinin ve dini inançların bireylerin yaşamları üzerindeki etkisinin bir göstergesidir. Türbeler, kültürel ve dini bağlamda önemli mekânlar olarak halk arasında şifa ve dilekler için ziyaret edilmektedir.

6. Geceleri Çöp Atmak

Gürcü toplumunda geceleri çöp atmak, maddi kayıp habercisi olarak görülür (G-2, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Katılımcılar, bu eylemin maddi durumlarını olumsuz etkileyeceğine inanmakta ve gece vakti gerçekleşen olayların genel olarak olumsuzluklarla ilişkilendirildiğini ifade etmektedir. Türk toplumunda ise bu inanç mevcut değildir. Bu farklılık, Gürcü kültüründe geceye yüklenen mistik ve ekonomik anlamların bir yansıması olarak değerlendirilebilir.

Annem hâlâ gece çöp atmaz, "para gider, bereket kaçar," der (G-10, Kadın, 61).

Aşağıda, tablolarda yer almayan 8 batıl inanç alt başlıklar altında kodlarla detaylandırılmıştır. Bu inançlar, her iki toplumda ortak veya farklı şekillerde mevcut olabilir.

1. Kızların Betona Oturması

Her iki toplumda da, kızların betona oturmasının ileride çocuk sahibi olamayacaklarına inanılır (T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12; G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Bu inanç, kadınların doğurganlıkla ilişkilendirildiği yaygın bir kültürel algıyı yansıtır.

Kızlar betona oturmasın derdi babaannem, çocukları olmazmış sonra (T-1, Kadın, 57).

2. Geceleri Sakız Çiğnemek

Türk toplumunda geceleri sakız çiğnemek, ölü eti çiğnendiği inancıyla ilişkilendirilir (T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Gürcü toplumunda ise ölüleri rahatsız ettiği düşünülür (G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Ölümle ilgili tabular her iki toplumda bu inancı destekler.

Gece ders çalışırken genelde sakız çiğnerdim. Annem bir gece geldi ve "Geceleri sakız çiğnenmez, ölü eti çiğniyorsun," dedi. Çok ciddiydi, sakızı attım hemen (T-5, Kadın, 41).

3. Kuş Pislemesi

Türk ve Gürcü toplumlarında kuş pislemesi şans getirdiğine inanılır (T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12; G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Her iki toplumda bu olayın olumlu bir işaret olarak algılandığı tespit edilmiştir.

Bir sabah işe giderken montumun omzuna kuş pisledi. Moral bozacakken annem hemen "Hayırdır, bu sana uğur getirir, moralini bozma," dedi. O gün işte güzel bir haber aldım, o yüzden buna inanmaya başladım (G-7, Erkek, 35).

4. Şimşek ve Gök Gürültüsü

Türk toplumunda şimşek ve gök gürültüsü tanrıların öfkesi olarak yorumlanır (T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10). Gürcü toplumunda ise doğaüstü varlıkların öfkesiyle ilişkilendirilir (G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Bu doğa olayları her iki toplumda mistik bir güce işaret eder.

Çocukken Gürcistan'da yaz aylarında gök gürleyince büyükannem "Tanrılar öfkeli," derdi. Lambayı kapatır sessizce dua ederdik. Hâlâ o sesleri duyunca içimde bir ürperti hissederim (G-1, Kadın, 54).

5. Kırık Ayna

Türk toplumunda kırık ayna uğursuzluk getirir (T-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Gürcü toplumunda ise yedi yıllık sefalet ve başarısızlıkla ilişkilendirilir (G-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12). Her iki toplumda aynalar kaderle bağlantılıdır.

Yıllar önce yeni bir eve taşındık. Taşınırken aynayı düşürüp kırdım. Kayınvalidem "Uğursuzluk getirir," dedi. Gerçekten birkaç hafta boyunca işlerim ters gitti. İster istemez etkileniyor insan (T-10, Kadın, 38).

6. Parmakları Çaprazlamak

Gürcü toplumunda parmakları çaprazlamak yalan söylendiği anlamına gelir (G1, G4, G5, G9, G10, G11, G12). Türk toplumunda bu inanç bulunmamaktadır. Gürcü kültüründe bu hareket, dürüstlükle ilişkilendirilmiştir.

Çocukken yalan söylediğimizde arkamızdan parmaklarımızı çapraz yapardık. Bu hareketle yalanın gerçek sayılmadığına inanırdık (çocukluk işte). Annem bir gün bunu fark ettiğinde, "Bununla kendini kandırıyorsun," diyerek bana kızmıştı (G-5, Erkek, 33).

7. Gökkuşağının Altından Geçmek

Türk toplumunda gökkuşağının altından geçmek cinsiyetin değişeceği ve dileklerin gerçekleşeceği inancını taşır (T-1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 12). Gürcü toplumunda bu inanç mevcut değildir. Türk kültüründe gökkuşağına sembolik anlamlar yüklenmiştir.

İlkokuldayken mahallede gökkuşağı çıkınca koşarak altından geçmeye çalışırdık. Çünkü onun ucunda hazine olduğuna inandırdık. Bir defasında halam beni durdurdu: "Altından geçersen cinsiyetin değişir," dedi. Şaşırmıştım, çünkü benim inandığımdan bambaşka bir şey söylemişti (T-3, Erkek, 36).

8. Bagajın Üzerine Oturmak

Gürcü toplumunda yolculuk öncesi bagajın üzerine oturmak şans getirdiğine inanılır (G-2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12). Türk kültüründe bu inanç bulunmamaktadır. Gürcü kültüründe yolculuk ritüelleri olumlu beklentilerle ilişkilendirilir.

Köye giderken otobüs terminalinde fark etmeden valizimin üzerine oturdum. Teyzem hemen uyardı ve valizin üzerinden kalkmamı söyledi: "Yolculukta valizin üzerine oturunca yolun kapanır," dedi. O zamanlar anlam veremesem de artık dikkat ederim (G-3, Kadın, 45).

Tabloların ardından yapılan değerlendirmeler, her iki toplumda öne çıkan batıl inançların katılımcı ifadelerinde de karşılık bulduğunu ve günlük yaşam pratikleri içinde sürdürüldüğünü göstermektedir. Bu bağlamda batıl inançlar, bireysel davranışları yönlendiren ve toplumsal anlam dünyasını destekleyen kültürel pratikler olarak değerlendirilebilir.

Tablo 1 ve Tablo 2 birlikte değerlendirildiğinde, batıl inançların hem kültürlerarası ortaklıklar hem de kültüre özgü farklılıklar taşıdığı görülmektedir. Bu bulgular, sonuç bölümünde psikolojik güvenlik, toplumsal uyum ve kültürel miras aktarımı çerçevesinde tartışılmıştır.

5. SONUÇ

Bu çalışma, batıl inançların yalnızca belirli toplumlara özgü kültürel pratikler olmadığını; farklı kültürlerde benzer işlevler üstlenen evrensel bir olgu olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye ve Gürcistan örnekleri üzerinden elde edilen veriler, batıl inançların kültürel bağlama bağlı olarak farklı biçimlerde görüldüğünü; ancak birey ve toplum yaşamındaki temel işlevlerinin büyük ölçüde benzer olduğunu göstermektedir.

Araştırma bulguları, batıl inançların bireylerin belirsizlikle başa çıkma, bilinmeyeni anlamlandırma ve kontrol duygusu geliştirme ihtiyacından beslendiğine işaret etmektedir. Bu inanışlar yalnızca psikolojik bir rahatlama aracı değil, aynı zamanda toplumsal düzenin sürdürülmesine katkı sağlayan kültürel mekanizmalardır.

Tablo 1'de sunulan ortak batıl inançlar, Türkiye ve Gürcistan toplumlarında benzer sembollerin ve ritüellerin bulunduğunu ortaya koymaktadır. Tahtaya vurmak, nazar boncuğu kullanmak, merdiven altından geçmekten kaçınmak, kara kediyi uğursuzlukla ilişkilendirmek ve dört yapraklı yoncayı şans sembolü olarak görmek gibi inanışlar, her iki toplumda da olumsuzluklardan korunma ve güvenlik arayışıyla bağlantılıdır.

Buna karşılık Tablo 2'de yer alan farklılaşan inanışlar, batıl inançların kültürel bağlama göre şekillendiğini göstermektedir. Türkiye'de giden kişinin arkasından su dökme, türbe ziyareti ve

iki aynı isimli kişinin arasına girerek dilek dileme gibi inanışlar öne çıkarken; Gürcistan'da mayıs ayında evlenmenin uğursuz sayılması, gece çöp atmanın maddi kayıpla ilişkilendirilmesi ve yeni yıla dolu ceplerle girmenin bolluk getireceğine inanılması dikkat çekmektedir.

Katılımcı verileri, batıl inançların günlük yaşam pratiklerini doğrudan etkilediğini ve özellikle aile büyükleri aracılığıyla kuşaktan kuşağa aktarıldığını desteklemektedir. Bu durum, batıl inançların yalnızca bireysel alışkanlıklar olmadığını; toplumsal hafızanın, kültürel sürekliliğin ve kimlik oluşumunun bir parçası olduğunu göstermektedir.

Ayrıca batıl inançlar, bireysel davranışların yanı sıra toplumsal ilişkileri ve normları da şekillendirmektedir. Çocukların korunması, nazardan sakınma, kötü şansı uzaklaştırma ve bereketi sürdürme gibi temalar, her iki toplumda ortak bir anlam dünyası oluşturarak toplumsal uyumu ve kültürel aidiyet duygusunu güçlendirmektedir.

Çalışmada ulaşılan bir diğer sonuç, batıl inançların modern toplumlarda da varlığını sürdürmesidir. Bilimsel gelişmelere rağmen bu inanışların tamamen ortadan kalkmaması, onların yalnızca bilgi eksikliğine dayalı olmadığını; psikolojik, kültürel ve toplumsal ihtiyaçlarla bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu nedenle batıl inançlar, modernleşme süreçlerinde yok olmaktan ziyade dönüşerek varlığını sürdürmektedir.

Sonuç olarak batıl inançlar; bireylerin belirsizlikle başa çıkmasını sağlayan, toplumsal normları pekiştiren, kültürel kimliği güçlendiren, kuşaktan kuşağa aktarılan çok katmanlı ve işlevsel yapılardır. Bu nedenle batıl inançların yalnızca irrasyonel inanışlar olarak değerlendirilmesi yetersiz kalmakta; kültürel, toplumsal ve psikolojik boyutları birlikte ele alınmalıdır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı kültürler arasında daha geniş karşılaştırmalar yaparak batıl inançların evrensel ve kültüre özgü işlevlerini daha kapsamlı biçimde incelemesi, bu alandaki literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Ayrıca dijitalleşme ve küreselleşme süreçlerinin batıl inançların aktarımı, dönüşümü ve yeniden üretimi üzerindeki etkileri de yeni araştırma alanları olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Akpınar T. (1999). Türklerin Din ve Hukuk Tarihi. İletişim Yayınları. İstanbul.

Alkan M. (2012). Milli Kütüphane 2727 numaralı Mecmû'a'da kayıtlı manzum bir melheme. Turkish Studies (Elektronik), 7(4a), 689-709.

Altun V. K. (2015). Köy Romanlarında Dini ve Ahlaki Motifler: Yaşar Kemal Örneği. Yüksek lisans tezi. İstanbul Üniversitesi. İstanbul.

Ambebi. (2015, 11 Mayıs). რატომ არ ქორწინდებიან საქართველოში მაისის თვეში - დეკანოზი და ასტროლოგი დამკვიდრებულ ცრურწმენაზე. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://www.ambebi.ge/article/130866-ratom-ar-korcindebian-sakartveloshi-maisis-tveshi-dekanozi-da-astrologi-damkvidrebul-crurcmenaze/.

Berman M, Kalandaze K, Kuparadze G, Rusieshvili M. (2011). Georgia Through Its Legend, Folklore And People. Nova Science Publisher. New York.

Coronachur.ch. (t.y.). მკითხაობის მეთოდები. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://ka.coronachur.ch/methods-divination.

Çakan İ. L. (1981). Hurafeler ve Batıl İnanışlar. Marifet Yayınları. İstanbul.

Çıblak N. (2004). Halk Kültüründe Nazar, Nazarlık İnancı ve Bunlara Bağlı Uygulamalar. Türklük Bilimi Araştırmaları, 15, 103-125. https://izlik.org/JA89JA26KS.

Dalyan M. G. (2011). XIX. yüzyıl Nasturilerinde hastalık, büyü ve batıl inançlar. History Studies 3(2), 89-100.

Etimoloji Türkçe. (t.y.). Batıl. Erişim tarihi: 23.6.2025. https://www.etimolojiturkce.com/kelime/bat%C4%B1l.

Forum.ge. (2016, 6 Şubat). ცრურწმენა, ასე მაქვს დაცდილი თუ უბრალოდ მოტყუებული ვარ? Erişim tarihi: 30.6.2025. https://forum.ge/?showtopic=34831761.
Geonewest. (2025, 17 Mayıs). Erişim tarihi: 24.7.2025. https://geonewest.com/?p=11455.
Günay M. (2002). Hurafeler ve Batıl İnançlar. Sevgi Yayınları. İstanbul.
İnan A. (1971). Divanü Lûgat-it-Türk'te Şamanizme ait kelimeler. Türk Kültürü 100.
Lehmann A. (1908). Aberglaube und Zauberei. Stuttgart.
Lorie P. (1997). Batıl inançlar. Milliyet Yayınları. İstanbul.
On.ge. (2020, 13 Kasım). 13 თვალბედითი ცრურწმენა, რომელიც მთელი ცხოვრება უკან მოგვჩხავის. Erişim tarihi: 30.06.2025. https://on.ge/story/69356-13-%E1%83%97%E1%83%95%E1%83%90%E1%83%9A%E1%83%91%E1%83%94%E1%83%93%E1%83%98%E1%83%97%E1%83%98-%E1%83%AA%E1%83%A0%E1%83%A3%E1%83%A0%E1%83%AC%E1%83%9B%E1%83%94%E1%83%9C%E1%83%90-%E1%83%A0%E1%83%9D%E1%83%9B%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%98%E1%83%AA-%E1%83%9B%E1%83%97%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%98-%E1%83%AA%E1%83%AE%E1%83%9D%E1%83%95%E1%83%A0%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%90-%E1%83%A3%E1%83%99%E1%83%90%E1%83%9C-%E1%83%9B%E1%83%9D%E1%83%92%E1%83%95%E1%83%A9%E1%83%AE%E1%83%90%E1%83%95%E1%83%98%E1%83%A1.
Orthodoxy.ge. (t.y.). გვპასუხობს მოძღვარი. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://www.orthodoxy.ge/pasukhebi/1.htm.
Örnek S. V. (1966). Sivas ve Çevresinde Hayatın Çeşitli Safhalarıyla İlgili Bâtıl İnançların ve Büyüsel İşlemlerin Etnolojik Tetkiki. Ankara Üniversitesi Basımevi. Ankara.
Örnek S. V. (1971). Etnoloji Sözlüğü. Ankara Üniversitesi Dil-Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları. Ankara.
Primetime. (2023, 28 Ekim). ნაგვის გადაყრა ღამით არ შეიძლება... - ცრურწმენები, რომელსაც დღემდე ითვალისწინებენ. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://www.primetime.ge/news/rchevebi/nagvis-gadayra-ghamit-ar-sheidzleba-tsrurtsmenebi-romelsats-dghemde-itvalistsineben.
Primetime. (2024, 2 Nisan). დაკრძალვის ცრურწმენები: რისი გაკეთება გეკრძალებათ, როდესაც ადამიანი გარდაიცვლება. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://www.primetime.ge/news/rchevebi/dakrdzalvis-tsrurtsmenebi-risi-gaketeba-gekrdzalebat-rodesats-adamiani-gardaitsvleba.
Rosaldo R. (1993). Culture and Truth: The Remaking of Social Analysis. Routledge. London.
Schein E. H. (1992). Organizational Culture and Leadership. Jossey-Bass. San Francisco, CA.
Schmidt P. (1956). Dunkle Maechte, Published by Josef Knecht. Frankfurt.
Simons H, Hyatt J. (1999). Cultural Codes - Who Holds the Key? The Concept and Conduct of Evaluation in Central and Eastern Europe. Evaluation 5(1), 23-41.
T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı. (t.y.). Batıl inanışlar. Erişim tarihi: 23.6.2025. https://mus.ktb.gov.tr/TR-56123/batil-inanislar.html.
Teasblogi. (2013, 12 Ağustos). ყველაზე გავრცელებული ცრურწმენები. Erişim tarihi: 30.6.2025. https://teasblogi.wordpress.com/2013/08/12/%E1%83%A7%E1%83%95%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%90%E1%83%96%E1%83%94%E1%83%92%E1%83%90%E1%83%95%

E1%83%A0%E1%83%AA%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%94%E1%83%91%E1%83%A3%E1%83%9A%E1%83%98-%E1%83%AA%E1%83%A0%E1%83%A3/.

დოლიძე დ. (2020, 8 Haziran). რომელია საქართველოში ყველაზე გავრცელებული ცრურწმენები და მათი შექმნის ისტორიები. Erişim tarihi: 23.7.2025. https://mrdatosblog.wordpress.com/2020/06/08/%E1%83%A0%E1%83%9D%E1%83%9B%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%98%E1%83%90-%E1%83%A1%E1%83%90%E1%83%A5%E1%83%90%E1%83%A0%E1%83%97%E1%83%95%E1%83%94%E1%83%9A%E1%83%9D%E1%83%A8%E1%83%98-%E1%83%A7%E1%83%95%E1%83%94/.

თოდუა ქ. (2014, 5 Mayıs). ცრურწმენები, რომლისაც ბევრს სჯერა და სტანჯავს. Ambebi. Erişim tarihi: 23.7.2025. https://www.ambebi.ge/article/23261-crurcmenebi-romlisac-bevrs-sjera-da-stanjavs.

მეფარიშვილი თ. (2021, 19 Ağustos). რას ნიშნავს სამყურა და რატომ არ უნდა დავეძებდეთ მას სპეციალურად. Paparazzi. https://paparazzi.ge/article/40879.

ტიელიძე მ. (2021). ცრურწმენები, რომლებიც დღემდე ახლავს ახალ წელს. TTimes. Erişim tarihi: 24.7.2025. https://www.ttimes.ge/archives/112001.

HAVALI GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE HAD TABANLI PERFORMANS ARTIRMA YÖNTEMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇATALKAYA
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, K.Maraş, Türkiye
ORCID: 0000-0002-4143-4679

ÖZET
Havalı güneş kolektörlerinde (HGK) havanın düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle absorber yüzeyi ile hava arasındaki ısı transferi sınırlı kalmakta ve sistemlerin termal performansı düşmektedir. Bu çalışma, söz konusu sorunun giderilmesinde kullanılan hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) tabanlı performans artırma yöntemlerini değerlendirmek ve etkili tasarım parametrelerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda türbülatörler, engeller/bariyerler, kanatlar, tel örgüler, gözenekli ortamlar, çok geçişli akış kanalları, faz değiştiren malzemeler ve farklı kanal geometrileri kullanılan sayısal çalışmalar karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışmalarda temel tasarım ve işletme değişkenleri olarak Reynolds sayısı, türbülatör geometrisi, bariyer yüksekliği, türbülatör adımı, eleman açısı ve biçimi, bölme yüksekliği, kanat aralığı, boşluk oranı, gözeneklilik, geçirgenlik, kütlesel debi, güneş ışınımı, geçiş sayısı ve kanal geometrisi ele alınmıştır. Performans değerlendirmesinde Nusselt sayısı, taşınım katsayısı, çıkış havası sıcaklığı, termal ve ekserji verimi, sürtünme faktörü, basınç düşümü ve termo-hidrolik performans parametresi kullanılmıştır. İncelenen sonuçlar sistem performansını artırmak için kullanılan yöntemler, termal sınır tabakayı bozarak ikincil akışlar oluşturduğunu ve böylece Nusselt sayısı, taşınım katsayısı, çıkış sıcaklığı ve termal verimi artırdığını göstermiştir. Bununla birlikte, akışın daha fazla engellenmesi sürtünme faktörü ve basınç düşümünde artışa neden olmuştur. Bu nedenle en uygun geometrinin yalnızca ısı transferi artışına göre değil, termo-hidrolik performans ve gerekli fan gücü birlikte dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar kelimeler: HGK, HAD, yapay pürüzlülük, türbülatör, Nusselt sayısı, termo-hidrolik performans

CFD-BASED PERFORMANCE ENHANCEMENT METHODS FOR SOLAR AIR HEATERS

ABSTRACT
The low thermal conductivity of air limits heat transfer between the absorber plate and the airflow in solar air heaters (SAHs), thereby reducing their thermal performance. This study evaluates computational fluid dynamics (CFD)-based methods used to overcome this limitation and identifies the design parameters that have the greatest influence on system performance. Numerical studies involving turbulators, baffles, fins, wire meshes, porous media, multi-pass flow channels, phase change materials, and modified channel geometries were comparatively examined. The main design and operating variables included the Reynolds number, turbulator geometry, baffle height, turbulator pitch, element angle and shape, fin spacing, clearance ratio, porosity, permeability, mass flow rate, solar irradiance, number of passes, and channel geometry. Performance was evaluated using the Nusselt number, convective heat transfer coefficient, outlet air temperature, thermal and exergy efficiencies, friction factor, pressure drop, and thermo-hydraulic performance parameter. The reviewed studies showed that performance-enhancing elements disrupt the thermal boundary layer and generate secondary flows, improving heat transfer between the absorber plate and the air. Consequently, the Nusselt

number, convective heat transfer coefficient, outlet air temperature, and thermal efficiency generally increased. However, greater blockage of the airflow also increased the friction factor and pressure drop. Therefore, the optimum geometry should be selected by considering not only heat transfer enhancement but also thermo-hydraulic performance and the associated fan power requirement.
Keywords: solar air heater, computational fluid dynamics, artificial roughness, turbulator, Nusselt number, thermo-hydraulic performance

1. GİRİŞ

Güneş enerjisinin çevresel etkisinin düşük, yenilenebilir ve geniş bir coğrafyada erişilebilir olması, güneş enerjili ısıl sistemlerin kurutma, sera ısıtma, hacim ısıtma ve endüstriyel proses havasının ön ısıtılması gibi uygulamalarda kullanılmasını önemli hâle getirmiştir. Bu sistemler arasında yer alan HGK, güneş ışınımını absorber yüzeyinde ısıl enerjiye dönüştürerek kanal içerisinden geçen havaya aktarmaktadır. Basit yapıları, düşük işletme maliyetleri ve donma veya korozyon gibi sıvı akışkan kaynaklı sorunlara daha az maruz kalmaları bu sistemlerin başlıca avantajlarıdır. Bununla birlikte havanın düşük ısı iletim katsayısı ve düşük hacimsel ısı kapasitesi, absorber yüzeyi ile hava arasındaki ısı transferini sınırlandırmaktadır. Özellikle düz ve düzgün yüzeyli akış kanallarında absorber üzerinde gelişen termal sınır tabaka, yüzeyde toplanan ısının havaya aktarılmasını güçleştirmekte ve sistemin termal verimini azaltmaktadır. HGK'larının performansını artırmaya yönelik çalışmaların önemli bir bölümü, absorber yüzeyi üzerindeki termal sınır tabakanın inceltilmesine, akışın karıştırılmasına ve hava ile sıcak yüzey arasındaki temas süresinin artırılmasına odaklanmaktadır. Bu amaçla türbülatörler, bölmeler, kanatlar, çukurlar, tel örgüler, metal köpükler, gözenekli ortamlar, çok geçişli kanallar ve farklı kanal kesitleri kullanılmaktadır. Bu elemanlar akışın ayrılmasını ve yeniden yüzeye yapışmasını sağlayarak ikincil akışlar ve devridaim bölgeleri meydana getirmektedir. Böylece absorber yüzeyindeki sıcaklık gradyeni artmakta ve taşınımla ısı transferi güçlenmektedir. Ancak akış yoluna yerleştirilen elemanlar kanal içerisindeki akış direncini de artırdığı için ısı transferindeki iyileşmeye çoğunlukla daha yüksek sürtünme faktörü, basınç düşümü ve fan gücü eşlik etmektedir. Dolayısıyla performans değerlendirmesinin yalnızca çıkış sıcaklığı veya Nusselt sayısı üzerinden yapılması yeterli değildir. HAD analizleri, farklı türbülatör geometrilerinin ve işletme koşullarının prototip üretilmeden incelenmesine olanak sağlamaktadır. HAD analizleriyle kanal içerisindeki hız, basınç, sıcaklık, türbülans kinetik enerjisi ve duvar ısı akısı dağılımları ayrıntılı biçimde belirlenebilmektedir. Ayrıca deneysel olarak ölçülmesi güç olan akış ayrılması, yeniden yapışma, ikincil akış ve yerel sıcak nokta bölgeleri görselleştirilebilmektedir. Bu nedenle HAD; türbülatör yüksekliği, türbülatör adımı, eleman açısı, boşluk oranı, kanal yüksekliği, kütlesel debi ve Reynolds sayısı gibi değişkenlerin optimize edilmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Dalgalı biçimde düzenlenen türbülatörlerin incelendiği çalışmada Haldar et al. (2022), Reynolds sayısı ile dalga yüksekliği ve adımının Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve termo-hidrolik performans üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Dalgalı geometrinin akış ayrılmasını ve yeniden yapışmayı artırdığı, buna bağlı olarak ısı transferinin geliştiği belirlenmiştir. Nidhul et al. (2022) ise eğimli ve ayrık bölmeler ile yarı silindirik yan duvarların oluşturduğu ikincil akışları HAD ve deneysel yöntemlerle incelemiştir. Bölme yüksekliği, bölme adımı ve Reynolds sayısının değiştirilmesiyle Nusselt sayısı ve kolektör veriminde artış elde edilmiş; ancak basınç kaybının da yükseldiği bildirilmiştir. Dairesel kanal uygulamalarında da türbülatör kullanımının önemli performans artışları sağladığı görülmektedir. Singla et al. (2022), tahliye edilmiş tüplü bir HGK'da türbülatör adımı ve Reynolds sayısının etkilerini HAD yöntemiyle araştırmıştır. Düz tüple karşılaştırıldığında Nusselt sayısının en fazla 1,88 kat, sürtünme direncinin ise 2,89 kat arttığı;

en yüksek termo-hidrolik performans parametresinin 1,36 olduğu belirlenmiştir. Bu sonuç, ısı transferindeki artış ile hidrolik kaybın birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açıkça göstermektedir. Dikdörtgen ve üçgen kesitli hava kanallarında farklı türbülatör biçimlerinin kullanıldığı çalışmalar da bulunmaktadır. Yadav et al. (2022a), absorber yüzeyine yerleştirilen enine türbülatörlerin ısı transferi üzerindeki etkisini HAD ile incelemiş ve türbülatörlerin akış karışımını artırarak Nusselt sayısını yükselttiğini göstermiştir. H. Singh et al. (2022a), uçurtma biçimli elemanların bulunduğu dikdörtgen kanalda hız ve sıcaklık dağılımlarını araştırmış; eleman boyutu ve yerleşiminin akış ayrılması ile basınç kaybını önemli ölçüde etkilediğini belirlemiştir. H. Singh et al. (2022b) tarafından incelenen Y biçimli türbülatörlerin ise akışı hem boyuna hem de enine yönde hareketlendirerek absorber yüzeyinde daha geniş bir karışım bölgesi oluşturduğu bildirilmiştir. Yadav et al. (2022b) HAD sonuçlarını kullanarak türbülatörlü kanallar için Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü bağıntıları geliştirmiştir. Yadav et al. (2022c) ise farklı geometrik oranların termal ve hidrolik performans üzerindeki etkisini sayısal olarak karşılaştırmış ve optimum tasarımın termo-hidrolik performans parametresine göre belirlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Birden fazla ısı transferi geliştirme yönteminin aynı sistemde birleştirildiği tasarımlar da dikkat çekmektedir. Arya et al. (2023), farklı biçimlerdeki minyatür türbülatörleri çukur geometrileriyle birlikte kullanmış ve HAD sonuçlarını deneysel verilerle doğrulamıştır. Birleşik geometrinin ardışık akış ayrılması ve yüzeye çarpma bölgeleri oluşturarak Nusselt sayısı ile termo-hidrolik performansı artırdığı belirlenmiştir. Diganjit ve Gnanasekaran (2023), kanal içerisindeki alüminyum tel örgü yoğunluğunu akış yönünde kademeli olarak değiştirmiştir. Kademeli tel örgü düzeninin geniş bir ısı transfer alanı oluşturduğu ve uygun gözeneklilik değerlerinde termal kazanç ile basınç kaybı arasında daha dengeli bir sonuç sağladığı bildirilmiştir. Bölme geometrisinin kanal içerisindeki akış ve sıcaklık dağılımına etkisi Ben Amara et al. (2023) tarafından üç boyutlu HAD ve deneysel yöntemlerle incelenmiştir. Farklı spiral bölme yüksekliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada, bölme yüksekliğinin artmasıyla akış karışımının ve çıkış sıcaklığının yükseldiği; buna karşılık akış direncinin de arttığı görülmüştür. Abrofarakh ve Moghadam (2024), tahliye edilmiş tüplü bir HGK'da bölmeler ile metal köpüğü birlikte kullanarak termal performans ve entropi üretimini değerlendirmiştir. Metal köpüğün geniş katı–akışkan temas alanı sayesinde ısı transferini artırdığı, ancak gözeneklilik ve geçirgenlik değerlerinin basınç kaybı üzerinde belirleyici olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hareketli türbülatörlerin kullanılması, sabit elemanlardan farklı olarak termal sınır tabakanın sürekli yenilenmesini sağlamaktadır. S. Singh et al. (2024), dönen silindirik türbülatörlerin çapı, yerleşimi ve dönme özelliklerinin termo-hidrolik performans üzerindeki etkisini incelemiştir. Dönme hareketinin ikincil akışları güçlendirdiği ve Nusselt sayısını artırdığı; ancak dönme için gerekli mekanik enerji ile basınç kaybının sistem performansında dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Ghanem ve Bhosale (2024) ise bal peteği biçimindeki hücresel türbülatörlerin hücre yüksekliği ve yerleşimini HAD ve deneysel yöntemlerle değerlendirmiştir. Hücresel düzenin akışı kanal kesitine daha dengeli dağıttığı, yerel sıcak noktaları azalttığı ve termo-hidrolik performansı geliştirdiği sonucuna varılmıştır. Kanal içerisindeki akış yolunun uzatılması ve ısıl depolamanın sisteme dâhil edilmesi de performans artırıcı yaklaşımlar arasındadır. Maarof et al. (2024), üç geçişli borulu bir HGK, faz değiştiren malzemeyle birlikte modellemiştir. Çok geçişli düzenin hava ile absorber arasındaki temas süresini artırdığı, faz değiştiren malzemenin ise güneş ışınımının azalmasından sonra sıcak hava üretim süresini uzattığı belirlenmiştir. Addini ve Gandjalikhan Nassab (2024), bileşik parabolik yoğunlaştırıcıyla bütünleştirilmiş dairesel bir HGK sayısal olarak incelemiştir. Dairesel kanal ve yoğunlaştırıcı geometrisinin absorber üzerindeki enerji dağılımını ve çıkış havası sıcaklığını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Kanal yan duvarlarının geometrik olarak değiştirilmesi, türbülatör kullanılmadan akışın hızlandırılması ve

ikincil akış oluşturulması açısından farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Hegde et al. (2025), düz ve daralan yan duvar geometrilerini 3000–24000 Reynolds sayısı aralığında ve Discrete Ordinates radyasyon modeli kullanarak değerlendirmiştir. En uygun daralan yan duvar düzeninde termal verimin %90,62'ye, ekserji veriminin ise %4,08'e ulaştığı bildirilmiştir. Sastry et al. (2025), eşkenar üçgen kesitli türbülatörlerde bağıl yükseklik, bağıl adım ve Reynolds sayısının etkisini araştırmış ve düz kanala göre ısı transferinde %141'e varan artış elde etmiştir. Bununla birlikte en yüksek ısı transferinin görüldüğü geometrinin en düşük basınç kaybını sağlamadığı belirlenmiştir. Chevron biçimli oluklar ve büyük V biçimli kanatlar güncel HAD çalışmalarında değerlendirilen diğer geometrilerdir. Alqsair (2025), chevron açısı, oluk yüksekliği, oluk adımı ve Reynolds sayısını değiştirerek Nusselt sayısı, sürtünme faktörü ve termal performansı optimize etmiştir. Elakrout et al. (2025) ise farklı sayılarda ve farklı yerleşimlerde kullanılan büyük V biçimli kanatların etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. V biçimli kanatların havayı sıcak absorber yüzeyine yönlendirdiği, çıkış sıcaklığı ve termal verimi artırdığı; ancak kanat sayısı arttıkça basınç kaybının yükseldiği belirlenmiştir. Literatürdeki sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde reynolds sayısı, türbülatör yüksekliği, türbülatör adımı, eleman açısı, bölme yüksekliği, kanat aralığı, gözeneklilik, geçirgenlik, kütlesel debi, ışınım şiddeti ve kanal geometrisinin HGK'larının performansını belirleyen başlıca değişkenler olduğu görülmektedir. Performans artışı çoğunlukla Nusselt sayısı, taşınım katsayısı, çıkış havası sıcaklığı ve termal verimde gözlenirken; sürtünme faktörü ve basınç düşümü de artmaktadır. Bu nedenle HAD tabanlı tasarım çalışmalarında amaç yalnızca ısı transferini en yüksek değere çıkarmak değil, termal kazanç ile hidrolik kayıp arasında uygun dengeyi sağlamaktır. Bu çalışma kapsamında söz konusu yöntemler, incelenen tasarım parametreleri ve elde edilen termal–hidrolik sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

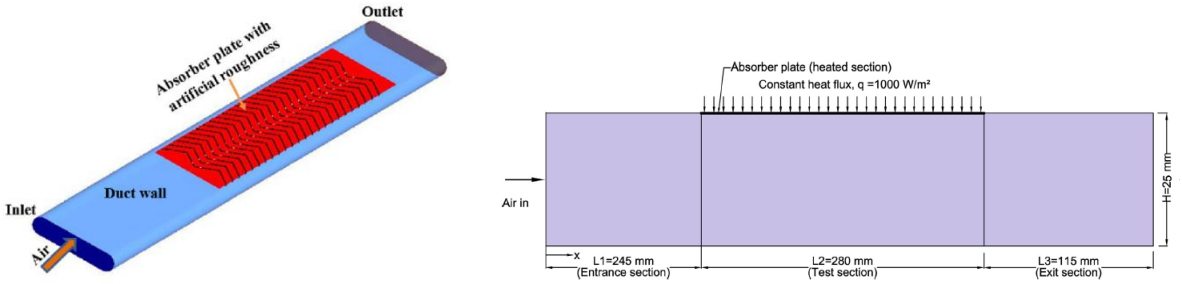
2.1. HAD çalışmalarının genel modelleme yaklaşımı

HGK'larında kullanılan performans artırıcı elemanların akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri çoğunlukla sonlu hacimler yöntemine dayalı HAD analizleriyle incelenmektedir. Bu analizlerde süreklilik, momentum ve enerji denklemleri birlikte çözülerek hava sıcaklığı, hız dağılımı, basınç düşümü ve absorber yüzeyindeki ısı transferi belirlenmektedir. Hesaplama alanının kapsamı araştırmanın amacına göre değişmektedir. Türbülatör geometrisinin yerel etkilerine odaklanan çalışmalarda kanalın belirli bir bölümü modellenirken, havalı kolektörün genel enerji performansını inceleyen çalışmalarda hava kanalı, absorber plaka, cam örtü ve yalıtım bölgelerini içeren üç boyutlu modeller kullanılmaktadır (Haldar et al., 2022; Nidhul et al., 2022). Kanal ölçeğindeki modellerde absorber yüzeyi genellikle sabit ısı akısı veya sabit yüzey sıcaklığı sınır şartıyla tanımlanmaktadır. Bu yaklaşım; türbülatör yüksekliği, türbülatör adımı, hücum açısı, açıklık oranı ve Reynolds sayısı gibi parametrelerin, ısı transferi ve akış direnci üzerindeki etkilerinin kontrollü biçimde karşılaştırılmasını sağlamaktadır. Bu çalışmalarda temel performans göstergeleri ortalama Nusselt sayısı, sürtünme faktörü, basınç düşümü ve termo-hidrolik performans parametresidir (THPP). Havalı kolektör modellerinde ise güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, dış yüzeylerden gerçekleşen ısı kayıpları ve hava debisi dikkate alınarak çıkış havası sıcaklığı ile kolektörün termal verimi hesaplanmaktadır (Singla et al., 2022; Yadav et al., 2022a). İncelenen modellerde hava çoğunlukla sıkıştırılamaz ve Newtonyen bir akışkan olarak kabul edilmiştir. Giriş sınırında hava hızı veya kütlesel debi ile giriş sıcaklığı tanımlanmış, çıkış sınırında ise atmosferik ya da sıfır gösterge basıncı uygulanmıştır. Katı yüzeylerde kaymama sınır şartı kullanılmış; absorber plakada ısı iletimi, hava kanalında zorlanmış taşınım ve kapsamlı kolektör modellerinde ışınımla ısı transferi birlikte çözülmüştür. Birbirini tekrar eden türbülatör dizilerinin incelendiği çalışmalarda hesaplama süresini

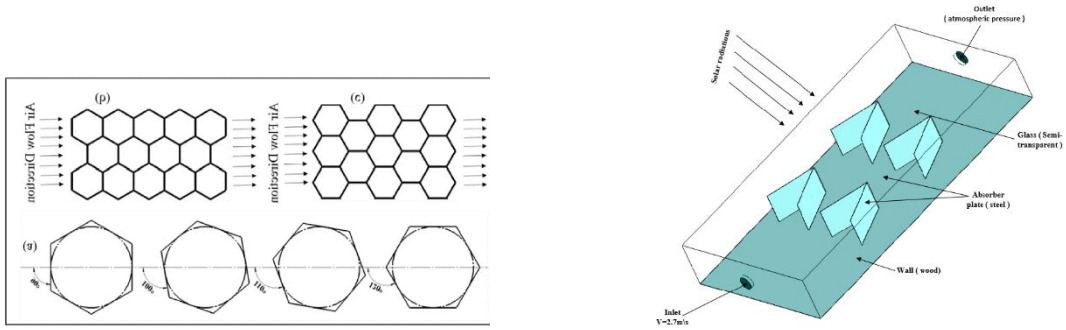
azaltmak amacıyla periyodik sınır şartlarından yararlanılmıştır. Bununla birlikte periyodik kanal modeli, kolektör giriş ve çıkış bölgelerinde oluşan akış gelişimini ve çevreye gerçekleşen toplam ısı kayıplarını doğrudan temsil edememektedir (Arya et al., 2023; Diganjit & Gnanasekaran, 2023).

Türbülatör kullanılan kanallarda akış ayrılması, ters akış bölgeleri, ikincil akımlar ve yeniden yapışma olayları meydana gelmektedir. Bu nedenle ağ elemanları türbülatörlerin ön ve arka yüzlerinde, türbülatör ile kanal duvarı arasındaki dar geçişlerde ve absorber yüzeyine yakın bölgelerde sıklaştırılmaktadır. Duvara yakın akışın çözüm kalitesi, seçilen türbülans modeli ile oluşturulan ilk hücre yüksekliğinin uyumuna bağlıdır. Yetersiz ağ çözünürlüğü, sıcaklık ve hız gradyanlarının doğru yakalanamamasına; dolayısıyla Nusselt sayısı ve basınç düşümünün hatalı hesaplanmasına neden olabilmektedir (Abrofarakh & Moghadam, 2024; Ghanem & Bhosale, 2024). Sayısal sonuçların ağ yapısından bağımsız olduğunu göstermek amacıyla farklı hücre sayılarına sahip en az üç ağın karşılaştırılması yaygın bir yaklaşımdır. Ağ yoğunluğu artırıldığında ortalama Nusselt sayısı, çıkış sıcaklığı, sürtünme faktörü veya basınç düşümündeki değişimin kabul edilebilir bir düzeyin altına inmesi ağ bağımsızlığının sağlandığını göstermektedir. HAD modelinin doğrulanmasında ise sayısal sonuçlar deneysel sıcaklık, Nusselt sayısı, sürtünme faktörü veya basınç kaybı verileriyle karşılaştırılmaktadır. Deneysel verinin bulunmadığı durumlarda literatürde kabul görmüş ampirik bağıntılar kullanılabilmekle birlikte bu yöntem, doğrudan deneysel doğrulamanın yerine geçmemekte ve çalışmanın sınırlılığı olarak belirtilmelidir (Addini & Gandjalikhan Nassab, 2024; Hegde et al., 2025).

Sistemlerin modellerinde belirlenen Nusselt sayısı artışı, absorber yüzeyi ile hava arasındaki taşınımla ısı transferinin gelişimini göstermektedir; ancak bu artış kolektörün termal veriminde aynı oranda bir yükselme meydana geldiği anlamına gelmez. Termal verim; güneş radyasyonu, hava debisi, giriş–çıkış sıcaklık farkı ve çevreye gerçekleşen ısı kayıplarına bağlıdır. Benzer şekilde yüksek ısı transferi artışı sağlayan bir türbülatör, oluşturduğu basınç kaybı nedeniyle fan gücü ihtiyacını artırabilir. Bu nedenle performans artırıcı yöntemler değerlendirilirken ısı transferi artışı ile akış direncinin birlikte ele alınması daha doğru bir karşılaştırma sağlamaktadır (Sastry et al., 2025; Elakrout et al., 2025).



(a) **(b)**



(c) (d)

Şekil 1. **Temel HAD hesaplama alanı, sınır şartları. a-Nidhul et al., 2022, b-H. Singh et al., 2022a, c-Ghanem & Bhosale, 2024, d-Elakrout et al., 2025.**

2.2. Türbülans modelleri ve duvar yaklaşımı

Türbülatörlü solar hava kanallarında akış, düz kanallardaki tam gelişmiş akıştan daha karmaşık bir yapı göstermektedir. Türbülatörlerin ön yüzünde akışın yavaşlamasıyla yüksek basınç bölgesi, arka yüzünde ise akış ayrılması ve devridaim bölgesi oluşmaktadır. Ayrılan akışın absorber yüzeyine yeniden yapışması, sınır tabakayı yenileyerek taşınımla ısı transferini artırmaktadır. Buna karşılık oluşan girdaplar ve ikincil akımlar basınç kaybının yükselmesine neden olmaktadır. Bu nedenle türbülans modelinin yalnız sıcaklık dağılımını değil, akış ayrılması, yeniden yapışma uzunluğu, Nusselt sayısı ve sürtünme faktörünü de doğru tahmin etmesi gerekmektedir (Nidhul et al., 2022; Sastry et al., 2025). İncelenen HAD çalışmalarında standart k–ε, RNG k–ε, realizable k-ε ve SST k–ω modellerinin kullanıldığı görülmektedir. Standart k–ε modeli düşük hesaplama maliyeti, kararlı yakınsama davranışı ve tam gelişmiş türbülanslı akışlardaki kabul edilebilir performansı nedeniyle temel analizlerde tercih edilmektedir. Bununla birlikte bu model, güçlü akış ayrılması ve eğrisel akım çizgilerinin bulunduğu türbülatörlü kanallarda yeniden yapışma bölgesini yeterli doğrulukla tahmin edemeyebilir. Bu nedenle türbülatör geometrisinin yerel akış yapısına etkisinin araştırıldığı çalışmalarda model seçiminin ayrıca doğrulanması gerekir (Haldar et al., 2022; Singla et al., 2022). RNG k–ε modeli, standart modele göre yüksek şekil değiştirme oranlarının ve girdaplı akışların etkisini daha ayrıntılı biçimde dikkate almaktadır. Bu özelliği nedeniyle türbülatör arkasındaki devridaim bölgesinin ve yüksek hızlı ana akış ile düşük hızlı bölge arasındaki momentum transferinin hesaplanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Realizable k–ε modeli ise değişken μ yaklaşımı sayesinde dönmeli akışların, ikincil akımların ve güçlü ayrılma bölgelerinin bulunduğu kanallarda avantaj sağlayabilmektedir. (Arya et al., 2023; Abrofarakh & Moghadam, 2024). Türbülans modeli ile duvar yaklaşımı birlikte değerlendirilmelidir. Geliştirilmiş duvar fonksiyonları veya standart duvar fonksiyonları kullanılan k–ε modellerinde ilk hücrenin boyutu, hedeflenen y+ aralığına uygun biçimde belirlenmelidir. Duvar fonksiyonlarına dayalı çözümde ilk hücrenin logaritmik tabaka içerisinde bulunması beklenirken, duvara kadar çözüm yapılan modellerde ilk hücre merkezinin viskoz alt tabakaya yerleştirilmesi gerekir. (Addini & Gandjalikhan Nassab, 2024; Elakrout et al., 2025). Duvara yakın ağ çözünürlüğü, türbülatörlü kanallarda ortalama hücre boyutundan daha kritik bir parametredir. Türbülatörlerin ön ve arka kenarlarında, absorber yüzeyinde ve yeniden yapışmanın beklendiği bölgelerde sınır tabaka hücreleri oluşturulmalıdır. İlk hücre yüksekliği, büyüme oranı ve sınır tabaka katman sayısı kontrol edilmelidir. Aksi durumda genel ağ bağımsızlığı sağlanmış görünse bile duvar kayma gerilmesi, sürtünme faktörü ve yerel Nusselt sayısı güvenilir olmayabilir (Diganjit & Gnanasekaran, 2023; Maarof et al., 2024).Türbülans

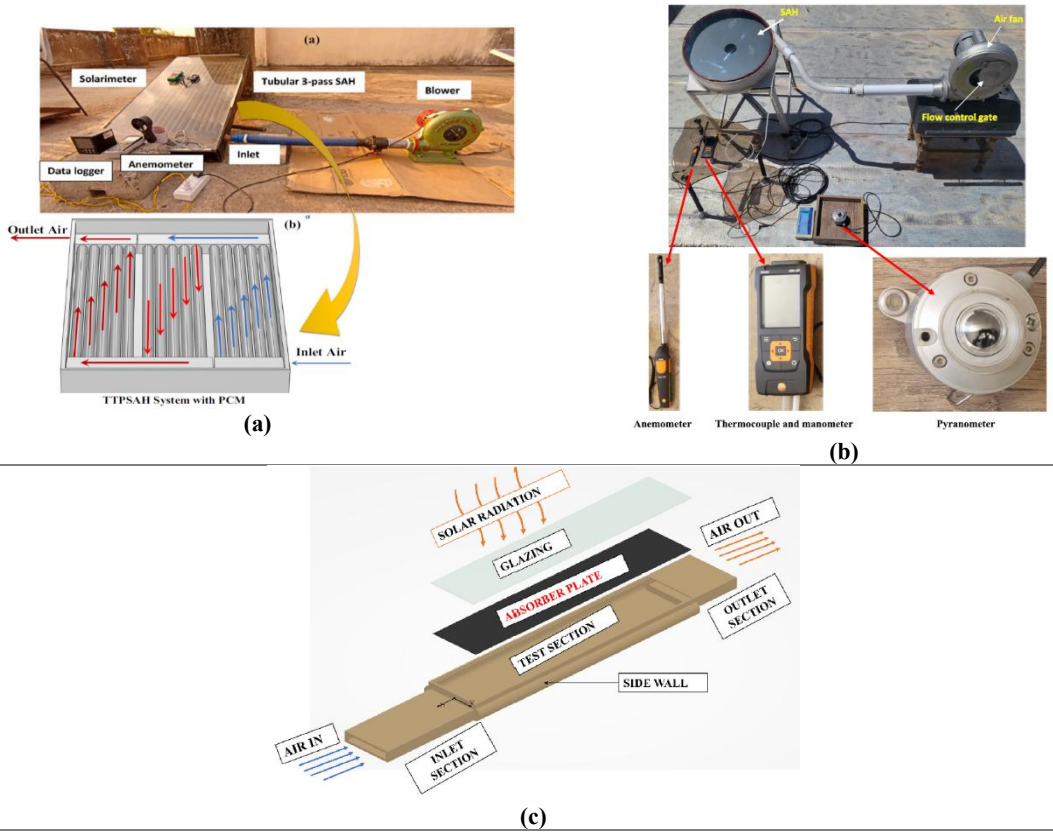
modeli seçiminin yalnız çözümün yakınsaması veya artık değerlerinin düşmesi üzerinden yapılması yeterli değildir. Farklı modellerden elde edilen sonuçlar deneysel sıcaklık, basınç düşümü, Nusselt sayısı veya sürtünme faktörü verileriyle karşılaştırılmalıdır. Türbülatörlü kanala ait deneysel verinin bulunmadığı durumlarda ilk olarak düz kanal modeli çözülerek sayısal Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü, geçerli Reynolds sayısı aralığındaki ampirik bağıntılarla karşılaştırılabilir. Daha sonra türbülatörlü model için farklı türbülans modellerinin sonuçları değerlendirilerek en düşük sapmayı sağlayan model seçilebilir (Sastry et al., 2025; Alqsair, 2025).

Tablo 1. HAD sınır şartı ve doğrulama yaklaşımlarının karşılaştırılması.

Çalışmalar	HAD yaklaşımı ve türbülans modeli	Radyasyon/ısıl sınır şartı	Doğrulama yaklaşımı
(Haldar et al., 2022)	Türbülanslı kanal HAD	Absorberde sabit ısı akısı	Düz kanal bağıntıları ve ağ bağımsızlığı
(Nidhul et al., 2022)	3B HAD; eğimli bölmeler	Elektrikli ısıtıcı/sabit ısı akısı benzetimi	Deneysel Nu ve ΔP
(Singla et al., 2022)	Türbülanslı tahliye tüpü HAD	1000 W/m² düzgün ısı akısı	Düz tüp bağıntıları ve ağ bağımsızlığı
(H. Singh et al., 2022a, 2022b; Yadav et al., 2022a, 2022b, 2022c)	2B/3B türbülatörlü kanal	Düzgün ısı akısı	Literatür Nu ve f bağıntıları
(Arya et al., 2023)	3B HAD ve deney	Sabit ısı akılı absorber	Deneysel sıcaklık ve ΔP
(Diganjit & Gnanasekaran, 2023)	Gözenekli ortam modeli ve deney	Isıtılmış absorber	Deneysel termal ve hidrolik sonuçlar
(Ben Amara et al., 2023)	3B spiral bölmeli kanal	Absorber ısı girdisi	Deneysel çıkış sıcaklığı
(Abrofarakh & Moghadam, 2024)	3B tahliye tüpü; metal köpük ve bölme	Isı akısı/radyasyon etkisi	Ağ bağımsızlığı ve literatür bağıntıları
(S. Singh et al., 2024)	3B dönen silindirik türbülatör	Düzgün ısı akısı	Ağ bağımsızlığı ve referans kanal
(Ghanem & Bhosale, 2024)	ANSYS Fluent 2022 R1; türbülanslı akış	Isıtılmış absorber	Deneysel Nu ve f
(Maarof et al., 2024)	Geçici 3B HAD; PCM için entalpi-gözeneklilik yöntemi	Güneş/ısıl enerji girdisi ve PCM	Deneysel sonuçlar ve enerji dengesi
(Addini & Gandjalikhan Nassab, 2024)	Dairesel kanal ve CPC modeli	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi girdisi	Deneysel sonuçlarla karşılaştırma
(Hegde et al., 2025)	3B türbülanslı HAD	Discrete Ordinates (DO) modeli	Ağ bağımsızlığı, enerji dengesi ve literatür
(Sastry et al., 2025)	Model karşılaştırması sonucunda RNG k–ε	Absorberde sabit ısı akısı	Blasius ve Dittus–Boelter türü bağıntılar
(Alqsair, 2025)	ANSYS Fluent 2023 R1;	Isıtılmış chevron yüzey	Ağ bağımsızlığı ve referans kanal
(Elakrout et al., 2025)	3B HAD ve deney	Güneş/ısı akısı sınır şartı	Deneysel sıcaklık ve hız

2.3. Radyasyon modelleri ve ısıl sınır şartları

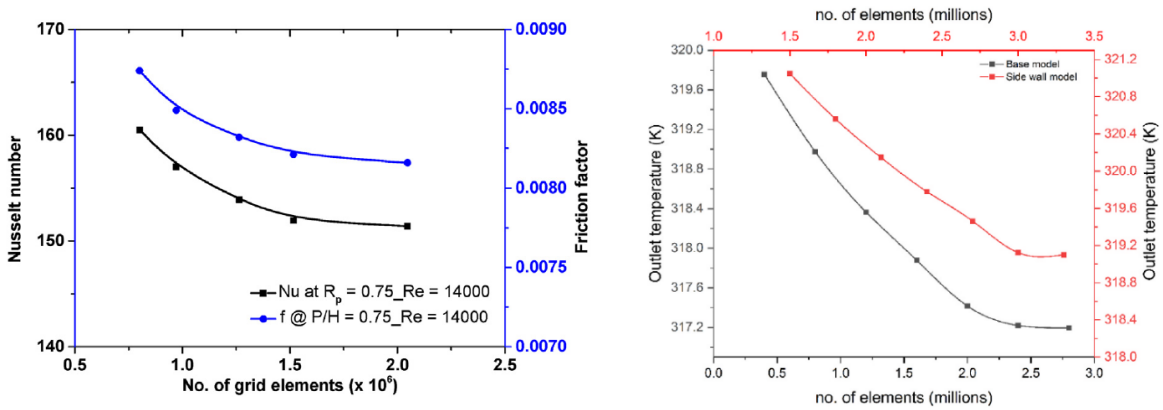
HGK'ların HAD analizlerinde güneş enerjisi çoğunlukla absorber yüzeyine sabit ve düzgün dağılmış bir ısı akısı uygulanarak modellenmektedir. Bu yaklaşım, farklı türbülatör geometrilerinin aynı ısıl koşullar altında karşılaştırılmasını kolaylaştırır. Ancak cam geçirgenliği, absorber soğurma katsayısı, güneş ışınlarının geliş açısı ve çevreye gerçekleşen ısı kayıplarını doğrudan içermediği için elde edilen sonuçlar daha çok kanalın termo-hidrolik performansını temsil etmektedir (Haldar et al., 2022; Nidhul et al., 2022). Tam kolektör modellerinde güneş enerjisi, güneş yükü veya DO gibi radyasyon modelleriyle hesaplanabilmektedir. Güneş yükü modeli, kolektörün konumu, tarihi, saati ve yönelimine bağlı olarak güneş ışınımının yüzeylere dağılımını belirler. DO modeli ise ışınımın yönsel taşınımını çözerek cam, absorber ve kanal yüzeyleri arasındaki ışınım etkileşiminin daha ayrıntılı incelenmesini sağlar. Bu modellerde camın geçirgenliği ile yüzeylerin soğurma ve yayma katsayılarının doğru tanımlanması gerekmektedir (Hegde et al., 2025; Elakrout et al., 2025). Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı içeren sistemlerde absorber üzerindeki ısı akısı düzgün dağılmadığı için optik analiz veya ışın izleme yöntemi kullanılabilir. Optik modelden elde edilen yerel ısı akısı dağılımının HAD modeline aktarılması, yüksek sıcaklık bölgelerinin ve yoğunlaştırıcının çıkış havası üzerindeki etkisinin daha gerçekçi hesaplanmasını sağlar (Addini & Gandjalikhan Nassab, 2024; S. Singh et al., 2024). Radyasyon modeli araştırmanın amacına göre seçilmelidir. Yalnızca türbülatör geometrilerinin Nusselt sayısı ve termo-hidrolik performans üzerindeki etkisi karşılaştırılacaksa sabit ısı akısı yeterlidir. Gerçek kolektör verimi, günlük çıkış sıcaklığı, yoğunlaştırıcı etkisi veya PCM davranışı incelenecekse güneş konumu, optik özellikler, dış taşınım ve ışınımla ısı kayıpları modele dâhil edilmelidir. Bu nedenle farklı radyasyon ve sınır şartlarıyla elde edilen termal verimler doğrudan karşılaştırılmamalıdır (Ghanem & Bhosale, 2024; Hegde et al., 2025).



Şekil 2. **Radyasyon sınır şartlarının karşılaştırılması:–DO–CPC/PCM. a-Maarof et al., 2024, b-Addini & Gandjalikhan Nassab, 2024, c-Hegde et al., 2025.**

2.4. HAD doğrulama yöntemleri

HAD sonuçlarının güvenilirliği ağ bağımsızlığı, deneysel karşılaştırma ve enerji dengesi kontrolleriyle değerlendirilmektedir. Ağ bağımsızlığı çalışmalarında hücre sayısı kademeli olarak artırılarak ortalama Nusselt sayısı, çıkış sıcaklığı ve basınç düşümündeki değişimin ihmal edilebilir düzeye gelmesi aranmıştır (Haldar et al., 2022; Sastry et al., 2025). Performans artırıcı eleman eklenmeden önce düz kanal sonuçlarının Dittus–Boelter veya Gnielinski Nusselt bağıntıları ile Blasius veya Petukhov sürtünme bağıntılarıyla karşılaştırılması, türbülans modeli ve duvar yaklaşımının temel akışı doğru temsil edip etmediğini gösterir. Deneysel veriye sahip çalışmalarda sayısal sıcaklık, Nusselt sayısı ve basınç düşümü ölçümlerle karşılaştırılmaktadır. Doğrulama hatasının MAE, RMSE veya ortalama bağıl hata ile verilmesi, analizin başarısının farklı çalışma noktalarında değerlendirilmesini kolaylaştırmaktadır (Nidhul et al., 2022; Elakrout et al., 2025).



(a) **(b)**

Şekil 3. **Ağ bağımsızlığı ve CFD–deney doğrulama grafikleri. a-Nidhul et al., 2022, b-Elakrout et al., 2025.**

2.5. Sistem performans artırma yöntemleri ve incelenen parametreler

Çalışmalar genel olarak Nusselt sayısı, ısı taşınım katsayısı, çıkış sıcaklığı ve termal verimde artış; sürtünme faktörü ile basınç düşümünde ise hidrolik kayıp olarak bildirmiştir. Literatürdeki çalışmalarda sistem performansını artıracak yöntemler ve incelenen parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Performans artırma yöntemleri, incelenen parametreler ve temel sonuçlar.

Çalışma	Yöntem	İncelenen ana parametreler	Bildirilen sonuç / eğilim
Haldar et al. (2022)	Dalgalı türbülatör	Re, dalga yüksekliği/adımı	Nu ve THPP ↑; f ve ΔP ↑
Nidhul et al. (2022)	Eğimli ayrık bölme	Re, bağıl yükseklik/adım	Nu, verim ve ekserji ↑; ΔP ↑
Singla et al. (2022)	Tüpte enine türbülatör	Re=2500–8000, P/e=6–12	Nu 1,88 kat; sürtünme 2,89 kat; THPP 1,36
Yadav et al. (2022a–c); H. Singh et al. (2022a, 2022b)	Enine, uçurtma, Y ve farklı türbülatörler	Re, e/D, P/e, açı/biçim	Nu ve h ↑; optimum THPP geometrisi değişken

Çalışma	Yöntem	İncelenen ana parametreler	Bildirilen sonuç / eğilim
Arya et al. (2023)	Minyatür türbülatör + çukur	Re, eleman/çukur biçimi	Birleşik düzen Nu ve THPP'yi geliştirdi
Diganjit ve Gnanasekaran (2023)	Kademeli tel örgü	Debi, gözeneklilik, kademe	Termal verim ↑; kademelendirme ΔP'yi dengeledi
Ben Amara et al. (2023)	Spiral bölmeler	Debi, bölme yüksekliği	Tout ve termal performans ↑; ΔP ↑
Abrofarakh ve Moghadam (2024)	Bölme + metal köpük	Re, gözeneklilik, bölme	Nu ↑; entropi ve ΔP tasarıma bağlı
S. Singh et al. (2024)	Dönen silindir	Re, çap, adım, dönme	Nu ve THPP ↑; mekanik/hidrolik ceza
Ghanem ve Bhosale (2024)	Bal peteği	Re, hücre boyutu/yüksekliği	Nu, THPP ve sıcaklık düzgünlüğü ↑
Maarof et al. (2024)	Üç geçiş + PCM	Debi, geçiş, PCM, zaman	Tout, ηth ve ısıtma süresi ↑
Addini ve Gandjalikhan Nassab (2024)	Dairesel kanal + CPC	Debi, kanal/CPC geometrisi	Tout ve ηth ↑; dağılım iyileşti
Hegde et al. (2025)	Daralan yan duvar	Re=3000–24000, yarıçaplar	ηth %90,62; ηex %4,08; TH verim %85,65
Sastry et al. (2025)	Üçgen türbülatör	Re, e/D, P/e	Isı transferi %141'e kadar ↑
Alqsair (2025)	Chevron oluk	Re, açı, yükseklik, adım	Nu ve ηth ↑; THPP ile optimum
Elakrout et al. (2025)	Büyük V-kanatlar	Debi, sayı, açı, aralık	Tout, h ve ηth ↑; ΔP ↑

2.6. Bulguların birlikte değerlendirilmesi

Çalışmaların ortak sonucu, absorber yakınındaki karışımın artırılmasının Nusselt sayısı ve ısı taşınım katsayısını yükselttiğidir. Ancak kanalın fazla bloke edilmesi basınç düşümünü ve fan gücü ihtiyacını artırmaktadır. Bu nedenle optimum geometri yalnız en yüksek sıcaklık veya termal verime göre değil, Nusselt oranı, sürtünme oranı, THPP ve basınç düşümü birlikte değerlendirilerek seçilmelidir (Singla et al., 2022; Sastry et al., 2025). Çalışmalarda karşılaştırılan geometriler aynı Reynolds sayısı, ısıl sınır şartı, ağ kalitesi ve yakınsama ölçütleri altında çözülmelidir. Aksi durumda gözlenen performans farkı geometriden değil, türbülans modeli veya sınır şartı seçiminden kaynaklanabilir (Ghanem & Bhosale, 2024; Hegde et al., 2025).

2.7. Performans göstergelerinin tasarım kararına dönüştürülmesi

Nusselt sayısı türbülatörün ısı transferine etkisini gösterir ancak kolektörün net enerji üretimini tek başına temsil etmez. Yüksek Nusselt sayısına sahip bir geometri, aşırı basınç kaybı nedeniyle daha fazla fan gücü gerektirebilir. Bu nedenle Nusselt ve sürtünme oranları aynı Reynolds sayısındaki düz kanal sonuçlarıyla birlikte verilmelidir (Haldar et al., 2022; Sastry et al., 2025). Çıkış sıcaklığı kurutma ve hacim ısıtma için önemli olmakla birlikte düşük debide yükselebilir. Faydalı ısı kazancı hesaplanırken sıcaklık farkı ile kütlesel debi birlikte kullanılmalıdır. Çok geçişli sistemlerde günlük faydalı enerji, tek bir anda ölçülen en yüksek sıcaklıktan daha anlamlıdır (Ben Amara et al., 2023; Maarof et al., 2024). Basınç düşümü ve fan gücü işletme maliyetini belirlediğinden, benzer termal artış sağlayan tasarımlar arasında düşük basınç kayıplı seçenek tercih edilmelidir. THPP, sabit pompalama gücü varsayımı altında

kanal geometrilerinin ön seçiminde yararlıdır; ancak gerçek kolektör seçimi termal ve ekserji verimleriyle yeniden değerlendirilmelidir (Singla et al., 2022; Hegde et al., 2025).

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada HGK'larının performansını artırmaya yönelik HAD araştırmaları; kullanılan yöntemler, incelenen parametreler, sayısal modelleme tercihleri ve performans sonuçları açısından değerlendirilmiştir. Türbülatörler, engeller, kanatlar ve gözenekli elemanların termal sınır tabakayı bozarak absorber yüzeyi ile hava arasındaki ısı transferini artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte bu elemanlar akış direncini yükselterek basınç düşümü ve fan gücü ihtiyacında artışa neden olmuştur. Türbülatör yüksekliği, adımı, hücum açısı, geometrisi ve yerleşim sıklığı performansı belirleyen temel parametrelerdir. Türbülatör yüksekliğinin veya eleman sayısının aşırı artırılması ısı transferini geliştirse de akış kesitini daraltarak hidrolik kayıpları büyütmektedir. Bu nedenle en yüksek Nusselt sayısını veya çıkış sıcaklığını veren tasarım her zaman en uygun seçenek değildir. İncelenen çalışmalarda Nusselt sayısının düz kanala göre 1,88 kata, ısı transferindeki artışın ise uygun geometrik koşullarda %141'e kadar ulaşabildiği görülmüştür. Ancak sürtünme direncinin de 2,89 kata kadar yükselmesi, performansın yalnız ısı transferi üzerinden değerlendirilmesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Sistem tasarımlarında Nusselt sayısı, sürtünme faktörü, basınç düşümü ve THPP birlikte değerlendirilmelidir. Çoklu geçiş ve yoğunlaştırıcı kullanılan sistemlerde maksimum çıkış sıcaklığı yerine günlük faydalı enerji, sıcak hava üretim süresi ve ekserji verimi dikkate alınmalıdır. Gözenekli ve hareketli elemanlarda ise fan gücü, mekanik enerji tüketimi ve ek basınç kayıpları net enerji hesabına dâhil edilmelidir.

HAD sonuçlarının doğruluğu; türbülans modeli, duvar yaklaşımı, y+ değeri, ağ çözünürlüğü ve ısıl sınır şartlarından etkilenmektedir. Bu nedenle ağ bağımsızlığı çalışmasında en az bir termal ve bir hidrolik çıktı kontrol edilmelidir. Sayısal sonuçlar mümkünse deneysel verilerle, deneysel verinin bulunmadığı durumlarda ise geçerli Nusselt sayısı ve sürtünme faktörü bağıntılarıyla doğrulanmalıdır.

Sonuç olarak HGK'ları için tek bir performans artırma yöntemi bütün uygulamalarda üstün değildir. Tekrarlı türbülatör geometrilerinde THPP, bölmeli ve gözenekli sistemlerde faydalı ısı kazancı ile fan gücü, PCM içeren sistemlerde ise günlük enerji ve ekserji verimi temel tasarım ölçütü olarak kullanılmalıdır. Gelecek çalışmalarda değişken güneş ışınımı, fan tüketimi, imalat maliyeti, kirlenme, bakım ve ölçek büyütme etkilerinin birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

Kısaltmalar

Kısaltma	Açıklaması
HAD	Hesaplamalı akışkanlar dinamiği
CPC	Bileşik parabolik yoğunlaştırıcı
DO	Ayrık ordinatlar radyasyon modeli
MAE	Ortalama mutlak hata
PCM	Faz değiştiren malzeme
RMSE	Kök ortalama kare hata
RNG	Yeniden normalleştirme grubu
SST	Kayma gerilmesi taşınım modeli
THPP	Termo-hidrolik performans parametresi

Kısaltma Açıklaması

k–ε	Türbülans kinetik enerjisi–yayılım modeli
k–ω	Türbülans kinetik enerjisi–özgül yayılım modeli
HGK	Havalı güneş kolektörü

KAYNAKÇA

Abrofarakh, M., & Moghadam, H. (2024). Investigation of thermal performance and entropy generation rate of evacuated tube collector solar air heater with inserted baffles and metal foam: A CFD approach. *Renewable Energy, 223*, 120022. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120022.

Addini, M. M., & Gandjalikhan Nassab, S. A. (2024). Numerical simulation of an efficient circular solar air heater integrated with a CPC. *Thermal Science and Engineering Progress*, 56, 103092. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.103092.

Alqsair, U. F. (2025). Numerical simulation and optimization of a chevron-type corrugated solar air heater. *Energies, 18*(7), 1821. https://doi.org/10.3390/en18071821.

Arya, N., Goel, V., & Sundén, B. (2023). Solar air heater performance enhancement with differently shaped miniature combined with dimple shaped roughness: CFD and experimental analysis. *Solar Energy, 250*, 33–50. https://doi.org/10.1016/j.solener.2022.12.024.

Ben Amara, W., Bouabidi, A., & Chrigui, M. (2023). Experimental studies and 3D simulations for the investigation of thermal performances of a solar air heater with different spiral-shaped baffles heights. *Journal of Building Engineering, 65*, 105662. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105662.

Diganjit, R., & Gnanasekaran, N. (2023). Thermohydraulic efficiency of a solar air heater in the presence of graded aluminium wire mesh: A combined experimental–numerical study. *Energies, 16*(15), 5633. https://doi.org/10.3390/en16155633.

Elakrout, O., Ghriss, O., Bouabidi, A., & Vanierschot, M. (2025). Experimental and numerical investigation of a novel low-cost solar air heater with large-scale V-shaped fins to enhance heat transfer. *Energies, 18*(20), 5503. https://doi.org/10.3390/en18205503.

Ghanem, S. R., & Bhosale, A. C. (2024). Honeycomb-shaped artificial roughness in solar air heaters: CFD-experimental insights into thermo-hydraulic performance. *Renewable Energy*, 120829. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120829.

Haldar, A., Varshney, L., & Verma, P. (2022). Effect of roughness parameters on performance of solar air heater having artificial wavy roughness using CFD. *Renewable Energy, 184*, 266–279. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.088.

Hegde, A. K., Pai, R., & Karanth, K. V. (2025). Energy and exergetic analysis of a solar air heater for enhanced thermohydraulic performance with side wall treatment. *Energy, 315*, 134333. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.134333.

Maarof, H. A., Madadi Avargani, V., Maree, I. E., & Yaseen, A. H. (2024). CFD modeling of a tubular three-pass solar air heater with phase change material: Investigating heat transfer enhancement and energy efficiency. *Journal of Energy Storage*, 111522. https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111522.

Nidhul, K., Yadav, A. K., Anish, S., & Arunachala, U. C. (2022). Thermo-hydraulic and exergetic performance of a cost-effective solar air heater: CFD and experimental study. *Renewable Energy, 184*, 627–641. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.111.

Sastry, G. R. K., Bharath Raju, L. B., Gugulothu, S. K., Ağbulut, Ü., & Barmavatu, P. (2025). Thermo-hydraulic optimization of rectangular duct solar air heaters using equilateral triangular

roughness on absorber plates. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. https://doi.org/10.1007/s10973-025-14022-0.

Singh, H., Singh, H., Bahuguna, R., & Kishore, C. (2022a). CFD analysis of heat transfer characteristics of rectangular solar air heater with kite shaped roughness. *Materials Today: Proceedings*, *52*, 2014–2025. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.008.

Singh, H., Singh, H., & Kishore, C. (2022b). CFD numerical investigation of heat transfer characteristics of Y-shaped solar air heater. *Materials Today: Proceedings*, *52*, 2003–2013. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.007.

Singla, M., Hans, V. S., & Singh, S. (2022). CFD analysis of rib roughened solar evacuated tube collector for air heating. *Renewable Energy*, *183*, 78–89. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.055

Singh, S., Suman, S., Mitra, S., & Kumar, M. (2024). Thermo-hydraulic performance enhancement of a solar air heater using rotating cylindrical turbulators. *Applied Thermal Engineering*, *236*, 121748. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121748.

Yadav, A. S., Shukla, O. P., Sharma, A., & Khan, I. A. (2022a). CFD analysis of heat transfer performance of ribbed solar air heater. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 1413–1419. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.560.

Yadav, A. S., Dwivedi, M. K., Sharma, A., & Chouksey, V. K. (2022b). CFD based heat transfer correlation for ribbed solar air heater. *Materials Today: Proceedings*, *62*, 1402–1407. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.382.

Yadav, A. S., Alam, T., Gupta, G., Saxena, R., Gupta, N. K., Allamraju, K. V., Kumar, R., Sharma, N., Sharma, A., Pandey, U., & Agrawal, Y. (2022c). A numerical investigation of an artificially roughened solar air heater. *Energies*, *15*(21), 8045. https://doi.org/10.3390/en15218045.

BAĞIRSAK MİKROBİYOTASINDA EN BASKIN TÜR OLAN *FAECALIBACTERIUM PRAUSNITZII'NİN* SAĞLIK VE HASTALIKTAKİ ROLÜ

Öğr. Gör. Dr. Özge ÖZTUNA ARAS
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, İzmir, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0886-4367

ÖZET
İnsan bağırsağı, trilyonlarca mikroorganizmadan oluşan ve konakçının sindirim, metabolizma, bağışıklık ve bariyer fonksiyonlarını doğrudan etkileyen karmaşık bir ekosisteme (mikrobiyota) ev sahipliği yapmaktadır. Sağlıklı erişkin bireylerde bağırsak mikrobiyotasının filum düzeyindeki bileşimi büyük ölçüde Firmicutes (Bacillota) ve Bacteroidetes (Bacteroidota) filumları tarafından domine edilmekte, bu iki filum toplam bakteriyel popülasyonun yaklaşık %90'ını oluşturmaktadır. Ancak tür düzeyinde incelendiğinde, tek başına en yüksek bolluğa sahip mikroorganizmanın Faecalibacterium prausnitzii olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın amacı, güncel literatür ışığında F. prausnitzii'nin bağırsak mikrobiyotasındaki baskınlığını, taksonomik ve fonksiyonel özelliklerini ve sağlık-hastalık ilişkisindeki rolünü derlemektir. Bu amaçla PubMed, ScienceDirect ve Frontiers gibi veri tabanlarında güncel çalışmalar taranmış ve konuyla ilgili bulgular sentezlenmiştir. Derleme sonucunda, F. prausnitzii'nin Firmicutes filumuna ait, Gram-pozitif, spor oluşturmayan, zorunlu anaerobik ve oksijene aşırı duyarlı bir bakteri türü olduğu; sağlıklı bireylerde toplam bakteriyel popülasyonun ortalama %5'ini, bazı bireylerde ise %15'e kadar ulaşan oranını oluşturduğu belirlenmiştir. Bu türün başlıca fonksiyonel önemi, kolonositler için temel enerji kaynağı olan bütirat üretimi ve NF-κB yolağının baskılanması yoluyla sergilediği anti-inflamatuar etkidir. Literatürde, F. prausnitzii bolluğundaki azalmanın başta Crohn hastalığı olmak üzere inflamatuar bağırsak hastalıkları, obezite, tip 2 diyabet ve kolorektal kanser gibi çok sayıda patolojik durumla ilişkilendirildiği görülmüştür. Bu bulgular, F. prausnitzii'nin yalnızca bir bolluk göstergesi olmadığını, aynı zamanda potansiyel bir klinik biyobelirteç ve yeni nesil probiyotik aday türü olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, bağırsak sağlığının korunmasında ve disbiyoz ile ilişkili hastalıkların yönetiminde F. prausnitzii'ye yönelik terapötik stratejilerin geliştirilmesi, gelecekteki araştırmalar için önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: Bağırsak mikrobiyotası, Faecalibacterium prausnitzii, disbiyoz, bütirat, inflamatuar bağırsak hastalığı

THE ROLE OF THE MOST ABUNDANT GUT MICROBIOTA SPECIES, FAECALIBACTERIUM PRAUSNITZII, IN HEALTH AND DISEASE

ABSTRACT
The human gastrointestinal tract harbors a highly complex microbial ecosystem comprising trillions of microorganisms that collectively constitute the gut microbiota. This microbial community plays a fundamental role in host digestion, metabolism, immune regulation, and maintenance of intestinal barrier integrity. In healthy adults, the gut microbiota is predominantly composed of the phyla Firmicutes (Bacillota) and Bacteroidetes (Bacteroidota), which together account for approximately 90% of the total bacterial population. At the species level, however, Faecalibacterium prausnitzii is recognized as the most abundant commensal bacterium in the healthy human gut.

This review aims to provide a comprehensive overview of the taxonomic characteristics, biological functions, and clinical significance of F. prausnitzii based on current scientific evidence. A literature search was conducted using PubMed, ScienceDirect, and Frontiers databases, and relevant studies were critically evaluated and synthesized.
The reviewed literature demonstrates that F. prausnitzii is a Gram-positive, non-spore-forming, obligate anaerobic, and extremely oxygen-sensitive bacterium belonging to the phylum Firmicutes. In healthy individuals, it represents approximately 5% of the total gut microbiota and may account for up to 15% in certain individuals. Its biological importance is primarily attributed to its ability to produce butyrate, the principal energy source for colonocytes, and to exert potent anti-inflammatory effects through inhibition of the nuclear factor kappa B (NF-κB) signaling pathway. Reduced abundance of F. prausnitzii has consistently been associated with several pathological conditions, including inflammatory bowel disease, particularly Crohn's disease, obesity, type 2 diabetes mellitus, and colorectal cancer.
Collectively, these findings indicate that F. prausnitzii is not merely a dominant member of the gut microbiota but also represents a promising clinical biomarker and a potential next-generation probiotic candidate. Targeting F. prausnitzii through microbiota-based therapeutic strategies may contribute to the prevention and management of dysbiosis-related disorders. Further mechanistic and clinical studies are warranted to clarify its therapeutic potential and facilitate its translation into clinical practice.
Keywords: Faecalibacterium prausnitzii; gut microbiota; butyrate; dysbiosis; inflammatory bowel disease; next-generation probiotics

1. INTRODUCTION

The human gut harbors a complex microbial ecosystem comprising approximately 38–39 trillion bacterial cells and around 1,000 distinct bacterial species, a magnitude comparable to the total number of cells in the human body. This ecosystem, now referred to as the "gut microbiota," is regarded as an integral component of host physiology. The gut microbiota participates in numerous critical physiological processes, including the digestion and fermentation of nutrients, regulation of energy metabolism, development and maturation of the immune system, maintenance of intestinal epithelial barrier integrity, and provision of colonization resistance against pathogenic microorganisms. An imbalance in microbiota composition, referred to in the literature as "dysbiosis," has been associated with inflammatory bowel disease (IBD), obesity, type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease, and even certain neurodegenerative and psychiatric disorders.
At the phylum level, the core structure of the gut microbiota in healthy adults is composed of five major bacterial phyla: Firmicutes (now Bacillota), Bacteroidetes (Bacteroidota), Actinobacteria (Actinomycetota), Proteobacteria (Pseudomonadota), and Verrucomicrobia (Verrucomicrobiota). Among these, Firmicutes and Bacteroidetes predominate, together accounting for approximately 90% of the total bacterial population. Although the Firmicutes/Bacteroidetes (F/B) ratio was previously proposed as a predictive biomarker for obesity, subsequent studies have demonstrated substantial variability in this ratio depending on population, geographic region, diet, and sampling method, leading to the conclusion that it is not, by itself, a reliable biomarker.
When this phylum-level picture is examined at the species level, a striking finding emerges: the single bacterial species with the highest abundance in the gut microbiota of healthy adults is Faecalibacterium prausnitzii (Lopez-Siles et al., 2017). Owing to its central role in maintaining gut health, this species has attracted growing scientific interest in recent years (Martín et al., 2023). The aim of the present study is to review, in light of current literature, the dominance of

F. prausnitzii within the gut microbiota, its taxonomic and functional characteristics, and its relationship with health and disease, and to evaluate the clinical potential of this species. For this purpose, databases including PubMed, ScienceDirect, Frontiers, and Nature were searched using the keywords "Faecalibacterium prausnitzii," "gut microbiota," and "dysbiosis"; the resulting findings were systematically synthesized and presented in this full-text paper.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was designed as a narrative literature review. It does not involve any human or animal subjects, and therefore no ethical approval was required. The relevant scientific literature was systematically searched in the PubMed, ScienceDirect, Frontiers, and Nature databases, with the search primarily restricted to publications from the last decade (2013–2023) and particular emphasis placed on more recent studies. The search was conducted using the keywords "Faecalibacterium prausnitzii," "gut microbiota," and "dysbiosis," employed both individually and in combination.

Original research articles, review articles, and case-control studies published in peer-reviewed journals and written in English were considered eligible for inclusion, provided that they addressed the taxonomy, physiological and functional characteristics of *F. prausnitzii,* or its relationship with health and disease. Non-peer-reviewed sources, conference abstracts, and studies not directly related to the subject matter were excluded from the review.

The identified studies were evaluated with respect to study design, principal findings, and clinical relevance. The extracted data were qualitatively synthesized and organized under thematic headings—namely taxonomic and microbiological characteristics, functional mechanisms, and associations with health and disease—in order to provide a comprehensive and up-to-date overview of the current state of knowledge on this topic.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Taxonomically, Faecalibacterium prausnitzii is the sole species of a monotypic genus belonging to the phylum Firmicutes (Bacillota), order Clostridiales, and family Ruminococcaceae. It is a Gram-positive, non-spore-forming, non-motile, rod-shaped, obligate anaerobic bacterium. One of the most notable microbiological characteristics of this species is its extreme sensitivity to oxygen, which technically complicates its isolation and cultivation under laboratory conditions and has, relative to its physiological importance, limited the number of studies conducted on this organism (Lopez-Siles et al., 2017).

In terms of abundance, F. prausnitzii constitutes an average of 5% of the total bacterial population in healthy adults, with this proportion reaching up to 15% in certain individuals. The genus Faecalibacterium has been detected in more than 85% of examined samples and is described as the most dominant genus, typically accounting for 5–10% of the population and, in some individuals, exceeding 10% (Lopez-Siles et al., 2017). A comprehensive genomic analysis conducted by Bai et al. (2023) on 84 different *F. prausnitzii* strains demonstrated that this species harbors considerable genetic diversity and that different strains may display functional differences in carbohydrate metabolism. Similarly, a study published in Nature by Khan et al. (2023) emphasized that the oxygen-adaptation capacity of F. prausnitzii strains is a determining factor in the development of next-generation probiotics.

The health significance of F. prausnitzii is primarily attributed to two key functional mechanisms. The first is butyrate production. This species is one of the leading producers of butyrate, the principal energy source for colonocytes, which plays a key role in maintaining intestinal epithelial integrity, supporting the mucus layer, and sustaining colonocyte energy metabolism. The second core mechanism is its anti-inflammatory effect. In a study conducted by Martín et al. (2015) using a murine model of chronic low-grade inflammation, F. prausnitzii and its culture supernatant were shown to regulate intestinal immune balance by suppressing

the NF-κB signaling pathway and enhancing the release of anti-inflammatory cytokines such as interleukin-10 (IL-10).

A reduction in *F. prausnitzii* abundance has been associated with numerous disease states in the literature. In particular, this species has been reported to be markedly reduced in Crohn's disease, and this reduction has been linked to an increased risk of disease relapse (Lopez-Siles et al., 2017). Demirci et al. (2019) demonstrated a significant decrease in F. prausnitzii levels, along with those of Akkermansia muciniphila, in children with allergic asthma. Studies conducted during the COVID-19 pandemic are also noteworthy: in a review by Demirci (2022), the abundance of F. prausnitzii in the gut microbiota of patients with severe COVID-19 was reported to be significantly lower than in patients with mild disease, suggesting that this species could potentially serve as a biomarker for monitoring disease severity. Furthermore, reduced F. prausnitzii abundance has also been demonstrated in various other clinical conditions, including obesity, type 2 diabetes, colorectal cancer, and cardiovascular disease.

The collective conclusion drawn from these findings is that F. prausnitzii should not be regarded merely as a passive marker of abundance, but rather as a potential clinical biomarker and candidate next-generation probiotic species (He et al., 2021; Martín et al., 2023). Indeed, current research is progressing toward the isolation of different F. prausnitzii strains for therapeutic purposes; however, the culturing difficulties arising from this species' extreme oxygen sensitivity remain a significant technical barrier to its translation into clinical and industrial applications (Khan et al., 2023).

4. CONCLUSION

In summary, although the gut microbiota is characterized at the phylum level by the dominance of Firmicutes and Bacteroidetes, at the species level this picture is singularly dominated by Faecalibacterium prausnitzii. Through its butyrate production and anti-inflammatory properties, this species appears to play a central role in maintaining intestinal homeostasis, while its depletion emerges as a significant finding in the pathogenesis of various diseases, including IBD, asthma, COVID-19, obesity, and colorectal cancer. This review demonstrates that, from a clinical perspective, F. prausnitzii should be regarded not only as a diagnostic biomarker but also as a therapeutic target and a next-generation probiotic candidate.

Future research is expected to focus on developing methods to overcome the culturing difficulties arising from this species' oxygen sensitivity, clarifying the clinical implications of strain-level genetic and functional differences, and increasing the number of randomized controlled clinical trials evaluating F. prausnitzii-based therapeutic and probiotic applications. Progress in these directions is expected to make a substantial contribution to the development of new and effective approaches for the prevention and treatment of dysbiosis-related diseases.

REFERENCES

Bai, Z., Zhang, N., Jin, Y., Chen, L., Mao, Y., Sun, L., Fang, F., Liu, Y., Han, M., & Li, G. (2023). Comprehensive analysis of 84 Faecalibacterium prausnitzii strains uncovers their genetic diversity, functional characteristics, and potential risks. Frontiers in Cellular and Infection Microbiology, 12, Article 919701. https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.919701

Demirci, M. (2022). Could Faecalibacterium prausnitzii amount in the gut microbiota be used to monitor the COVID-19 severity? Turkish Journal of Gastroenterology, 33(10), 899–900. https://doi.org/10.5152/tjg.2022.22100

Demirci, M., Tokman, H. B., Uysal, H. K., Demiryas, S., Karakullukcu, A., Saribas, S., Cokugras, H., & Kocazeybek, B. S. (2019). Reduced Akkermansia muciniphila and Faecalibacterium prausnitzii levels in the gut microbiota of children with allergic asthma. Allergologia et Immunopathologia, 47(4), 365–371. https://doi.org/10.1016/j.aller.2018.12.009

He, X., Zhao, S., & Li, Y. (2021). Faecalibacterium prausnitzii: A next-generation probiotic in gut disease improvement. Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology, 2021, Article 6666114. https://doi.org/10.1155/2021/6666114

Khan, M. T., Dwibedi, C., Sundh, D., Pradhan, M., Kraft, J. D., Caesar, R., Tremaroli, V., Lorentzon, M., & Bäckhed, F. (2023). Synergy and oxygen adaptation for development of next-generation probiotics. Nature, 620(7973), 381–385. https://doi.org/10.1038/s41586-023-06378-w

Lopez-Siles, M., Duncan, S. H., Garcia-Gil, L. J., & Martinez-Medina, M. (2017). Faecalibacterium prausnitzii: From microbiology to diagnostics and prognostics. The ISME Journal, 11(4), 841–852. https://doi.org/10.1038/ismej.2016.176

Martín, R., Miquel, S., Chain, F., Natividad, J. M., Jury, J., Lu, J., Sokol, H., Theodorou, V., Bercik, P., Verdu, E. F., Langella, P., & Bermúdez-Humarán, L. G. (2015). Faecalibacterium prausnitzii prevents physiological damages in a chronic low-grade inflammation murine model. BMC Microbiology, 15, Article 67. https://doi.org/10.1186/s12866-015-0400-1

Martín, R., Rios-Covian, D., Huillet, E., Auger, S., Khazal, S., Bermúdez-Humarán, L. G., Sokol, H., Chatel, J.-M., & Langella, P. (2023). Faecalibacterium: A bacterial genus with promising human health applications. FEMS Microbiology Reviews, 47(4), Article fuad039. https://doi.org/10.1093/femsre/fuad039

LISTERIA MONOCYTOGENES'İN GIDA İŞLEME ORTAMLARINDA BİYOFİLM OLUŞTURMA MEKANİZMALARI VE KONTROL STRATEJİLERİ

Öğr. Gör. Dr. Özge ÖZTUNA ARAS
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Laboratuvar Teknikleri Programı, İzmir, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0886-4367

ÖZET

Listeria monocytogenes, başta hazır tüketime uygun (RTE) gıdalar olmak üzere çeşitli gıda gruplarında ciddi kontaminasyon riski oluşturan, gıda kaynaklı enfeksiyonların en önemli fırsatçı patojenlerinden biri olarak halk sağlığı açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bakterinin gıda işleme tesislerinde uzun süre canlılığını koruyabilmesindeki temel etmenlerden biri, farklı yüzeylere tutunarak biyofilm oluşturabilme kapasitesidir. Ekstraselüler polimerik maddeler (EPS) ile çevrili üç boyutlu mikrobiyal topluluklar hâlinde organize olan biyofilm yapısı, mikroorganizmaların çevresel strese, dezenfektanlara ve antimikrobiyal ajanlara karşı direncini belirgin şekilde artırmaktadır. Bu durum, rutin temizlik ve sanitasyon uygulamalarına rağmen L. monocytogenes'in üretim hatlarında kalıcılığını sürdürmesine ve çapraz kontaminasyona zemin hazırlamasına yol açmaktadır.

Bu derlemenin amacı, güncel literatür ışığında L. monocytogenes'in gıda işleme ortamlarında biyofilm oluşturma mekanizmalarını, biyofilm gelişimini etkileyen çevresel faktörleri ve biyofilm kontrolünde kullanılan geleneksel ve yenilikçi stratejileri bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Bu amaçla veri tabanlarında yer alan güncel araştırma ve derleme makaleleri sistematik olarak taranmış, elde edilen bulgular karşılaştırmalı olarak sentezlenmiştir.

İncelenen literatür, biyofilm oluşumunun yüzeye ilk tutunma, geri dönüşümsüz adezyon, mikrokoloni gelişimi, olgun biyofilm oluşumu ve biyofilmden ayrılma aşamalarından oluşan dinamik ve çok basamaklı bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Paslanmaz çelik, polietilen, polipropilen ve kauçuk gibi gıda endüstrisinde yaygın olarak kullanılan yüzey materyalleri, biyofilm gelişimi için elverişli bir zemin oluşturmaktadır. Sıcaklık, pH, besin içeriği, yüzey özellikleri ve nem gibi çevresel faktörlerin biyofilm oluşumu üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir. Bunun yanı sıra prfA, flaA, sigB, agr ve luxS gibi genlerin biyofilm gelişimi ve stres adaptasyonunda kritik rol oynadığı gösterilmiştir. Biyofilm içerisindeki bakterilerin planktonik hücrelere kıyasla dezenfektanlara ve antibiyotiklere karşı belirgin şekilde daha yüksek tolerans gösterdiği, bu nedenle geleneksel sanitasyon uygulamalarının çoğu zaman yetersiz kaldığı vurgulanmaktadır.

Son yıllarda enzimatik biyofilm parçalayıcılar, bakteriyofaj bazlı uygulamalar, doğal antimikrobiyal bileşikler, bitki kökenli biyoaktif maddeler, nanopartikül temelli dezenfektanlar, fotodinamik inaktivasyon yöntemleri ve plazma teknolojileri gibi yenilikçi yaklaşımlar, biyofilm kontrolünde umut verici sonuçlar sunmaktadır. Ayrıca hızlı moleküler tanı yöntemleri ile yapay zekâ destekli görüntü analiz sistemlerinin, biyofilm oluşumunun erken evrede saptanmasına önemli katkılar sağlayabileceği bildirilmektedir.

Sonuç olarak, Listeria monocytogenes biyofilmleri, gıda işleme tesislerinde kalıcı kontaminasyonun başlıca nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Biyofilm oluşum mekanizmalarının moleküler düzeyde ayrıntılı olarak aydınlatılması ve yenilikçi kontrol stratejilerinin endüstriyel sanitasyon programlarına entegre edilmesi, gıda güvenliğinin sağlanması ve listeriyozis vakalarının azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmaların, biyofilm oluşumunu moleküler düzeyde hedef alan yeni kontrol

yöntemlerine ve sürdürülebilir, çevre dostu sanitasyon teknolojilerine odaklanması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Listeria monocytogenes, biyofilm, gıda mikrobiyolojisi, gıda güvenliği, sanitasyon, biyofilm kontrolü.

BIOFILM FORMATION MECHANISMS AND CONTROL STRATEGIES OF LISTERIA MONOCYTOGENES IN FOOD PROCESSING ENVIRONMENTS

ABSTRACT

Listeria monocytogenes ranks among the most consequential opportunistic foodborne pathogens, and its ability to contaminate ready-to-eat (RTE) foods makes it a serious public health concern. Central to its long-term survival within food processing facilities is a remarkable capacity to attach to a wide range of surfaces and establish biofilms. These biofilms take the form of structured microbial communities encased in a self-secreted extracellular polymeric substance (EPS) matrix, a feature that markedly boosts bacterial resistance to environmental stress, disinfectants, and antimicrobial agents. As a result, L. monocytogenes is able to remain established in production settings even after routine cleaning and sanitation, heightening the likelihood of cross-contamination and subsequent foodborne outbreaks.

This review sets out to critically assess how L. monocytogenes forms biofilms in food processing environments, the environmental drivers behind that development, and the range of conventional and emerging control strategies, drawing on the current body of scientific literature. To this end, recent original research and review articles were systematically screened and the resulting evidence synthesized comparatively.

The literature surveyed points to biofilm formation as a dynamic process unfolding across several stages: initial surface attachment, irreversible adhesion, microcolony formation, biofilm maturation, and eventual cell dispersion. Materials widely used across the food industry—stainless steel, polyethylene, polypropylene, and rubber among them—offer surfaces well suited to biofilm growth. Factors such as temperature, pH, nutrient levels, surface texture, and moisture have all been shown to shape biofilm formation in decisive ways, while genes such as prfA, flaA, sigB, agr, and luxS emerge as key regulators of both biofilm development and stress adaptation. Cells embedded within biofilms display substantially greater tolerance to disinfectants and antimicrobial agents than their free-floating (planktonic) counterparts, a resilience that often undermines the effectiveness of standard sanitation protocols.

A number of promising avenues for biofilm control have surfaced in recent studies, among them enzymatic biofilm-disrupting agents, bacteriophage-based applications, natural antimicrobial compounds, plant-derived bioactive substances, nanoparticle-based disinfectants, antimicrobial photodynamic inactivation, and cold plasma treatment. Rapid molecular detection methods paired with AI-assisted imaging systems have likewise proven valuable for catching and tracking biofilm formation at an early stage within processing environments.

Taken together, these findings underscore that Listeria monocytogenes biofilms remain a leading cause of persistent contamination in food processing facilities. Building a detailed molecular picture of how these biofilms form—and folding innovative control strategies into industrial sanitation programs—will be essential to strengthening food safety and cutting listeriosis rates. Future work would do well to prioritize molecularly targeted control approaches alongside sustainable, environmentally sound sanitation technologies suited to industrial application.

Keywords: Listeria monocytogenes, biofilm, food microbiology, food safety, sanitation, biofilm control

1. INTRODUCTION

Listeria monocytogenes is a Gram-positive, rod-shaped, facultatively anaerobic, and psychrotrophic bacterium that can be found in a wide variety of natural environments, including soil, water, plant residues, and animal feces. This bacterium exhibits broad stress tolerance; it can grow at high salt concentrations (up to 13% NaCl), under acidic and alkaline conditions, and even at temperatures as low as -2 °C (Lee et al., 2019). This remarkable adaptive capacity makes L. monocytogenes a persistent source of contamination, particularly in cold-chain-produced, ready-to-eat (RTE) foods. Although listeriosis, the disease caused by this pathogen, is rare, it poses a serious public health threat—especially for the elderly, pregnant women, newborns, and immunocompromised individuals—due to its high mortality rate of 20-30% (Finn et al., 2023).

One of the most important factors enabling L. monocytogenes to persist in food processing facilities for months or even years is its ability to adhere to inert surfaces and form biofilms. Biofilms are three-dimensional, structured microbial communities in which bacterial cells are embedded within a self-produced extracellular polymeric substance (EPS) matrix. This structure protects cells against environmental stresses such as desiccation, nutrient scarcity, disinfectants, and antimicrobial agents, and confers markedly greater resistance compared with planktonic (free-floating) cells (Møretrø & Langsrud, 2004; Rodríguez-López et al., 2018). As a result, routine cleaning and sanitation practices are frequently insufficient to fully eliminate biofilm-embedded L. monocytogenes populations, giving rise to persistent “ecological niches” within processing lines and creating conditions favorable for cross-contamination of final products (Gray et al., 2018).

Biofilm formation is a dynamic, multistage process that begins with reversible attachment to a surface, followed by irreversible adhesion, microcolony development, formation of a mature biofilm architecture, and finally cell dispersion from the biofilm. Each stage of this process is tightly coordinated by numerous genetic and physiological mechanisms, including flagellar motility, surface adhesins, cell-to-cell communication (quorum sensing) systems, and the general stress response (Lemon et al., 2010; Rieu et al., 2007). The aim of this study is to review, in light of current literature, the biofilm formation mechanisms of L. monocytogenes in food processing environments, the environmental factors influencing biofilm development, the principal genes involved in biofilm formation, and the conventional and innovative strategies used for biofilm control, and to evaluate the scientific and industrial potential in this field.

2. MATERIALS AND METHODS

This study is a narrative literature review based on a synthesis of scientific findings regarding the biofilm formation mechanisms of Listeria monocytogenes in food processing environments, the environmental and genetic factors influencing biofilm development, and current strategies used for biofilm control. The literature search was conducted using databases such as PubMed, ScienceDirect, Frontiers, and MDPI (Foods, Microorganisms); the keywords "Listeria monocytogenes," "biofilm," "food processing environment," "biofilm control," "disinfectant resistance," and "bacteriophage" were used individually and in combination with Boolean operators .

The search included original research and review articles published in peer-reviewed scientific journals, accessible in English, and directly related to the biofilm formation mechanisms of L. monocytogenes, the environmental and genetic factors influencing biofilm development, or biofilm control strategies. Publications not directly related to the topic, those whose full text could not be accessed, and those containing duplicate content were excluded from the evaluation. The retrieved publications were first screened at the title and abstract level, and the full texts of relevant studies were then read and included in the evaluation.

Findings obtained from the evaluated studies were systematically synthesized under thematic headings, namely: stages of biofilm formation, the effect of surface materials, environmental factors influencing biofilm development, principal genes involved in biofilm formation, resistance mechanisms of biofilm cells to disinfectants and antimicrobial agents, and conventional and innovative control strategies. This study is not a systematic review based on a standard reporting protocol such as PRISMA, but was designed as a narrative review in which the current literature is critically evaluated.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Stages of Biofilm Formation

The reviewed literature indicates that L. monocytogenes biofilm formation consists of five main stages: (i) initial reversible attachment to the surface, (ii) irreversible adhesion, (iii) microcolony development, (iv) formation of a mature biofilm architecture enclosed by the EPS matrix, and (v) dispersion of cells from the biofilm to colonize new surfaces. Flagellar motility plays a critical role, particularly during the initial attachment and microcolony formation stages; inactivation of the flaA gene severely impairs the initial adhesion of cells to the surface and subsequent mature biofilm development. The EPS matrix has been reported to have a structure rich in proteins and nucleic acids, whereas the L. monocytogenes genome contains a limited number of genes encoding typical polysaccharide biosynthesis enzymes (Colagiorgi et al., 2016). This suggests that extracellular DNA and proteins may play a more decisive role than classical exopolysaccharides in maintaining the integrity of the matrix.

3.2. Effect of Surface Materials

Surface materials commonly used in the food industry, such as stainless steel, polyethylene, polypropylene, and rubber, provide a favorable substrate for L. monocytogenes attachment and biofilm development due to their differing hydrophobicity and roughness characteristics. Hard-to-reach points such as cracks, weld seams, gaskets, and floor drainage systems in processing equipment are, in particular, identified as high-risk areas for biofilm development (Mazaheri et al., 2021). Poor equipment design, inadequate facility layout, and worn or damaged equipment surfaces can lead to the formation of persistent "Listeria hot spots" where conventional cleaning and disinfection procedures remain insufficient (Gray et al., 2018).

3.3. Environmental Factors Influencing Biofilm Development

Environmental factors such as temperature, pH, nutrient content, salt concentration, and moisture have been reported to have a decisive effect on biofilm formation. A comprehensive pan-genome study showed that the amount of sessile biomass varies according to growth conditions, lineage, serotype, and genotype, and that a saline NaCl concentration of around 0.85 in particular markedly increased biofilm formation in both nutrient-rich and nutrient-poor environments. It has also been reported that sudden nutrient deprivation increases cellular adhesion, whereas prolonged nutrient restriction impairs biofilm maturation, while nutrient restriction combined with added salt markedly stimulates biofilm formation (Lee et al., 2019). These findings indicate that the variable and often stressful microenvironments found in food processing settings may enhance the tendency of L. monocytogenes to form biofilms.

3.4. Genetic Regulation Involved in Biofilm Formation

Numerous genes play a critical role in biofilm development and stress adaptation. Surprisingly, prfA — the master regulator of virulence — was found for the first time to also exert a marked positive effect on extracellular biofilm formation, with prfA deletion mutants showing a significant defect in surface-attached biofilm formation (Lemon et al., 2010). The agr system, which mediates cell-to-cell communication, plays an equally important role: the agr locus displays a differential expression pattern that influences adhesion and biofilm formation (Rieu et al., 2007). Biofilm-forming capacity is also affected by mutations in luxS, the gene

responsible for producing the autoinducer-2 (AI-2) signaling molecule (Sela et al., 2006). sigB, the alternative sigma factor governing the general stress response, and flaA, which drives flagellar motility, contribute further regulatory functions at different stages of biofilm development. Together, these genes form an overlapping, interacting regulatory network, pointing to biofilm formation as a process under multilayered genetic control rather than the product of any single gene.

3.5. Resistance to Disinfectants and Antimicrobial Agents

The literature consistently reports that L. monocytogenes cells within biofilms exhibit markedly higher tolerance to disinfectants and antimicrobial agents than planktonic cells. This increased resistance is considered to stem from multiple mechanisms, including physical restriction of disinfectant diffusion to cells by the EPS matrix, the acquisition of a metabolically slowed "persister" phenotype by some cells within the biofilm, and the more frequent occurrence within biofilm populations of resistance genes against biocides such as quaternary ammonium compounds (e.g., qacH, bcrABC) (Rodríguez-López et al., 2018). This situation frequently renders routine sanitation practices insufficient and allows L. monocytogenes to persist in production lines for months or even years (Finn et al., 2023).

3.6. Conventional and Innovative Strategies for Biofilm Control

The inadequacy of classical alkaline and chlorine-based disinfectants in fully eliminating biofilm-embedded L. monocytogenes has, in recent years, prompted the development of numerous alternative and complementary control strategies. Enzymatic biofilm-disrupting agents represent one such approach; DNase I treatment has been shown to reduce cell attachment to surfaces during biofilm formation by more than half, while proteinase K treatment both completely prevented biofilm formation and rapidly and completely dispersed pre-existing mature biofilms (Nguyen & Burrows, 2014).

Bacteriophage-based applications are another promising strategy. Lytic bacteriophages and the endolysin enzymes derived from them have been reported to effectively reduce both L. monocytogenes and related species, such as Listeria innocua, that contribute to biofilm formation on food products and production surfaces. Commercially available phages offer a practical biocontrol tool that can be integrated into food safety programs. In addition to bacteriophages, bacteriocins, lactic acid bacteria, plant-derived essential oils, and competitive exclusion applications are also among the biological control strategies employed (Gray et al., 2018).

Nanotechnology-based approaches are also attracting growing interest in biofilm control. Surface coatings containing silver and zinc oxide nanoparticles have been shown to significantly reduce L. monocytogenes biofilm formation on food-contact surfaces, with this effect varying according to nanoparticle concentration (Fontecha-Umaña et al., 2020). Cold atmospheric plasma (CAP) technology is another innovative physical method being investigated for biofilm inactivation; air- or helium-based plasma systems have been reported to achieve marked log reductions in both single-species and multispecies L. monocytogenes biofilms through reactive species generated via surface barrier discharge (Govaert et al., 2020). In addition, photodynamic inactivation methods and natural plant-derived bioactive compounds continue to be investigated as complementary strategies targeting the biofilm matrix (Rodríguez-López et al., 2018).

3.7. Early Detection: Rapid Molecular Methods and Artificial Intelligence-Assisted Imaging

Early-stage detection of biofilm-associated contamination is of decisive importance for the effectiveness of control strategies. Engineered "reporter" bacteriophages developed for this purpose can rapidly and specifically detect viable L. monocytogenes cells through

bioluminescence-based signals (Meile et al., 2020). In addition, artificial intelligence-assisted optical imaging systems have been shown to enable the classification of foodborne bacteria at the microcolony stage within a few hours and with high accuracy, an approach reported to provide substantial time savings compared with classical culture-based methods (Ma et al., 2022). Such rapid molecular diagnostic and image analysis systems are considered capable of making important contributions to the early-stage monitoring of biofilm development in food processing facilities and to the timely implementation of targeted sanitation interventions.

4. CONCLUSION

In summary, the ability of Listeria monocytogenes to form biofilms in food processing environments is one of the principal reasons for this pathogen's long-term persistence in production facilities and for recurrent cross-contamination events. Biofilm formation is a multistage process extending from initial surface attachment to mature biofilm architecture and cell dispersion, and is governed by the coordinated activity of genes such as prfA, flaA, sigB, agr, and luxS, together with environmental factors such as temperature, pH, salt, and nutrient content. The increased tolerance exhibited by biofilm-embedded cells to disinfectants and antimicrobial agents frequently renders conventional sanitation practices insufficient.

This review demonstrates that innovative strategies—including enzymatic biofilm-disrupting agents, bacteriophage- and endolysin-based applications, natural antimicrobial compounds, nanoparticle-based disinfectants, and cold plasma technologies—offer promising alternatives that complement conventional methods. However, most of these methods have so far only been evaluated at the laboratory scale, and their industrial-scale applicability, cost-effectiveness, and compliance with food safety regulations need to be further supported by advanced clinical and field studies.

Future research is expected to focus on developing next-generation control methods that target biofilm formation at the molecular level, achieving a better understanding of multispecies biofilm dynamics, integrating rapid molecular diagnostic and artificial intelligence-assisted imaging systems into industrial monitoring programs, and developing sustainable, environmentally friendly sanitation technologies. Steps taken in this direction are considered likely to make important contributions to ensuring food safety and reducing the incidence of listeriosis.

REFERENCES

Colagiorgi, A., Di Ciccio, P., Zanardi, E., Ghidini, S., & Ianieri, A. (2016). A look inside the Listeria monocytogenes biofilms extracellular matrix. Microorganisms, 4(3), Article 22. https://doi.org/10.3390/microorganisms4030022

Finn, L., Onyeaka, H., & O'Neill, S. (2023). Listeria monocytogenes biofilms in food-associated environments: A persistent enigma. Foods, 12(18), Article 3339. https://doi.org/10.3390/foods12183339

Fontecha-Umaña, F., Ríos-Castillo, A. G., Ripolles-Avila, C., & Rodríguez-Jerez, J. J. (2020). Antimicrobial activity and prevention of bacterial biofilm formation of silver and zinc oxide nanoparticle-containing polyester surfaces at various concentrations for use in the food industry. Foods, 9(4), Article 442. https://doi.org/10.3390/foods9040442

Govaert, M., Smet, C., Graeffe, A., Walsh, J. L., & Van Impe, J. F. M. (2020). Inactivation of L. monocytogenes and S. Typhimurium biofilms by means of an air-based cold atmospheric plasma (CAP) system. Foods, 9(2), Article 157. https://doi.org/10.3390/foods9020157

Gray, J. A., Chandry, P. S., Kaur, M., Kocharunchitt, C., Bowman, J. P., & Fox, E. M. (2018). Novel biocontrol methods for Listeria monocytogenes biofilms in food production facilities. Frontiers in Microbiology, 9, Article 605. https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00605

Lee, B.-H., Cole, S., Badel-Berchoux, S., Guillier, L., Felix, B., Krezdorn, N., Hébraud, M., Bernardi, T., Sultan, I., & Piveteau, P. (2019). Biofilm formation of Listeria monocytogenes strains under food processing environments and pan-genome-wide association study. Frontiers in Microbiology, 10, Article 2698. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02698

Lemon, K. P., Freitag, N. E., & Kolter, R. (2010). The virulence regulator PrfA promotes biofilm formation by Listeria monocytogenes. Journal of Bacteriology, 192(15), 3969–3976. https://doi.org/10.1128/JB.00179-10

Ma, L., Yi, J., Wisuthiphaet, N., Earles, M., & Nitin, N. (2022). Accelerating the detection of bacteria in food using artificial intelligence and optical imaging. Applied and Environmental Microbiology, 89(1), Article e01828-22. https://doi.org/10.1128/aem.01828-22

Mazaheri, T., Cervantes-Huamán, B. R. H., Bermúdez-Capdevila, M., Ripolles-Avila, C., & Rodríguez-Jerez, J. J. (2021). Listeria monocytogenes biofilms in the food industry: Is the current hygiene program sufficient to combat the persistence of the pathogen? Microorganisms, 9(1), Article 181. https://doi.org/10.3390/microorganisms9010181

Meile, S., Sarbach, A., Du, J., Schuppler, M., Saez, C., Loessner, M. J., & Kilcher, S. (2020). Engineered reporter phages for rapid bioluminescence-based detection and differentiation of viable Listeria cells. Applied and Environmental Microbiology, 86(11), Article e00442-20. https://doi.org/10.1128/AEM.00442-20

Møretrø, T., & Langsrud, S. (2004). Listeria monocytogenes: Biofilm formation and persistence in food-processing environments. Biofilms, 1(2), 107–121. https://doi.org/10.1017/S1479050504001322

Nguyen, U. T., & Burrows, L. L. (2014). DNase I and proteinase K impair Listeria monocytogenes biofilm formation and induce dispersal of pre-existing biofilms. International Journal of Food Microbiology, 187, 26–32. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.06.025

Rieu, A., Weidmann, S., Garmyn, D., Piveteau, P., & Guzzo, J. (2007). Agr system of Listeria monocytogenes EGD-e: Role in adherence and differential expression pattern. Applied and Environmental Microbiology, 73(19), 6125–6133. https://doi.org/10.1128/AEM.00608-07

Rodríguez-López, P., Rodríguez-Herrera, J. J., Vázquez-Sánchez, D., & López Cabo, M. (2018). Current knowledge on Listeria monocytogenes biofilms in food-related environments: Incidence, resistance to biocides, ecology and biocontrol. Foods, 7(6), Article 85. https://doi.org/10.3390/foods7060085

Sela, S., Frank, S., Belausov, E., & Pinto, R. (2006). A mutation in the luxS gene influences Listeria monocytogenes biofilm formation. Applied and Environmental Microbiology, 72(8), 5653–5658. https://doi.org/10.1128/AEM.00048-06

ÖZ-BELİRLEME KURAMI ÇERÇEVESİNDE E-SPORCULARIN ÜÇ TEMEL PSİKOLOJİK İHTİYACI VE MOTİVASYONUNU ETKİLEYEN FAKTÖRLER: BİR LİTERATÜR DERLEMESİ

Murat BOZCA
Adıyaman University, Faculty of Sport Scıences, Adıyaman/TURKIYE
ORCID ID: https://orcid.org/ 0009-0009-1624-0408
Doç. Dr. Esra BAYRAK AYAŞ
Adıyaman University, Faculty of Sport Scıences, Adıyaman/TURKIYE
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8153-2313

ÖZET
Bu çalışmanın amacı e-sporcuların motivasyon düzeylerini ve zihinsel performanslarını etkileyen faktörleri Öz Belirleme Kuramına (Self-Determination Theory) ait temel psikolojik ihtiyaçlar çerçevesinde inceleyip güncel literatürü derleyip sentezlemektir. Dijital oyunlar ekosisteminde e-sporcuların motivasyon düzeylerinin sadece yüksek turnuva ödülleri, sponsorluklar ve maaşlar gibi dışsal güdülenme giderilemeyeceği ortaya konulmuştur, Literatür incelendiğinde temel ihtiyaçlar olan özerklik(draft ve taktiksel karar süreçlerine katılım ve karar verme), yetkinlik(analist ve koçlardan alınan yapıcı performans geri bildirimleri ve dönütler) ve ilişkili olma(takım içinde toksik olmayan güvenli iletişim iklimi ve sosyal ilişkiler) ihtiyaçlarının karşılanması ile birlikte içsel motivasyon yoluyla da doyurulacağını ve başarıya ulaştırabileceğini göstermiştir. Bu gereksinimlerin eksik kalması veya karşılanmadığı durumlarda ise tükenmişlik hissine kapılacağı, performans düşüşü yaşayacağı ve amotivasyona sürüklenerek kariyerlerine ara verebileceği veya son verebilecekleri görülmüştür. Sonuç olarak, e-spor ekosisteminin kalıcılığı ve sürekliliğinin sağlanabilmesi için bireylerin temel gereksinimlerinin karşılanması, onların bireysel kararlarını almasını sağlanması, yeterlik göstergesi olarak geri dönütlerin verilmesi ve aidiyet hissini yaşayabilmeleri için sosyal ilişkiler kurmaları konusunda yardımcı olunması gerektiği, e-spor kulüplerinin otokratik tutumlar yerine özerkliği destekleyici ve liderlik stillerini benimsemeleri, alanında uzman olan spor/e-spor psikologları ile iş birlikçi çalışmalar yapması ve motivasyon kaynaklarını besleyecek çözümlerle öne çıkmaları ve geçmişten bu yana süre gelen teknolojik gelişmelerinde takip edilmesi yapılan çalışmaların sadece literatürde kalmaması ve deney performans ürünlerinin de ortaya konması hedeflenmekte ve önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: E-Spor, Öz Belirleme Kuramı, İçsel Motivasyon, Temel Psikolojik İhtiyaçlar, Spor Psikolojisi

FACTORS AFFECTING THE THREE BASIC PSYCHOLOGICAL NEEDS AND MOTIVATION OF E-ATHLETES WITHIN THE FRAMEWORK OF SELF-DETERMINATION THEORY: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT
The purpose of this study is to examine the factors influencing esports athletes' motivation levels and mental performance within the framework of the fundamental psychological needs outlined in Self-Determination Theory, and to review and synthesize the current literature. It has been demonstrated that the motivation levels of esports athletes in the digital gaming ecosystem cannot be satisfied solely by external motivators such as high tournament prizes, sponsorships, and salaries. A review of the literature reveals that fundamental needs—such as autonomy (participation in draft and tactical decision-making processes), competence

(constructive performance feedback and input from analysts and coaches), and relatedness (a safe, non-toxic communication environment and social relationships within the team) must be met for e-athletes to achieve success through intrinsic motivation. Conversely, when these needs are unmet or neglected, players may experience burnout, a decline in performance, and a loss of motivation, potentially leading them to take a break from or even end their careers. In conclusion, it has been established that to ensure the sustainability and continuity of the esports ecosystem, individuals' basic needs must be met; they must be empowered to make their own decisions; feedback must be provided as an indicator of competence; and they must be supported in building social relationships to foster a sense of belonging. Furthermore, it has been reported that it would be beneficial for esports clubs to adopt leadership styles that support autonomy rather than authoritarian attitudes, to collaborate with sports/esports psychologists who are experts in the field, and to stand out with solutions that nurture sources of motivation. Finally, it is recommended that ongoing technological advancements be closely monitored to ensure that research does not remain confined to the literature alone, but rather leads to the development of practical performance-enhancing products.
Keywords: e-sports, Self-Determination Theory, Inner Motivation, Basic Phycological Needs, Sports Psychology

Giriş

Günümüzde sanal video oyunları çok geniş alanlara hizmet vermekte olup ve insanları ortak bir alanda bir araya getirmektedir. Zaman geçtikçe kapsadığı alanı genişleten bu alan eğlence unsuru olmakla birlikte akademi ve spor gibi birbirinden farklı alanlarda hizmet sunmaya başlamıştır. 2000'li yıllardan sonra ise gençler arasında video oyunu oynama davranışı oldukça yaygınlaşmıştır(Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022; Willoughby, 2008). Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) çevresinde şekillenen bu yaygınlaşma, toplumsal yaşamın pek çok alanında olduğu gibi spor kültürünü de kaçınılmaz bir değişime ve yenileşmeye zorlamıştır. Bu bağlamda, dijital oyunların belirli standartlar çerçevesinde profesyonelleşmesi ve gelişmesi, bu faaliyetlerin 'elektronik spor' (e-spor) olarak literatürde yer bulmasını sağlamıştır (Bozca vd., 2026). Buna ek olarak alanyazında video oyunlarındaki motivasyon kaynaklarını, bu video oyunlarının olumlu ve olumsuz sonuçlarını tartışan çalışmaların hızlandığı görülmektedir (Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022). Video oyunları ve e-sporun hızla artan yaygınlaşması karşısında bu oyunların ve sporcuların özelliklerini ve psikolojik olarak Öz Belirleme Kuramı (ÖBK) çerçevesinde inceleyen pek az çalışma bulunmaktadır. Ya da öz belirleme kuramı açısından video oyunları ve e-sporun genel özelliklerinden bahsedilmektedir(Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022; Uysal & Yildirim, 2016). Bireylerin Dijital oyunlara karşı tutumları, içsel olarak kafa dağıtma arzusu, eğlence arayışı, sosyal çevreye karşı olan bireysel tutumlar, var olan ortamdan uzaklaşma isteği, gerçek hayatta sergileyemediği yeteneklerini ve davranışlarını sergileyebilme avantajı. Ayrıca, bireylerin boş vakitleri değerlendirme ve oyunlarda bir üst seviyeye atlama, atlanılan her seviye için bireyin girdiği merak duygusu ve mutluluğunun yanında; oyunlardaki dışsal ödülleri (kupa, güç, vb..) kazanma çabası, günlük hayatta konuşulan konuların oyunlarla ilgili olması, bulunan her fırsatta dijital oyunlara yönelme sebepleri arasında gösterilebilir(Tekkurşun Demir & Mutlu Bozkurt, 2019). Bu çalışmanın kapsamında ise video oynayanların psikolojik ihtiyaçlarını ve motivasyonel süreçleri öz belirleme çerçevesinde inceleyerek, içsel motivasyon düzeylerini etkileyen faktörlerin neler olduğunu belirlemek, psikolojik olarak davranış değişimine katkılarından bahsederek ulusal ve uluslararası alanyazına önemli katkı sağlamaya çalışmaktır. Öz-belirleme kuramı içerisinde, özerklik (autonomy), yeterlik (competence) ve ilişkili olma (relatedness) olarak tanımlanan üç

temel psikolojik ihtiyaca yer verilmektedir. Kuramın içerisinde yer alan temel psikolojik ihtiyaçların evrensel olduğu kabul edilmektedir (Cihangir Çankaya, 2009; Deci & Ryan, 1985).
Araştırma Yöntemi
Model: Nitel araştırma yaklaşımına dayalı Tematik Derleme.
Amaç: E-spor motivasyonu üzerine yapılmış mevcut ulusal ve uluslararası akademik çalışmaları bir araya getirerek, Öz-Belirleme Kuramı süzgecinden geçirmek ve bütüncül bir teorik çerçeve sunmak.
Veri Kaynakları ve Veri Toplama (Arama Stratejisi)
Araştırmanın verileri, spor bilimleri ve psikoloji alanında indekslenen dijital veri tabanlarından elde edilmiştir:
Veri Tabanları: Web of Science, PubMed, Google Akademik ve DergiPark.

Araştırma ve Bulgular
Motivasyon ve Öz belirleme Kuramı
Güdülenmek(motive olmak) , herhangi bir davranış sergilemek için o davranışın gerektirdiği hareketleri yapmak demektir, bu davranışı sergilemek için herhangi bir faktöre maruz kalmamış veya içsel olarak bu davranışı hissetmeyen kişi güdülenmemiş sayılmaktadır, bir amaca yönelik olarak davranış sergileyen veya harekete geçen bir kişi ise güdülenmiş(motive olmuş) olarak kabul görmektedir. Motivasyon bireysel bir yapıda olduğu için düzey olarak bireyden bireye farklılık gösterebilmektedir. Bireylerin yaşadığı bu farklılık düzeyleri sadece motivasyon derecesi açısından değildir. Bireylerin mevcut motivasyon kaynakları açısından da farklılık gösterebileceklerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.
Herhangi bir davranışa yönlendiren, nedenlere ve hedeflere yönelik iki tür motivasyon kaynağı bulunmaktadır. Bunlardan ilki bir şeyi doğası gereği merak uyandıran veya keyif verdiği için yapmayı ifade eden "içsel motivasyon", diğeri ise ayrılabilir bir sonuca yol açtığı için bir şeyi yapmayı ifade eden "dışsal motivasyon "dur (Aral vd., 2022; Ryan & Deci, 2000a).
Öz Belirleme Kuramı, kişilerin güdülenme düzeylerine ve kişilik özelliklerine vurgu yapan bir kuram olup bireysel gelişim ve kişilik özelliklerinde içsel kaynakların önemine değinmektedir. Birey bir davranışı sergileyebilmek için baskı altında kaldığı zaman ise dışsal motivasyon ortaya çıkmaktadır çünkü dışsal motivasyon dışarıdan gelen ödüller ve cezalarla bağlantılıdır. Fakat Öz Belirleme Kuramına göre, kontrollü ve baskı altında gerçekleşen dışsal faktörler içselleştirme ve bütünleştirme süreçleriyle beraber içsel nedenlere dönüştürülebileceği öne sürülmüştür. Çünkü bu yaklaşım, bireylerin doğuştan kendilerinde merak uyandırmayan, lakin sosyal hayatlarında etkili işlevleri olan farklı etkinlikleri düzenleyerek kendileri ile içselleştirme ve bütünleştirmeye ve motive olduğunu, doğal olarak bu süreçlerin de sosyal hayatta önemli yerlere sahip olduğunu öne sürmektedir (Alan & Doğan, 2020; Deci vd., 1991).İçselleştirme süreci, bireyin gelişimi açısından büyük bir role sahiptir. Çünkü bu içselleştirme süreci ise insan hayatı boyunca sürekli olarak sosyal değerlerin ve düzenlemelerin içselleştirilmesini geliştirilmesini sağlamaktadır (Alan & Doğan, 2020; Ryan & Deci, 2000b).
İçsel motivasyon
İçsel motivasyon, herhangi bir davranışı farklı bir sonuçtan ziyade kendi kendini tatmin etme davranışı olarak tanımlanabilir. Kendi kendine motive olan bir kişi dışarıdan gelen baskılara, ödüllere veya cezaya bakmaksızın tamamen kendi eğlence ve zevk aldığı için harekete geçer. İçsel motivasyon kavramı hayvanlar üzerinde yapılan deney ve gözlemler ile bilim dünyasına kazandırılmıştır; bu araştırmalarda bir çok varlığın pekiştireç veya ödül olmaksızın tamamen keşif, oyun ve merak güdülerinin davranışları sonuçlarında ortaya çıkmıştır (Ryan & Deci, 2000a). Literatüre incelendiğinde ve motivasyonel anlamda değerlendirildiğinde, e-sporla ilgilenmenin en önemli kaynağı olarak oyunları sevme görülmektedir. E-sporlara katılım

sebepleri arasında en önemli motivasyon faktörünün eğlence olduğu ve 2. Sırada oyun tutkusu, ardından ise diğer faktörlerin geldiği görülmüştür(Araç Ilgar, 2023).

Dışsal motivasyon

Dışsal motivasyon, dış faktörler yoluyla gelen bireyde negatif ve pozitif etkilerde bulunan, davranışın yapılmasını arttıran veya azaltan, manevi değerleri içerisinde barındıran bir pekiştirme türüdür. Dışsal faktörler maddi kaynaklar olabilir (Örneğin; kupa, para, madalya vb. dışsal ödüller) (Yalçın, 2015). Herhangi bir davranışın nedeni bireyin kendi dışında, olan çevreyle alakalı ise, bu dışsal motivasyon olarak adlandırılır(Bora, 2013). Dışsal motivasyon davranışın bireyin kendisi ile alakalı olmamasıyla birlikte önemli olan tek şey bireyin kazandığı ödüldür. Kişiler yapılan etkinliklerde kendileri ile bağlantılı olmayan ödüller ile davranışa itilirler. Dolayısıyla; bireylerin kendilerine verilen görevleri yerine getirmemesi durumunda kişilere verilecek ödül ve cezalar, görevlerini yapmaları için dıştan motive olmayı sağlayabilir(Bağış, 2021). Dışsal güdülenme belirli davranışlar ve hedefleri göz önünde bulundurarak bir davranışın sergilenmesine vurgu yapar, yani Bilgisayar oyunlarında kazanma ve kazanmanın getirdiği, iyi skor elde etme seviye atlama, ödül kazanma gibi nedenler dışsal güdüyle bağdaştırılır(Akın, 2008).

Motivasyonsuzluk(A-motivasyon)

Bireyin harekete geçmesi için hiçbir dürtü veya nedene ihtiyaç duymaması herhangi bir şekilde ilham almaması durumuna motivasyonsuzluk denirken (Ryan & Deci, 2000a),Aynı zamanda motivasyonsuz bir bireyin davranışında bir nedensellik ilişkisi bulunmamaktadır. Motivasyonsuzluk, bir davranışa önem vermemekten ve onu yapmaya yetkin olmadığını hissetmemekten veya istenen sonucu ulaşamayacağına inanmamaktan ortaya çıkar (Ryan & Deci, 2000a). Sporla uğraşan kişiler uzun vadeli ve yüksek şiddetli antrenman programları ve yoğun stres altında üst seviye performans sergiledikleri müsabakaları olan kişilerdir. Bazen hedeflerine ulaşabilmek adına kendi mutluluğundan, kişisel sağlığından, ailesinden ve arkadaşlarından fedakarlık yapan kimselerdir(Özdemir, 2023). Bununla beraber artan stres düzeyleri, tükenmişlik hisleri ve zihinsel yorgunluğu ortaya çıkarmaktadır; sonuç olarak sporcuların tükenmişlik sendromu riski artış göstermektedir. Tükenmişlik hissinin kendiyle beraber ortaya çıkardığı şeyler ise konsantrasyonda azalma, fiziksel performansta düşüş ve bunların hepsiyle beraber motivasyon düzeyinin azalması (Nur Özkacar & Cömert, 2026). Nitekim alınyazın incelendiğinde sporcular ve e-sporcuların yoğun antrenmanlar, göstermiş olduğu fedakârlıklar stres düzeyini etkilemekle birlikte motivasyon kaybına da yol açabilmektedir.

Temel Psikolojik İhtiyaçlar

Öz-belirleme kuramına göre bir bireyin büyümesi, bütünleşmesi, gelişmesi, ruh sağlığı ve iyi olmaları için bazı temel psikolojik ihtiyaca gereksinim duyar bu ihtiyaçlar; özerklik, yeterlik ve ilişkili olma olarak üç tanedir(Çankaya, 2009; Ryan & Deci, 2000a). Bu ihtiyaçlar kişiye doğuştan gelir lakin çevre faktöründen ve sosyal ilişkilerden etkilenir ve kişilerin hayatlarının farklı zamanlarında, bilinçli ya da bilinçsiz şekilde doyurmaya çalıştığı ihtiyaçlar olarak sayılmaktadır(Yarkın, 2013). Temel ihtiyaçların giderilmesini destekleyen sosyal ağlar ve bireysel farklılıklar bulunurken; bu temel ihtiyaçların yerine getirilmemesi motivasyon düzeyinin azalmasına, performans düşüklüğüne ve iyi olmada gerilemeye neden olmaktadır(Yiğit, 2012).

Özerklik İhtiyacı

Özerklik ihtiyacı, yerine getireceği görevlerde, kendilerini zorunlu hissetmek yerine, seçim yapma özgürlüklerinin olduğunu, kendilerine verilen bu şansı değerlendirebildiklerini hissetmeleriyle alakalıdır(Deci vd., 2001; Öner, 2019). Özerklik gereksinimi; bireysel iradeyle, kendi kendine kararlar verebilme, kendi benlik algısıyla hareket etme ve hareketleri davranışa

yansıtabilme duygusunu ortaya çıkarır(Yiğit, 2012).(Huizinga, 2010), oyunun bir amaç duygusu etrafında özgürce dahil olunan ve insanların isteklerine bağlı olarak gerçekleşen davranışları kapsadığını belirtir(Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022). Oyuncuların oyun oynama davranışları genelde bireysel tercihler olduğu için oyuna yönelik özerkliği de genellikle yüksek olur. Bununla beraber, insanların herhangi bir oyunu oynama isteği, oyunun bireysel çekiciliğine, grafiklerine ve tasarımına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Oyunun tasarımları da oyun içerisindeki tasarımlara göre şekillenir , örnek olarak bireyin görevleri sırası üzerindeki seçim farklılığı, hedeflere ve üstlenilen görevlere göre değişiklik gösterebilir(Ryan vd., 2006).

Yeterlik ihtiyacı

Kişinin çevresinin dikkatini çekme ve bu çevre faktörüyle aktif bir şekilde etkileşimde bulunma düzeyi olarak tanımlanan yeterlik ihtiyacı, bireyin çevresiyle bir araya gelmesi, öğrenme çıktılarının ve ayrıca gösterdiği çevre uyumunun hepsi olarak da tanımlanmaktadır(Öner, 2019). Bir diğer açıklaması ise bireylerin kendi potansiyellerini kullanmaları yoluyla ortaya çıkan bir "yeterli olma" olayıdır. Başarılı bir şekilde yaptığı işlerin üstesinden gelen ve yaptığı işlerde onay alarak yeterliğinin farkına varan bireyler bu gereksinimin doyurulduğunu düşünülmektedir(Sarı vd., 2011). Günümüzde video oyunları içerisindeki belirli mekanikler (ödül ve cezalar, ilerleme barı, kazanımlar, rütbeler, seviyeler vb.) ve içerikler, eğitim, spor, sağlık ve iş hayatında insanların yeni beceriler edinebilmeleri, var olan becerilerini ve motivasyonlarını geliştirebilmeleri amacıyla kullanılmaktadır (Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022). Yeni beceriler veya yetenekler edinme, en uygun şekilde zorlanma veya olumlu geri bildirim alma fırsatları, performansı artırır. Algılanan yeterlilik ve dolayısıyla içsel motivasyon. Dolayısıyla, oyun kontrollerinin sezgisel ve kolayca öğrenilebilir olduğu oyun ortamlarında algılanan yeterlilik artacaktır (Ryan vd., 2006).

İlişkili Olma İhtiyacı

İlişkili olma gereksinimi kişinin başkaları ile bir arada olma ihtiyacıdır. İçinde bulunduğu sosyal çevreye ait olma duygusunu tatmasıdır(Çankaya, 2009; Kowal & Fortier, 1999). İlişkili olma gereksinimi, bireyin başkaları ile ilişkide olma ve o ortama ait olma duygusu olarak adlandırılmaktadır(Ryan & Deci, 2000). Kişinin çevresi ile kurduğu ilişkilerin arzularına ve ihtiyaçlarına uygun olmasını ister ve bu ilişkilerden doyum almak ve güvende olmayı bekler. Birey bu ilişki ihtiyacını yerine getirirken bağımsız olmak ve en önemlisi de ilişkinin kontörlünü ve şekillenmesini kendi elinde tutmak ister. Kişi bu ihtiyacı karşılayabilmek adına başka kişilerle sosyal bir ilişki hayat ve doyurucu etkileşimler içinde yer almak zorundadır. Bir topluluğa ait olma ve onlarla ilişkide halinde olma duygusu en temel gereksinimlerimizden biridir. Topluluk halinde hareket etme ve topluluk faaliyetleri bireyin bu gereksinimini doyurmaya yetecektir(Yiğit, 2012). İlişki kurma ihtiyacı "yapay zekâ" yoluyla giderilebilir. Bireysel özellikler ve yapay zekâ, günümüz oyun modlarında, özellikle çok oyunculu oyunlarda, önemli bir yer tutmaktadır(Ryan vd., 2006). Genel olarak ise, Multiplayer Online Role Playing Game veya Multiplayer Online Battle Arena tarzı çok oyunculu oyun modları göz önünde bulundurulduğunda kişilerin bir takım içerisinde gerçek veya sanal takım arkadaşları ile oyun oynaması ve sesli veya yazılı bir şekilde iletişim halinde olması ilişkili olma gereksinimini büyük ölçüde karşılamaktadır(Sevinçli & Eğer Aydoğmuş, 2022).

Tartışma ve Sonuç

Bu derleme çalışmasında e-sporcuların motivasyon düzeylerini etkileyen faktörler ve temel ihtiyaçları öz belirleme kuramı çerçevesinde bütüncül incelenmiştir. Literatürde elde edilen bulgular; e-sporcuların motivasyon düzeylerinin sadece dışsal motivasyon kaynakları(para-turnuva ödülleri, statü) gibi unsurlar olmadığını, e-spor gibi hızla büyüyen bu ekosistemin içerisinde yer alan bireylerin bu faaliyeti devam ettirebilmesi için içsel motivasyon kaynaklarından da yararlanması gerektiğini göstermektedir. İçsel motivasyonun korunabilmesi

ise üç temel gereksinimin karşılanmasına bağlıdır bunlar; özerklik, yeterlilik ve ilişkisellikten oluşmaktadır. Nitekim bu gereksinimlerin teorik olarak açıklanmalarının yanı sıra e-spor ekosistemi içerisinde nerede yer aldığını anlayabilmemiz için saha içerisindeki dinamiklerle birlikte değerlendirmek bu gereksinimlerin nasıl karşılanması gerektiğini de çözüme kavuşturacaktır. Tartışma kapsamında öne çıkan özerlik ihtiyacının giderilmesi için; (Ryan vd., 2006)'a göre, Oyun tasarımlarının hareket ve stratejiler üzerinde önemli ölçüde esneklik ve seçim olanağı sağlamasıyla özerklik artırırken, en uygun şekilde zorlanma veya olumlu geri bildirim alma fırsatları kişinin performansını artırır. Geribildirimler sayesinde algılanan yeterlilik ve dolayısıyla içsel motivasyon, dolayısıyla oyun kontrollerinin sezgisel ve kolayca öğrenilebilir olduğu oyun ortamlarında algılanan yeterlilik gereksinimi doyurulacaktır. Tartışma konusu olan bir diğer temel ihtiyaç olan ilişkili olma ise oyunların çoğunun birden fazla kişi tarafından oynanması ve hem sözlü hem de yazılı olarak iletişimde olmaları bu sayede sosyal ilişkiler kurabilme fırsatları yakalayarak ilişkili olma gereksinimini karşılayabilmektedirler. Bunların tümü bir araya geldiğinde ise özerklik destekleyici takım ilişkileri, takım içi iletişimler, verilen geri dönütler, dışsal ödüle bağımlılığı azaltma, oyun içi akış ve gelişimsel motivasyon kaynakları gibi unsurlar sayesinde e-sporcuların psikolojik sağlamlık düzeylerinin ve taktiksel yaratıcılığı arttıracağı düşünülmektedir. Sonuç olarak psikoloji alanında yıllardır süre gelen çalışmalar sonucunda video oyunları ve e-sporcuların psikolojik iyi oluşları ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. İlk yıllarda video oyunlarının negatif yönlerine dikkat çeken çalışmaların günümüzde ise ÖBK gibi pozitif yönlü bireylerin temel ihtiyaçlarını karşılama üzere incelendiği görülmektedir. Video oyunlarının sporculara uygun şekilde hazırlanabileceği ve e-sporcuların ihtiyaçlarının karşılanabileceği görülmüştür. Bundan sonraki süreçlerde ise bu ihtiyaçlar doğrultusunda uygulamalı olarak araştırmalar yapılması beklenmektedir.

Kaynakça

Akın, E. (2008). *Elektronik Spor: Türkiye'deki Elektronik Sporcular Üzerine Bir Araştırma*. Anadolu Üniversitesi.

Alan, M., & Doğan, S. (2020). Dışsal Motivasyon, İçsel Motivasyon Ve Performans Etkileşimine Kuramsal Bir Bakış. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, *11*(26), 291–301. https://doi.org/10.21076/vizyoner.638479

Araç Ilgar, E. (2023). Exploring the Ideas of the Faculty of Sport Sciences Students on the Concept of E-Sports. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, *6*(4), 1020–1039. https://doi.org/10.38021/asbid.1154749

Aral, N., Saraç, M., Bayram Arlı, N., & Aydemir Dev, M. (2022). İçsel Motivasyon Ölçeğinin Türkçe Geçerlilik ve Güvenilirlik Çalışması. *Business and Economics Research Journal*, *13*(1), 59–73. https://doi.org/10.20409/berj.2022.361

Bağış, Ö. (2021). *Bireyleri E-Spor'a Katılıma Motive Eden Unsurların Belirlenmesi*. Selçuk Üniversitesi.

Bora, M. S. (2013). *Beden Eğitimi Öğretmeni Ve Sporcu Öğrenciler Arasındaki İletişimin, Sportif Başarı Motivasyonuyla İlişkisi*.

Bozca, M., Bayrak Ayaş, E., & Savaş, M. (2026). Validity And Reliability Study of The Motivation Scale For Modern Sports And E-Sports (MSE-MÖ). *9*, *12*, 195–209. https://doi.org/https://izlik.org/JA42AM77DG

Çankaya, C. (2009). Öğretmen Adaylarında Temel Psikolojik İhtiyaçların Doyumu Ve İyi Olma. *The Journal of Turkish Educational Sciences*, *7*(3), 691–711. https://dergipark.org.tr/en/pub/tebd/article/275077

Cihangir Çankaya, Z. (2009). Özerklik Desteği, Temel Psikolojik İhtiyaçların Doyumu Ve

Öznel İyi Olma: Öz-Belirleme Kuramı. *Türk Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi*, *4*(31), 23–31. https://www.researchgate.net/profile/Zeynep-Cankaya/publication/328630098_Turk_Psikolojik_Danisma_ve_Rehberlik_Dergisi/links/5bd96210299bf1124faf89ba/Tuerk-Psikolojik-Danisma-ve-Rehberlik-Dergisi.pdf

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1985). The general causality orientations scale: Self-determination in personality. *Journal of Research in Personality*, *19*(2), 109–134. https://doi.org/10.1016/0092-6566(85)90023-6

Deci, E. L., Ryan, R. M., Gagné, M., Leone, D. R., Usunov, J., & Kornazheva, B. P. (2001). Need satisfaction, motivation, and well-being in the work organizations of a former eastern bloc country: A cross-cultural study of self-determination. *Personality and Social Psychology Bulletin*, *27*(8), 930–942. https://doi.org/10.1177/0146167201278002;WEBSITE:WEBSITE:SAGE;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:PSPC;JOURNAL:JOURNAL:PSPC;WGROUP:STRING:PUBLICATION

Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Ryan, R. M. (1991). Motivation and education: The self-determination perspective. *Educational psychologist*, *26(3-4),* 325-346.

Huizinga, J. (2010). *Homo Ludens Oyunun Toplumsal İşlevi Üzerine bir Deneme* (Ç. E. M. Kılıçbay (ed.); Ayrıntı Ya).

Kowal, J., & Fortier, M. S. (1999). Motivational determinants of flow: Contributions from self-determination theory. *Journal of Social Psychology*, *139*(3), 355–368. https://doi.org/10.1080/00224549909598391

Nur Özkacar, H., & Cömert, I. T. (2026). Profesyonel sporcularda mükemmeliyetçilik ve tükenmişlik: Bir Derleme çalışması *. *Education, Science and Sports*, *8*, 1–10. https://doi.org/10.70053/esas.1893681

Öner, Ç. (2019). Egzersiz Katılımcılarının Temel Psikolojik İhtiyaçları ve Mental İyi Oluşlarının İncelenmesi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi (ASBD) / Mediterranean Journal of Sport Science*.

Özdemir, D. (2023). *Profesyonel Sporcularda Tükenmişlik Sendromu Ve Depresyon Hakkında Bir Derleme Çalışması*. Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üniversitesi.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000a). Intrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, *25*(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000b). ntrinsic and Extrinsic Motivations: Classic Definitions and New Directions. *Contemporary Educational Psychology*, *a*(a), 25, 54-67.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000c). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American psychologist*, *b*(b), 68-78.

Ryan, R. M., Rigby, C. S., & Przybylski, A. (2006). The Motivational Pull of Video Games: A Self-Determination Theory Approach. *Motivation and Emotion*, *30*(4), 344–360. https://doi.org/10.1007/s11031-006-9051-8

Sarı, İ., Yenigün, Ö., ALTINCI, E., & ÖZTÜRK, A. (2011). *Temel Psikolojik İhtiyaçların Tatmininin Genel Öz Yeterlik Ve Sürekli Kaygı Üzerine Etkisi (Sakarya Üniversitesi Spor Yöneticiliği Bölümü Örneği)*. *4*, 149–156.

Sevinçli, M. C., & Eğer Aydoğmuş, M. (2022). Öz Belirleme Kuramı Temelinde Bir Müdahale Aracı Olarak Video Oyunları. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, *14*(2), 207–220. https://doi.org/10.18863/pgy.974968

Tekkurşun Demir, G., & Mutlu Bozkurt, T. (2019). *Dijital Oyun Oynama Tutumu Ölçeği (DOOTÖ): Geçerlik ve Güvenirlik Çalışması 1 Gönül TEKKURŞUN DEMİR ABCDE 2 Tuğba MUTLU BOZKURT ADE*. https://doi.org/10.33468/sbsebd.79

Uysal, A., & Yildirim, I. G. (2016). *Self-Determination Theory in Digital Games* (ss. 123–135).

https://doi.org/10.1007/978-3-319-29904-4_8
Willoughby, T. (2008). A short-term longitudinal study of Internet and computer game use by adolescent boys and girls: Prevalence, frequency of use, and psychosocial predictors. *Developmental Psychology*, *44*(1), 195–204. https://doi.org/10.1037/0012-1649.44.1.195
Yalçın, İ. (2015). *İşitme Engelli Futsal Sporcularının Başarı Motivasyon Düzeylerinin İncelenmesi*. Fırat Üniversitesi.
Yarkın, E. (2013). *Temel Psikoloj İk İhtiyaçların Karşılanma Düzeyinin İlişki Doyum Ve Yaşam Doyum Düzeyine Katkısının İncelenmesi*. İstanbul Arel Üniversitesi .
Yiğit, R. (2012). *İlinde, Konya Gören, Öğrenim Uyruklu, Yabancı Öğrencilerinin, Üniversite Psikolojik, Temel Bir, İhtiyaçlarının Değişkenler Bakımından, Kısım İncelenmesi*.

YEŞİL SENTEZ İLE ZnO NANOPARTİKÜL SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU VE BİYOLOJİK AKTİVİTE ÇALIŞMALARININ İNCELENMESİ

Bülent KIRKAN
Afyonkarahisar Health Sciences University, Faculty of Pharmacy, Afyonkarahisar-Türkiye
ORCID: 0000-0003-3462-0681
Mehmet Ali ADIGÜZEL
Afyonkarahisar Health Sciences University, Faculty of Pharmacy, Afyonkarahisar-Türkiye
ORCID: 0009-0002-3756-8268

ÖZET
Nanoteknoloji alanında nanopartikül sentezine yönelik artan ilgiye paralel olarak, geleneksel fiziksel ve kimyasal üretim yöntemlerinin toksik reaktif kullanımı, yüksek enerji gereksinimi ve çevresel riskler gibi önemli sınırlamaları araştırmacıları alternatif yaklaşımlara yönlendirmiştir. Bu bağlamda, "yeşil sentez" olarak adlandırılan biyolojik temelli üretim stratejileri, çevre dostu, sürdürülebilir ve güvenli bir seçenek olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmasının amacı; biyouyumluluğu, düşük toksisite profili ve çok yönlü uygulama potansiyeli ile dikkat çeken çinko oksit nanopartiküllerinin (ZnONP'ler) biyolojik kaynaklar kullanılarak sentezlenmesini, elde edilen nanopartiküllerin yapısal ve fizikokimyasal özelliklerinin karakterize edilmesini ve biyolojik aktivitelerinin değerlendirilmesini kapsamlı bir şekilde incelemektir.
ZnONP sentezinde, bitki özütleri, bakteriler, mantarlar ve alglerin etkili indirgeyici ve stabilize edici ajanlar olarak görev yaptığı ortaya konmuştur. Ayrıca, sentezlenen nanopartiküllerin boyut, şekil ve morfolojik özelliklerinin; reaksiyon ortamının pH değeri, sıcaklık, süre ve metal tuzu konsantrasyonu gibi sentez parametrelerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında UV-Vis spektroskopisi, FT-IR, XRD, SEM, TEM ve EDX gibi tekniklerin, nanopartiküllerin oluşumunun doğrulanması, kristal yapısının belirlenmesi ve kimyasal saflığının ortaya konmasında kritik öneme sahip olduğu görülmüştür. Yeşil sentez yöntemiyle üretilen ZnONP'lerin patojen mikroorganizmalara karşı belirgin antibakteriyel etkinlik sergilemesi yanında antioksidan, antiinflamatuvar, antikanser, antifungal ve antiviral özellikler taşıdığını göstermiştir. Yeşil sentez yaklaşımının ekonomik, sürdürülebilir ve biyogüvenli bir nanopartikül üretim alternatifi sunduğu; bu yöntemle sentezlenen ZnONP'lerin ise özellikle biyomedikal ve farmasötik uygulamalar açısından gelecek vadeden nanomalzemeler arasında yer aldığı sonucuna varılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Yeşil Sentez, ZnONP, Biyolojik Aktivite, Nanoteknoloji, Karakterizasyon

REVIEW OF ZnO NANOPARTICLE SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND BIOLOGICAL ACTIVITY STUDIES VIA GREEN SYNTHESIS

ABSTRACT
In parallel with the growing interest in nanoparticle synthesis in the field of nanotechnology, the significant limitations of traditional physical and chemical production methods, such as the use of toxic reagents, high energy requirements, and environmental risks, have led researchers to explore alternative approaches. In this context, biologically based production strategies, referred to as "green synthesis," are emerging as environmentally friendly, sustainable, and safe options. The aim of this study is to comprehensively investigate the biosynthesis of zinc oxide

nanoparticles (ZnONPs), which attract considerable attention due to their biocompatibility, low toxicity profile, and versatile application potential, as well as to characterize the structural and physicochemical properties of the synthesized nanoparticles and to evaluate their biological activities.
In the synthesis of ZnONP, it has been demonstrated that plant extracts, bacteria, fungi, and algae act as effective reducing and stabilizing agents. Furthermore, it has been determined that the size, shape, and morphological properties of the synthesized nanoparticles vary depending on synthesis parameters such as the pH of the reaction medium, temperature, reaction time, and metal salt concentration. Characterization studies have shown that techniques such as UV-Vis spectroscopy, FT-IR, XRD, SEM, TEM, and EDX are critical for confirming nanoparticle formation, determining crystal structure, and establishing chemical purity.
ZnONPs produced via the green synthesis method have been shown to exhibit significant antibacterial activity against pathogenic microorganisms, as well as antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antifungal, and antiviral properties. It has been concluded that the green synthesis approach offers an economical, sustainable, and biosafe alternative for nanoparticle production; furthermore, ZnONPs synthesized using this method are among the promising nanomaterials, particularly for biomedical and pharmaceutical applications.
Keywords: Green Synthesis, ZnONP, Biological Activity, Nanotechnology, Characterization

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji; maddeyi atom ve moleküler düzeyde inceleyerek, 1-100 nm boyutlarındaki yapıların tasarımını, geliştirilmesini, üretimini ve karakterizasyonunu hedefleyen bir bilim dalıdır. Nanoteknolojik çalışmalar hayatın her alanında etkisini gösterdikçe, nano yapılara olan ilgi her geçen gün artmış ve bu yapıların daha büyük malzeme bileşenleri ve sistemler içine entegre edilmesiyle yeni ürün ve malzemeler geliştirilmiştir. Nanopartiküller (NP'ler), yığın (bulk) formlarındaki parçacıklara kıyasla farklı kimyasal ve fiziksel özellikler sergilerler. Bu farklı özellikler arasında azalmış erime noktası, özgül optik özellikler, artan yüzey alanı/hacim oranı ve geliştirilmiş termal ve elektriksel iletkenlik bulunur (Chan ve ark., 2021). Parçacığın bir veya daha fazla boyutunun nanometre ölçeğine indirilmesi, elektronların hareketini kısıtlar. Bu durum, kimyasal ve fiziksel özelliklerin değişmesiyle sonuçlanır ve bilim camiasında kuantum kısıtlama etkisi olarak adlandırılır. Özellikle, 1 nm ila 4 nm arasında değişen ZnO nanopartiküllerin (ZnONP'ler) sentezlenmesi, elektron bulutunu sınırlar ve bu kuantum etkisini gösterir. Nano boyutlu malzemeler, temel ve uygulamalı bilimlerde önemli bir konu olmuştur (Rai ve ark., 2022).
Nanoteknoloji, özellikle doğal kaynaklardan elde edilen nanoparçacıkların sentezinde hızla ilerlemektedir (Aliero ve ark., 2025; Khalil ve ark., 2022). Bu yaklaşım, başta biyotıp ve çevresel uygulamalar olmak üzere çeşitli endüstrilerde devrim yaratma potansiyeline sahiptir (Ali ve ark., 2022; Khalil ve ark., 2021). NP üretimi için sürdürülebilir, çevre dostu ve düşük maliyetli doğal kaynakların kullanımına yönelik bu geçiş, başta saflık ve güvenliğin son derece önemli olduğu biyolojik ve tıbbi uygulamalar olmak üzere pek çok avantaj sunmaktadır. Bitkilerden türetilen nanoparçacıklar, toksik olmamaları ve bertaraf edilmelerinin kolay olması nedeniyle, geleneksel fizikokimyasal yöntemlerle üretilenlere kıyasla giderek daha fazla tercih edilmektedir (Ali ve ark., 2021). Metal oksit nanopartiküller (MONP'ler) arasında, ZnONP'ler, özellikle biyouyumluluğu, düşük sitotoksisitesi ve maliyet etkinliği gibi avantajları nedeniyle en sık kullanılan nanomalzemelerden biridir. ZnONP'ler, aynı zamanda yüksek katalitik ve fotokimyasal aktiviteleri, UV ayırıcı özellikleri, antibakteriyel, antifungal ve yara iyileştirme potansiyelleri sebebiyle önemli ilgi görmektedir (Raja Ahmad ve ark., 2019; Rai ve Bajpai, 2021).

NP'lerin sentezi genellikle fiziksel (yukarıdan aşağıya) ve kimyasal (aşağıdan yukarıya) yöntemlerle gerçekleştirilirken, bu geleneksel yaklaşımlar ciddi kısıtlamalar ve dezavantajlar taşımaktadır. Fiziksel sentez yöntemleri pahalı ekipman ve yüksek enerji maliyeti gerektirirken, kimyasal sentez süreçlerinde zehirli (toksik) organik çözücülerin ve tehlikeli indirgeme/stabilize edici kimyasalların kullanılması zorunludur. Bu toksik maddeler ve oluşan zararlı yan ürünler, hem çevreye hem de insan sağlığına ciddi zararlar verir. Ayrıca, geleneksel kimyasal ve fiziksel yöntemler, nanopartikül üretimi için sert reaksiyon koşulları gerektirebilmektedir (Raja Ahmad ve ark., 2019; Rai ve Bajpai, 2021). Bu çevresel ve ekonomik dezavantajlar, özellikle biyomedikal amaçlar için kullanılacak ZnONP'lerin üretimi için yeni, güvenli ve sürdürülebilir alternatiflerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu kısıtlamaları aşmak amacıyla, nanoteknoloji alanında "Yeşil Sentez" (Biyosentez) olarak adlandırılan çevre dostu bir yaklaşım öne çıkmaktadır. Yeşil sentez, geleneksel yöntemlere kıyasla daha güvenilir, uygun maliyetli, uygulanması kolay, çevre dostu ve sürdürülebilir bir üretim yolu sunar. Biyolojik yöntemlerle üretilen nanopartiküllerin, geleneksel yöntemlerle elde edilenlere göre daha iyi biyouyumluluk ve sitouyumluluk sergileme eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Bu yaklaşım, araştırma laboratuvarlarından endüstriyel ölçekli uygulamalara geçiş için büyük potansiyel taşımaktadır (Jadoun ve ark.,2024).

Yeşil sentez sürecinde kullanılan biyolojik kaynaklar arasında bitki özütleri, mantarlar, bakteriler, algler ve bal gibi doğal ajanlar yer almaktadır. Bitki özleri, metal tuzlarının indirgenmesini ve oluşan nanopartiküllerin stabilizasyonunu sağlayan benzersiz indirgeyici ve kaplayıcı ajanlar olarak işlev gören polifenolik bileşikler, flavonoidler, terpenoidler ve proteinler gibi zengin biyoaktif fitokimyasallar içerir. Bu doğal biyomoleküllerin varlığı, sentezlenen ZnONP'lerin antibakteriyel, antioksidan aktivitelerini önemli ölçüde artırabilir. Bu yeşil sentez, nanopartiküllerin kararlılığını ve etkinliğini artırmakla kalmaz, aynı zamanda genellikle zararlı stabilize ediciler ve çözücüler gerektiren geleneksel kimyasal üretime sürdürülebilir bir alternatif sunar. Bununla birlikte, biyolojik yollarla nanopartikül sentez hızı, henüz geleneksel yöntemlerin seviyesini aşamamıştır; bu da üretim süreçlerini optimize etmeye yönelik araştırmaların devam ettiği bir alana işaret etmektedir (Ying ve ark., 2022).

Bu çalışmada, çevre dostu ve sürdürülebilir bir yaklaşım olan yeşil sentez yöntemi ile ZnONP biyosentezi, karakterizasyonu ve elde edilen nanomalzemelrin kullanıldığı biyolojik aktivite (antibakteriyel, antioksidan vb.) çalışmasının incelenmesidir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Materyal ve Metot

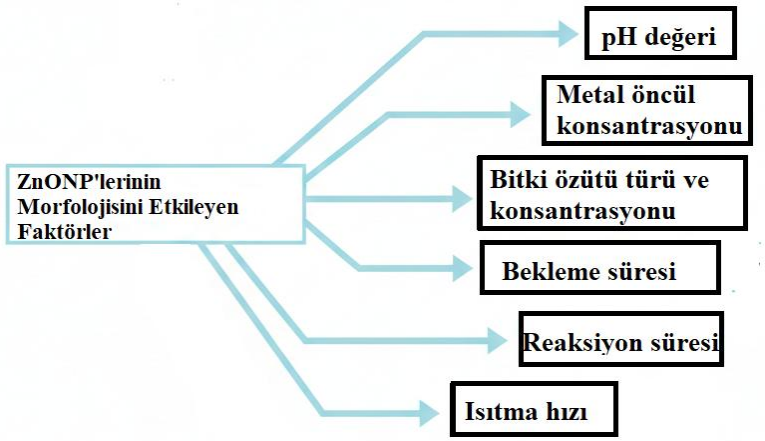
Bu çalışmada Yeşil Sentez, ZnO Nanoparçacık Sentezi, Nanopartikül, Biyolojik Aktivite ve Yeşil Biyosentez ile ZnO Nanoparçacık Üretimi anahtar kelime grupları kullanılarak PubMed, Google Scholar, Web of Science ve Scopus veri tabanlarında kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada özellikle yeşil sentez yöntemleri ile üretilen ZnONP sentezi, ZnONP'lerinin karakterizasyonu, biyolojik indirgeme sürecinde rol alan bitki, alg, bakteri ve mantar kaynaklı biyomoleküller, nanoparçacık sentezini etkileyen parametreler ve bu nanoparçacıkların antimikrobiyal, antioksidan ve diğer biyolojik aktiviteleri üzerine yoğunlaşılmıştır. İlgili literatürde yer alan çalışmalar kullanılan biyolojik kaynaklar, uygulanan yöntemler, deneysel sonuçlar ve raporlanan biyolojik aktivite düzeyleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan tüm literatür kaynaklarının düzenlenmesi, sınıflandırılması ve yönetimi araştırmanın genel amacıyla uyumlu şekilde sistematik olarak gerçekleştirilmiştir.

2.2. ZnONP'lerinin Biyolojik Olarak İndirgenmesinden Sorumlu Bitki Biyomolekülleri

ZnONP'lerinin bitki aracılı yeşil sentezi, bitki özütlerinde bulunan polifenoller, flavonoidler, terpenoidler, alkaloidler, saponinler ve proteinler gibi biyoaktif ikincil metabolitlerin indirgeyici ve kaplayıcı ajanlar olarak görev yapmasına dayanmaktadır (Rai ve ark., 2022). Örneğin, *Laurus nobilis* yaprak özütü, yüksek polifenol ve flavonoid içeriği sayesinde Zn^{2+} iyonlarının indirgenmesi ve oluşan nanopartiküllerin stabilize edilmesinde etkin rol oynamaktadır (Gençyılmaz ve Mutar, 2024). *Mangifera indica* tohum ve yapraklarında bulunan mangiferin, kuersetin, tanenler ve saponinlerin, gümüş nanopartikül sentezine benzer şekilde ZnO iyonlarını indirgediği ve partikül büyümesini kontrol ederek agregasyonu engellediği bildirilmektedir (Swain ve ark., 2025). *Cichorium intybus* kök sulu ekstraktının alkaloidler, fenolik bileşikler, kumarinler ve terpenoidlerce zengin olması, bu moleküllerin metal-iyon koordinasyonu yoluyla kararlı ZnONP oluşumunu desteklediğini göstermektedir (Sishu ve Selvaraj, 2025). *Clitoria ternatea* çiçeklerinde bulunan antosiyaninler, tarakserol ve flavonoidlerin ZnO nükleuslarının oluşumunda ve stabilizasyonunda etkili olduğu belirlenmiştir (Yıldırım, 2024). Benzer şekilde, *Cassia sieberiana* kök kabuğu özütündeki saponinler, polifenoller ve antrasenosidlerin metal–oksijen kompleksleri oluşturarak partikül boyutunu sınırlayıcı ajanlar olarak davrandığı rapor edilmiştir (Kyene ve ark., 2023). *Camellia sinensis* yapraklarında bulunan epigallokateşin gallat ise elektron ve proton transfer mekanizmaları aracılığıyla Zn^{2+} iyonlarının indirgenmesinde ve parçacık büyümesinin sınırlandırılmasında temel redoks bileşeni olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra *Azadirachta indica* yaprak özütü ve *Punica granatum* kabuğu gibi fitokimyasal açıdan zengin kaynakların, ZnO kristal fazının oluşumu ve stabilitesinde "biyofabrika" görevi gördüğü literatürde bildirilmiştir. Son aşamada, biyomoleküllerle kaplanan ZnONP'ler genellikle 400–550 °C aralığında uygulanan kalsinasyon işlemiyle organik kalıntılardan arındırılarak saf ve kararlı kristal yapıya dönüştürülmektedir (Swain ve ark., 2025).

2.3. ZnONP'lerinin Morfolojisini Etkileyen Faktörler

Morfoloji, şekil ve boyut gibi yapısal özelliklerin, ZnONP'lerinin elektronik, optik, antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri dâhil olmak üzere birçok fonksiyonel özelliği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu çeşitli araştırmalarla ortaya konmuştur (Saw ve ark., 2024; Velsankar ve ark., 2022). Literatürde, bitki kaynaklı indirgeyici ajanların özgün kimyasal yapıları sayesinde, nanopartiküllerin kontrollü morfolojisinin yeşil sentez yöntemleriyle, geleneksel fiziksel ve kimyasal sentez yaklaşımlarına kıyasla daha kolay elde edilebildiği rapor edilmiştir (Md Ishak ve ark., 2019). Bununla birlikte, indirgeme sürecinin etkinliği büyük ölçüde kullanılan bitki özütünün türüne (kök, gövde, yaprak veya meyve gibi) bağlı olup, bu durum sentezlenen nanopartiküllerin şekil ve boyutlarında farklılıklara yol açabilmektedir. Ayrıca ortamın pH değeri, metal öncül konsantrasyonu, bitki özütü konsantrasyonu, reaksiyon süresi , ısıtma hızı ve bekleme süresi gibi deneysel parametrelerin de nanopartikül morfolojisini önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Xu ve ark., 2021). Şekil 1'de ZnONP'lerinin morfolojisini etkileyen faktörler gösterilmiştir. Bu parametreler arasında özellikle bitki özütünün türü ve pH değerinin nanopartikül morfolojisi üzerindeki etkisi ön plana çıkmakta olup, bu iki faktör sonraki bölümlerde ayrıntılı biçimde ele alınacaktır. Diğer deneysel parametrelerin ZnONP'lerinin yeşil sentezi üzerindeki etkilerine ilişkin çalışmaların ise literatürde görece sınırlı olduğu görülmektedir (Swain ve ark., 2025).



Şekil 1. ZnONP'lerinin Morfolojisini Etkileyen Faktörler

2.3.1. Bitki Özütünün Etkisi

Bitki özütlerinin ZnONP sentezindeki temel işlevi, çekirdeklenme ve büyüme aşamalarında indirgeyici ajan olarak görev yapmalarıdır. ZnONP'lerin oluşumu ve büyüme davranışı, flavonoidler, terpenoidler ve polifenoller gibi biyoaktif bileşikler bakımından zengin bitki özütlerinin konsantrasyonuna doğrudan bağlıdır (Ahmed ve ark., 2017; Fouda ve ark., 2023). Bu fitokimyasallar, ZnONP'lerin boyut ve şeklinin kontrol edilmesinin yanı sıra yüzeyi kaplayarak stabilizasyon sağlayan kaplayıcı ajanlar olarak da işlev görebilmektedir. Örneğin, yapılan bir çalışmada *Commelina benghalensis* çiçek özütü konsantrasyonunun artırılmasının, ZnONP'lerin morfolojisinde belirgin değişimlere yol açtığı bildirilmiştir. Özüt miktarının artırılmasıyla pul-plaka benzeri yapılardan küresel morfolojiye geçiş gözlemlenmiş, daha yüksek konsantrasyonlarda ise küresel ZnONP'lerin boyutlarında azalma meydana gelmiştir (Bopape ve ark., 2021).

Benzer şekilde, farklı bitki yaprak özütlerinin ZnONP'lerin morfolojisi üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalarda, *Mangifera indica*, *Ceiba pentandra* ve *Elaeis guineensis* yaprak özütleri kullanılarak farklı boyut ve aglomerasyon derecelerine sahip küresel ZnONP'ler elde edildiği rapor edilmiştir (Saputra ve ark., 2024). Bu çalışmalarda, *Elaeis guineensis* yaprak özütü ile sentezlenen ZnONP'lerin daha küçük boyutlu, daha homojen ve düşük aglomerasyon eğiliminde olduğu belirtilmiş; bu durum, özütte bulunan fenolik bileşikler ve saponin gibi ikincil metabolitlerin varlığına atfedilmiştir. Elde edilen bulgular, bitki özütlerinde yer alan fitokimyasalların ZnONP'lerin boyut ve şeklinin kontrolünde kritik rol oynadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Farklı bitki türleri kullanılarak gerçekleştirilen diğer çalışmalarda da ZnONP'lerin morfolojisinde önemli farklılıklar gözlenmiştir. *Pisonia alba* yaprak özütü ile gerçekleştirilen sentezlerde, kompleks ve agregasyon eğilimi gösteren ZnONP yapıları rapor edilmiştir (MuthuKathija ve ark., 2023). Benzer şekilde, *Thymus syriacus* bitki özütü kullanılarak gerçekleştirilen sentezlerde küresel ZnONP'ler elde edilirken, özüt kullanılmadan yapılan sentezlerde çubuk benzeri morfolojilerin oluştuğu bildirilmiştir (Sahin ve ark., 2021). Bu sonuçlar, bitki özütlerinin yalnızca indirgeyici değil, aynı zamanda ZnONP'lerin morfolojisini yönlendiren düzenleyici bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Yeşil ve kimyasal sentez yöntemlerini karşılaştıran çalışmalarda da indirgeyici ajanın ZnONP oluşumu üzerindeki etkisi açıkça ortaya konmuştur. *Mangifera indica* yaprak özütü kullanılarak gerçekleştirilen yeşil sentezde, mangiferin, kaempferol, polifenoller ve kuersetin gibi fitokimyasalların Zn^{2+} iyonlarını indirgediği ve aynı zamanda ZnONP yüzeyini kaplayarak

büyümeyi sınırlandırdığı belirtilmiştir (Mathew ve ark., 2025). Bu yöntemle elde edilen ZnONP'lerin çiçek benzeri hiyerarşik bir morfoloji sergilediği rapor edilirken, kimyasal yöntemle NaOH kullanılarak sentezlenen ZnONP'lerin daha düzensiz, küresel ve yüksek aglomerasyon eğiliminde olduğu ifade edilmiştir. Benzer nano-çiçek yapılarının, mikrobiyal biyokütleler ve farklı bitki özütleri kullanılarak gerçekleştirilen ZnONP sentezlerinde de gözlemlendiği literatürde bildirilmektedir (Rahman ve ark., 2022; Tripathi ve ark., 2014).

Bu çalışmalar genel olarak, kullanılan indirgeyici ajanın ZnONP'lerin çekirdeklenme, büyüme ve nihai morfolojisi üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, literatürde çoğu zaman sınırlı biçimde ele alınan önemli bir diğer parametre sentez ortamının pH değeridir. İncelenen çalışmaların büyük bir kısmında sentezlerin bazik koşullarda gerçekleştirildiği ve bu ortamın anizotropik büyümeyi teşvik ederek yönlü ve karmaşık ZnONP morfolojilerinin oluşumunu desteklediği anlaşılmaktadır (Swain ve ark., 2025).

2.3.2. pH'ın Etkisi

Tipik yeşil sentez süreçleri genellikle sulu ya da sulu-alkollü ortamlarda yürütülmekte olup, reaksiyon ortamının pH değeri ZnONP'lerin çekirdeklenme ve büyüme kinetiğini belirleyen en kritik parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir. pH seviyesi, hem metal iyonlarının hidroliz mekanizmasını hem de çekirdek oluşumu ve parçacık büyüme hızını doğrudan etkileyerek ZnONP'lerin nihai morfolojisinin şekillenmesinde belirleyici rol oynar. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, farklı pH koşullarının ZnONP oluşumu üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Örneğin, *Raphanus sativus var. longipinnatus* özütü kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada, pH 8, 10, 12 ve 14 değerlerinde ZnONP sentezi denenmiş ve UV–Vis spektroskopisi ile ürünler analiz edilmiştir (Umamaheswari ve ark., 2021). pH 12 koşulunda, kristal ZnONP oluşumuna karşılık gelen belirgin bir absorpsiyon bandı gözlenirken, daha düşük (pH 8–10) ve daha yüksek (pH 14) değerlerde karakteristik absorpsiyon piklerinin ortaya çıkmadığı rapor edilmiştir. Bu bulgular, pH 12'nin saf ZnONP sentezi için uygun bir ortam sağladığını ortaya koymaktadır.

Benzer şekilde, *Nyctanthes arbor tristis* bitki özütü kullanılarak pH 9–13 aralığında yürütülen bir başka çalışmada, pH 9–11 aralığında ZnONP oluşumuna işaret eden belirgin bir absorpsiyon bandı gözlenmezken, pH 12 ve 13 koşullarında ZnO fazının oluşumuna karşılık gelen absorpsiyon pikleri tespit edilmiştir (Jamdagni ve ark., 2018). Yüksek pH koşullarında, çözeltide hidroksil iyonları ile hidrojen iyonları arasında uygun bir denge oluştuğu ve pozitif yüklü Zn^{2+} iyonlarının negatif yüklü OH^- iyonlarına elektrostatik olarak çekilerek ZnONP çekirdeklerinin oluşumunu kolaylaştırdığı ifade edilmektedir. Benzer pH aralıklarının ZnONP büyümesi açısından elverişli olduğu, farklı araştırmacılar tarafından da doğrulanmıştır (Abdullah ve ark., 2024).

pH'nin ZnONP sentezindeki önemi yalnızca yeşil sentezle sınırlı olmayıp, kimyasal ve hidrotermal yöntemlerle gerçekleştirilen çalışmalarda da açıkça ortaya konmuştur. Hidrotermal yöntemle silikon yüzey üzerinde ZnONP sentezlendiği bir çalışmada, pH değeri 1,8 ile 12,5 arasında değiştirilmiş ve pH < 8 koşullarında çubuk benzeri yapılar elde edilirken, daha alkali ortamlarda tetrapod, çiçek ve deniz kestanesi benzeri kompleks morfolojilerin oluştuğu bildirilmiştir (Amin ve ark., 2011). Aynı çalışmada, öncü madde konsantrasyonu, reaksiyon süresi ve sıcaklığın da ZnONP boyut ve şeklinin ayarlanmasında etkili parametreler olduğu vurgulanmıştır.

Yeşil sentez yaklaşımıyla gerçekleştirilen bir diğer çalışmada, *Monoon longifolium* yaprak özütü kullanılarak ZnONP sentezi için yaprak özü hacmi, öncü konsantrasyonu, reaksiyon sıcaklığı ve süresi gibi parametreler optimize edilmiştir (Bekele ve ark., 2024). UV–Vis spektroskopisi, absorpsiyon pik şiddetindeki değişimlerin izlenmesi yoluyla sentez koşullarının değerlendirilmesinde etkin bir araç olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, belirli reaksiyon süresi

ve sıcaklık koşulları ile birlikte optimize edilen pH değerinin 10 olduğu ve bu şartlar altında altıgen morfolojiye sahip aglomere ZnONP'lerin elde edildiği bildirilmiştir. Benzer biçimde, *Dahlia pinnata* yaprak özütü kullanılarak gerçekleştirilen sentezlerde pH değişiminin ZnONP'lerin yapısal, morfolojik ve optik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği; asidik ortamdan alkali ortama geçildikçe morfolojinin düzensiz agregalardan daha düzenli ve kompleks yapılara doğru evrildiği rapor edilmiştir (Sharma ve ark., 2024).

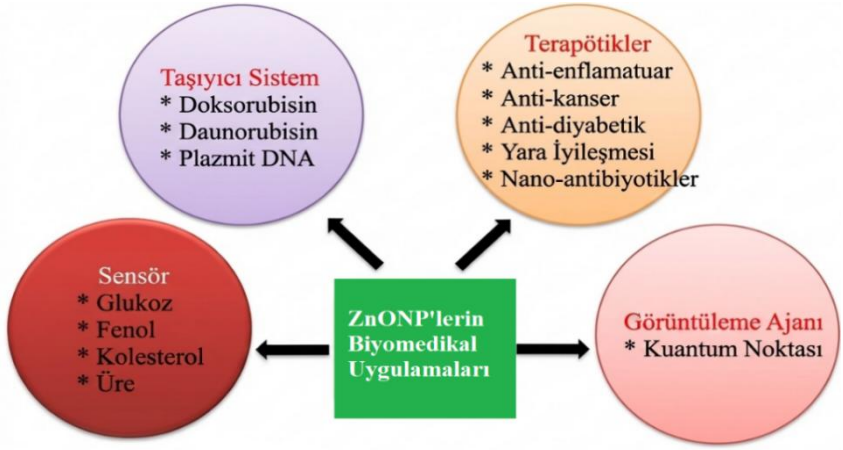
Literatürdeki diğer çalışmalar da, çözeltinin pH değerinin ZnO morfolojisinin yönlendirilmesinde etkin bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Daha yüksek pH koşullarında çiçek benzeri ZnO yapılarının oluştuğu, nispeten daha düşük pH değerlerinde ise çubuk benzeri morfolojilerin baskın hâle geldiği bildirilmiştir (Wang ve ark., 2008). Kimyasal sentez yöntemleriyle gerçekleştirilen çalışmalarda da benzer eğilimler gözlenmiş; özellikle pH 10 civarında gerçekleştirilen sentezlerde, çubuklardan oluşan çiçek benzeri morfolojilerin fotokatalitik ve optoelektronik özellikleri olumlu yönde etkilediği ifade edilmiştir (Mohan ve ark., 2024).

2.3.3. Çinko Tuzunun etkisi

Kullanılan çinko tuzu öncülünün türü ve konsantrasyonu da ZnONP morfolojisi üzerinde etkili olmaktadır (Abdullah ve ark., 2024). Yüksek öncü konsantrasyonlarının daha fazla aglomerasyona ve düzensiz büyümeye yol açtığı, buna karşın daha kontrollü konsantrasyonlarda ve uygun sıcaklık-süre kombinasyonlarında daha iyi kristallenmiş, altıgen yapılı ZnONP'lerin elde edilebildiği bildirilmektedir (Jayappa ve ark., 2020). Düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen sentezler daha yavaş ve kontrollü bir büyüme sağlayarak homojen çekirdeklenmeyi desteklerken, aşırı düşük sıcaklıkların amorf yapı oluşumuna neden olabileceği de vurgulanmaktadır. Farklı çinko tuzu öncüllerinin kullanıldığı çalışmalarda ise, öncü türüne bağlı olarak farklı nanorod düzenlemelerinin elde edildiği ve özellikle klorür bazlı öncüllerin daha dar boyut dağılımı sağladığı rapor edilmiştir (Abdullah ve ark., 2024).

2.4. ZnONP'lerinin Biyomedikal Uygulamaları

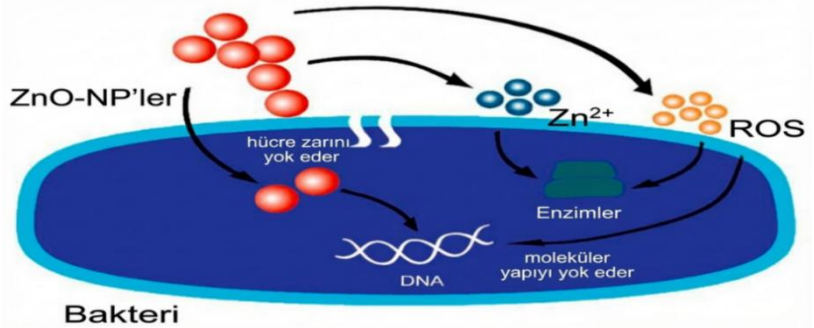
ZnONP'ler; yüksek biyouyumlulukları, düşük sitotoksisiteleri ve maliyet etkin üretim olanakları gibi önemli avantajlara sahip olmalarının yanı sıra, ABD Gıda ve İlaç İdaresi (FDA) tarafından GRAS olarak sınıflandırılmaları nedeniyle biyomedikal araştırmalarda dikkat çekici bir konuma sahiptir (Ihsan ve ark., 2023). Bu nanoyapılar, geniş bant aralığı ve yüksek eksiton bağlanma enerjisi gibi ayırt edici fizikokimyasal özellikleri sayesinde reaktif oksijen türleri (ROS) oluşturma ve Zn^{2+} iyonu salınımı gerçekleştirme kapasitesine sahiptir. Söz konusu mekanizmalar, ZnONP'leri hem geniş spektrumlu ve etkili antimikrobiyal ajanlar hem de kanser hücrelerine karşı seçici sitotoksik etki gösterebilen potansiyel terapötik adaylar hâline getirmektedir. Bunun yanı sıra, yüksek özgül yüzey alanları ve kimyasal olarak fonksiyonelleştirilmeye elverişli yüzey yapıları, ZnONP'lerin ilaç taşıyıcı sistemler, doku mühendisliği uygulamaları, biyosensör platformları ve ileri görüntüleme teknikleri gibi pek çok biyomedikal alanda "akıllı" nanomateryaller olarak değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Pal ve Pareek, 2025). Şekil 2'de ZnONP'lerin biyomedikal çalışmalarda kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 2. ZnONP'lerin Biyomedikal Uygulamaları (Al-Darwesh ve ark., 2024)

2.4.1. Antibakteriyel Aktivitesi

Antibakteriyel özellik gösteren diğer MONP'ler ile karşılaştırıldığında, ZnONP'lerin son yıllarda bakteriyel hücreler üzerinde daha yüksek toksisite sergilediği, buna karşın insan hücrelerine karşı nispeten daha düşük reaktiviteye sahip olduğu rapor edilmiştir (Mir ve ark., 2023; Riahi ve ark., 2023). Bu seçici etkinliğin temelinde, ZnONP'lerin antibakteriyel etkisini büyük ölçüde ROS üretimine dayalı bir mekanizma ile göstermesi yer almaktadır (Espitia ve ark., 2012; Gordon ve ark., 2011). ROS üretimi, bakteriyel hücre zarının bütünlüğünün bozulması, protein ve DNA hasarı ile sonuçlanarak hücre ölümüne yol açmakta olup, bu mekanizma enfeksiyon hastalıklarının kontrolünde alternatif bir strateji olarak önemli ilgi görmektedir. Çevre dostu, taşınabilir, maliyet etkin ve biyolojik senteze uygun ajanlarla üretilen ZnONP'lerin, özellikle biyofilm oluşumunu baskılayan ROS temelli etkileri, gözlenen yüksek antibakteriyel performansı açıklamaktadır (Dryden ve ark., 2016; Madhumitha ve ark., 2016). Ayrıca ROS tabanlı yaklaşımların antibiyotiklere alternatif olarak önemli terapötik potansiyel sunduğu da bildirilmektedir (Dulta ve ark., 2021). Şekil 3'de ZnONP'lerin antibakteriyel etkisinin ROS üretimine dayalı mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 3. ZnONP'lerin Antibakteriyel Mekanizması (Zhou ve ark., 2023)

Biyolojik olarak sentezlenen ZnONP'lerin antibakteriyel etkinliği, çeşitli bitki özütleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda ayrıntılı biçimde değerlendirilmiştir. Tablo 1.'de farklı bitkilerden sentezlenen ZnONP'lerin antibakteriyel aktiviteleri ve bulguları gösterilmiştir. *Azadirachta indica (L.)* yaprak özütü aracılığıyla sentezlenen ZnONP'lerin, farklı konsantrasyonlarda *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis* ve *Escherichia coli* üzerinde belirgin inhibisyon etkileri oluşturduğu bildirilmiştir. Özellikle *S. aureus*'un ZnONP'lere karşı daha duyarlı olduğu ve inhibisyon

zonlarının geniş bir aralıkta değiştiği rapor edilmiştir. Benzer şekilde, *Camellia sinensis* yaprak özütü kullanılarak sentezlenen ZnONP'lerin, *E. coli*, *Klebsiella aerogenes* ve *P. aeruginosa* gibi Gram-negatif bakteriler üzerinde yüksek antibakteriyel etkinlik gösterdiği; buna karşın Gram-pozitif bakterilere karşı görece daha sınırlı bir etki sergilediği belirtilmiştir. Bu farklılık, Gram-negatif bakterilerin hücre duvar yapılarının ZnONP'ler kaynaklı ROS'a karşı daha hassas olmasına bağlanmaktadır.

Tablo 1. Farklı bitkilerden sentezlenen ZnONP'lerin antibakteriyel aktiviteleri

Bitki Adı	Kullanılan Bitki Kısmı	Hedef Bakteriler	Antibakteriyel Aktivite Bulguları	Kaynak
Laurus nobilis	Yaprak	*Staphylococcus aureus* (Gram(+)) *Escherichia coli* (Gram (−))	MIC değerleri *S. aureus* için 4,35 mg/mL, *E. coli* için 2,175 mg/mL olarak belirlenmiştir. ZnONP'lerin her iki bakteri türü üzerinde de etkili olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca farklı bir çalışmada *E. coli* için minumum inhibitör konsantrasyonu (MIC) değeri 1200 µg/mL olarak bildirilmiştir.	(Mert Sivri ve ark., 2023)
Vitis vinifera	Çekirdek	*Staphylococcus aureus*	250–1000 mg/mL konsantrasyon aralığında 8–12 mm arasında inhibisyon zonları ölçülmüştür. MIC değeri 62,5 mg/mL olarak tespit edilmiştir.	(Donmez ve Keyvan, 2024)
Clitoria ternatea	Yaprak	*E. coli* *S.aureus* *Enterococcus faecalis*	1000 µg/mL dozda ölçülen inhibisyon zonları; *E. faecalis* için 11 mm, *S. aureus* için 9 mm ve *E. coli* için 8 mm olarak bildirilmiştir.	(Yıldırım, 2024)
Punica granatum	Meyve Kabuğu	*S. aureus* *E. coli* *Salmonella typhi*	Yüksek antibakteriyel aktivite gözlenmiş olup, inhibisyon zonları *S. aureus* için 22 mm ve *E. coli* için 17 mm olarak rapor edilmiştir.	(Al-Darwesh ve ark., 2024)
Solanum tuberosum	Kabuk	*Bacillus subtilis* *E. coli* *S.aureus* *Pseudomonas aeruginosa*	45 µg/mL dozda inhibisyon zonları; *B. subtilis* için 24,5 mm, *E. coli* için 23 mm ve *S. aureus* için 20,9 mm olarak ölçülmüştür.	(Ishaq ve ark., 2023)
Brassica oleracea	Kabuk	*B. subtilis* *E. coli* *S. aureus* *P. aeruginosa*	45 µg/mL dozda inhibisyon zonları; *B. subtilis* için 24,8 mm, *E. coli* için 23 mm ve *S. aureus* için 20,8 mm olarak rapor edilmiştir.	(Ishaq ve ark., 2023)

Antibakteriyel etkinliğin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan agar kuyu difüzyon ve disk difüzyon yöntemleriyle yapılan çalışmalar, ZnONP'lerin konsantrasyona bağlı olarak inhibisyon zonlarını artırdığını ortaya koymuştur (El-Khawaga ve ark., 2023; Senthilkumar ve Sivakumar, 2014). Gram-negatif bakterilerin lipopolisakkarit içeren hücre duvar yapıları nedeniyle daha yüksek duyarlılık gösterdiği, Gram-pozitif bakterilerin ise kalın peptidoglikan tabakaları nedeniyle görece daha dirençli olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca *Aeromonas hydrophila* ve *P. aeruginosa* gibi su kaynaklı patojenler üzerinde yapılan çalışmalar, biyolojik kökenli ZnONP'lerin antimikrobiyal potansiyelini doğrulamaktadır (Jayaseelan ve ark., 2012). *Ficus racemosus* kullanılarak sentezlenen ZnONP'lerin hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterilere karşı belirgin antibakteriyel etki gösterdiği; benzer şekilde biyolojik kökenli ZnONP'lerin *S. aureus* ve *E. coli* üzerinde geniş inhibisyon zonları oluşturduğu rapor edilmiştir (Birusanti ve ark., 2018; El-Khawaga ve ark., 2023). Bu bulgular, yeşil sentezle üretilen ZnONP'lerin antibakteriyel uygulamalarda umut verici alternatifler sunduğunu ve etkinliğin

büyük ölçüde hücre duvarı yapısı, ROS üretimi ve yüzey etkileşimleri ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Al-Darwesh ve ark., 2024).

2.4.2. Antioksidan Aktivitesi

Oksijen atomlarından kaynaklanan serbest elektronların varlığı, ZnONP'lerin antioksidan özelliklerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. ZnONP'ler, güçlü antioksidan etkilerinin yanı sıra kemoterapi ilaçlarının neden olduğu erkek üreme sistemi hasarına karşı yardımcı tedavi potansiyeli göstermektedir. Özellikle doksorubisinin terapötik etkinliğini desteklerken gonadotoksik etkilerini azalttığı bildirilmiştir. Bununla birlikte, çeşitli çalışmalar ZnONP'lerin oksidatif hasarı onarabileceğini ve hücre içi glutatyon tükenmesini azaltabildiğini ortaya koymuştur (Soren ve ark., 2018).

Çinkonun erkek üreme sisteminde doğal olarak bulunduğu ve spermatogenez için gerekli olduğu bilinmektedir . Bu bağlamda, ZnONP'ler oksidatif stres kaynaklı hastalıkların tedavisinde umut vadeden biyomedikal ajanlar olarak değerlendirilmektedir. Serbest radikallerin aşırı üretildiği durumlarda ZnONP'lerin, vücudun endojen antioksidan savunma sistemini güçlendirdiği gösterilmiştir. Önceki çalışmalarda ZnONP'lerin antioksidan enzim aktivitelerini artırdığı, MDA düzeylerini ise anlamlı biçimde azalttığı rapor edilmiştir . Bu özellikleri sayesinde ZnONP'ler hücre zarını oksidatif stresin yıkıcı etkilerine karşı koruyabilmektedir. (Al-Darwesh ve ark., 2024).

1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikal temizleme testleri, yeşil sentezle üretilen ZnONP'lerin yüksek antioksidan kapasiteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Tablo 2'de sentezlenen ZnONP'lerin DPPH serbest radikal temizleme aktivitesi gösterilmiştir. Farklı bitki özleri kullanılarak sentezlenen ZnONP'lerin IC_{50} değerlerinin geniş bir aralıkta değiştiği, ancak genel olarak doza bağlı şekilde serbest radikal temizleme etkinliğinin arttığı bildirilmektedir . Bu farklılıkların; nanopartikül boyutu, yüzey alanı, yüzey yük yoğunluğu ve bitki kaynaklı kaplayıcı fitokimyasallar ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. (Al-Darwesh ve ark., 2024).

Buna karşılık, yüksek dozlarda ZnONP uygulamalarının oksidatif stres, DNA hasarı ve karaciğer hücre apoptozu gibi olumsuz etkilere yol açabileceği de rapor edilmiştir . Ancak düşük dozlarda uygulandığında ZnONP'lerin sitoprotektif etki gösterdiği, antioksidan savunmayı artırdığı ve aflatoksin B1 kaynaklı serbest radikal oluşumunu baskıladığı belirtilmiştir . Bu özellikleri sayesinde ZnONP'ler, hepatik hücreleri toksik ajanların zararlı etkilerine karşı koruyabilmektedir. (Al-Darwesh ve ark., 2024).

Tablo 2. Farklı bitkilerden sentezlenen ZnONP'lerin antioksidan aktiviteleri

Bitki Adı	Kullanılan Kısım	DPPH serbest radikal temizleme aktivitesi	Kaynak
Olea europaea	Meyve	IC_{50}: 16.65 µg/mL. Düşük IC_{50} değeri, ZnONP'lerin güçlü serbest radikal süpürücü aktiviteye sahip olduğunu ve askorbik asitle karşılaştırılabilir antioksidan potansiyel sergilediğini göstermektedir.	(Al-Darwesh ve ark., 2024).
Thymbra spicata	Yaprak	%79.67 inhibisyon (250 µg/mL). Yüksek radikal süpürme kapasitesi, ZnONP'lerin belirgin antioksidan özellik taşıdığını ortaya koymaktadır.	(Pal ve Pareek, 2025)
Capparis spinosa	Meyve	IC_{50}: 43.68 µg/mL. Orta-düşük IC_{50} değeri, ZnONP'lerin oksidatif strese karşı etkili bir koruma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.	(Al-Darwesh ve ark., 2024).

Bitki Adı	Kullanılan Kısım	DPPH serbest radikal temizleme aktivitesi	Kaynak
Momordica charantia	Meyve	%55.76 inhibisyon (1000 µg/mL). Aynı konsantrasyonda ABTS testinde %42.79 inhibisyon rapor edilmiştir; bu durum ZnONP'lerin orta düzey antioksidan aktivite gösterdiğini düşündürmektedir.	(Ihsan ve ark., 2023).
Punica granatum	Meyve kabuğu	IC_{50}: 240 µg/mL. Kabuğun yüksek fenolik içeriği, sentezlenen ZnONP'lerin antioksidan kapasitesini desteklemektedir.	(Al-Darwesh ve ark., 2024).
Vitis vinifera	Çekirdek	IC_{50}: 173.7 mg/mL. Konsantrasyon artışıyla DPPH radikalinin rengi koyu mordandan soluk sarıya dönüşmüş, bu durum doz bağımlı radikal süpürme aktivitesini doğrulamıştır.	(Yıldırım, 2024).
Clitoria ternatea	Çiçek	IC_{50}: 623.48 µg/mL. 2000 µg/mL konsantrasyonda %78.1 oranında radikal süpürme aktivitesi elde edilmiştir.	(Yıldırım, 2024).

Sonuç olarak, mevcut literatür ZnONP'lerin antioksidan aktivitelerinin hem doğrudan serbest radikal temizleme hem de antioksidan enzim sistemlerinin aktivasyonu yoluyla gerçekleştiğini göstermektedir. Doz, sentez yöntemi ve yüzey özellikleri dikkate alındığında, ZnONP'ler oksidatif stresle ilişkili hastalıkların önlenmesi ve tedavisinde önemli bir potansiyele sahiptir (Al-Darwesh ve ark., 2024).

2.4.3. Antifungal Aktivitesi

Yeşil sentez yöntemiyle üretilen ZnONP'lerin antifungal aktivitesi incelendiğinde, bu partiküllerin maya, dermatofit ve küf mantarlarına karşı doza bağlı ve güçlü bir inhibisyon sergilediği görülmektedir. Antifungal etkinin temel mekanizması; ZnONP'lerin fungal hücre zarını difüzyon veya endositoz yoluyla aşarak sitoplazmaya girmesi, mitokondriyal fonksiyonları bozması ve hidrojen peroksit başta olmak üzere ROS üretimini artırması sonucu hücre zarı bütünlüğünün bozulması ve hücre içeriğinin sızması şeklinde açıklanmaktadır (Al-Darwesh ve ark., 2024). Nicel veriler, *Pogostemon cablin* yaprak özütü ile sentezlenen ZnONP'lerin dermatofit mantarlardan *Trichophyton rubrum* ve *Trichophyton mentagrophytes'e* karşı sırasıyla 0.462 mg/mL ve 0.576 mg/mL gibi düşük MIC değerleri sergilediğini ve hücre içi sızıntıyı %90'ın üzerinde artırarak hifal büyümeyi baskıladığını göstermektedir (Shukla ve ark., 2025).

Tablo 3. Farklı kaynaklardan sentezlenen ZnONP'lerin antifungal aktiviteleri

Doğal Kaynak	Hedef Mantar	Antifungal Aktivite Bulguları	Kaynak
Castanea sativa	*Candida albicans*, *C. glabrata*, *Debaryomyces hansenii*, *Cryptococcus neoformans*	İnhibisyon zonu: *C. albicans* 20.0 mm; *D. hansenii* 16.83 mm; *C. glabrata* 14.33 mm; *C. neoformans* 9.0 mm. Standart antifungallere yakın etkinlik.	(Gençay ve ark., 2023)

Agaricus bisporus	*C. albicans*, *C. glabrata*, *D. hansenii*	İnhibisyon zonu: *C. glabrata* 17.66–20.5 mm; *C. albicans* 16.0–17.33 mm; *D. hansenii* 15.7–20.5 mm. Yüksek antifungal aktivite.	(Bekem ve ark., 2023)
Punica granatum	*C. albicans*, *C. tropicalis*, *C. glabrata*	İnhibisyon zonu: 20.17–26.35 mm; MIK (*C. tropicalis*): 10 µg/mL. Güçlü antifungal etki.	(Al-Darwesh ve ark., 2024)
Eucalyptus globulus	Fitopatojenik mantarlar	Tarımsal patojenlere karşı fungisidal etki rapor edilmiştir.	(Al-Darwesh ve ark., 2024)

Maya mantarlarında, *Agaricus bisporus* ve *Castanea sativa* aracılı sentezlenen ZnONP'lerin *Candida albicans* izolatına karşı 20 mm'ye ulaşan inhibisyon zonları oluşturduğu rapor edilmiştir (Bekem ve ark., 2023; Gençay ve ark., 2023). Benzer şekilde, *Punica granatum* kabuğu özütü ile elde edilen ZnONP'lerin *C. albicans* üzerinde 24.18 mm, *Candida tropicalis* üzerinde ise 20.17 mm inhibisyon zonu oluşturduğu bildirilirken (Al-Darwesh ve ark., 2024), *Cassia sieberiana* kök kabuğu ile sentezlenen ZnONP'lerin *C. albicans'a* karşı 11.7 mm'lik inhibisyon zonu sergilediği gözlemlenmiştir (Kyene ve ark., 2023). Bitki patojenlerine yönelik çalışmalarda ise *Nyctanthes arbor-tristis* kaynaklı ZnONP'lerin *Alternaria alternata* ve *Fusarium oxysporum'a* karşı etkili olduğu, *Serratia nematodiphila* aracılı sentezlenen ZnONP'lerin ise *Alternaria* türlerinin miselyum gelişimini %85.93 oranında inhibe ettiği bildirilmiştir (Swain ve ark., 2025). Bu bulgular, yeşil sentezle elde edilen ZnONP'lerin oksidatif stres oluşturarak hücre bütünlüğünü bozduğunu ve belirgin fungisidal ile fungistatik etki gösterdiğini ortaya koymaktadır. Tablo 3'de sentezlenen ZnONP'lerin antifungal aktiviteleri ve bulguları gösterilmiştir.

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bitkilerden elde edilen yeşil sentezli ZnONP'ler, çevresel iyileştirme ve biyomedikal uygulamalarda etkili, sürdürülebilir ve çevre dostu bir yaklaşım sunduğu literatürde açıkça ortaya konmuştur. Düşük maliyetleri, sentez kolaylıkları ve toksik kimyasalların kullanımını ortadan kaldırmaları, bu nanopartikülleri geleneksel fiziksel ve kimyasal sentez yöntemlerine güçlü bir alternatif hâline getirmektedir. Bitki özlerinin indirgeyici ve stabilize edici ajanlar olarak kullanılması, yalnızca çevresel yükü azaltmakla kalmayıp aynı zamanda ZnONP sentezine sürdürülebilir bir boyut kazandırmaktadır. Yeşil sentezle üretilen ZnONP'lerin, nanometre ölçeğindeki boyutları sayesinde yüksek yüzey alanına sahip olmaları; su ve hava ortamlarındaki organik kirleticilerin fotokatalitik bozunmasında, ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda ve kirlenmiş toprak ve sulardan uzaklaştırılmasında yüksek verimlilik göstermelerini sağlamaktadır. Buna ek olarak, bu nanopartiküllerin Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı güçlü antibakteriyel etki sergilediği, ayrıca antioksidan, antifungal ve antikanser potansiyeller taşıdığı bildirilmiştir (Al-Darwesh ve ark., 2024; Jadoun ve ark., 2024). Güncel araştırmalar, farklı terapötik ve çevresel uygulamalar için ZnONP'lerin daha çevre dostu yöntemlerle üretilmesine odaklanmaktadır. Yeşil sentez yöntemiyle elde edilen ZnONP'ler; biyouyumlulukları, düşük toksisiteleri ve kimyasal/fiziksel muadillerine kıyasla çevre üzerinde daha az olumsuz etki oluşturmaları nedeniyle yüksek bilimsel ve endüstriyel değer taşımaktadır. Tanenler, alkaloidler, polifenoller, flavonoidler ve terpenoidler gibi fitokimyasallar içeren bitki özleri kullanılarak sentezlenen ZnONP'lerin yüzeylerinde bu bileşiklerin oluşturduğu doğal kaplamaların, nanopartiküllerin kararlılığını artırdığı ve biyolojik aktivitelerini güçlendirdiği gösterilmiştir. Özellikle antibakteriyel özellikleri, ilaç dirençli bakterilerin neden olduğu enfeksiyonlara karşı bu nanopartikülleri umut verici adaylar

hâline getirmektedir. Ayrıca çinkonun insan fizyolojisinde doğal olarak bulunan bir eser element olması, ZnONP'lerin düşük toksisite ve biyolojik olarak parçalanabilirlik özellikleriyle ekolojik açıdan da avantajlı olmasını sağlamaktadır (Okaiyeto ve ark., 2024).

Bununla birlikte, yeşil nanoteknolojinin sunduğu bu avantajlara rağmen önemli zorluklar da bulunmaktadır. En temel sorunlardan biri, yeşil sentez süreçlerinin büyük ölçüde laboratuvar ölçeğiyle sınırlı olması ve endüstriyel ölçekte üretime uyarlanmasının güçlüğüdür. Uygun biyolojik kaynağın seçimi, nanopartiküllerin sentez sonrası biyolojik bileşenlerden ayrılması ve bitki özlerinin kimyasal bileşimindeki doğal değişkenlikler, kalite kontrolü ve tekrarlanabilirliği zorlaştırmaktadır. Bitki türü, yetişme koşulları ve ekstraksiyon yöntemine bağlı olarak değişen fitokimyasal içerik, nanopartikül boyutu, şekli ve yüzey özelliklerinde farklılıklara yol açabilmektedir. Ayrıca, bitki özlerinde bulunan çok sayıda biyoaktif bileşiğin nanopartikül büyüme kinetiğini etkilemesi, sentez parametrelerinin hassas biçimde kontrol edilmesini güçleştirmektedir. Sulu bitki özlerinin mikrobiyal kontaminasyona açık olması nedeniyle taze hazırlanma zorunluluğu da pratik bir sınırlama oluşturmaktadır. Bu nedenle, gelecekteki çalışmalarda ZnONP sentezi için liyofilize bitki ekstraktlarının kullanılması, fitokimyasal bütünlüğün korunması ve tekrarlanabilirliğin artırılması açısından faydalı bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Okaiyeto ve ark., 2024).

Gelecek perspektifinde, ZnONP'lerin antibakteriyel etkinliğini artırırken sitotoksisitelerini azaltmaya yönelik stratejiler büyük önem taşımaktadır. Nanopartiküllerin boyut, şekil ve yüzey kimyasının kontrollü biçimde modifiye edilmesi; patojenlerle etkileşimi güçlendirirken memeli hücreler üzerindeki olumsuz etkileri sınırlayabilir. Bunun yanı sıra, ZnONP'lerin biyolojik etki mekanizmalarının daha ayrıntılı biçimde aydınlatılması, belirli patojenlere karşı hedefli uygulamaların geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Klinik uygulamalara geçiş sürecinde karşılaşılan bir diğer önemli engel ise ZnONP'lerin sitotoksisitesi ve biyolojik etkilerine ilişkin literatürdeki tutarsızlıklardır. Bu durumun, malzeme bilimcileri ile biyoloji bilimcileri arasında disiplinler arası ortak bir anlayış eksikliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, nanopartikül partileri arasındaki stabilite ve yüzey kimyası farklılıkları da klinik kullanımı sınırlayan faktörler arasındadır; bu sorunların yüzey fonksiyonelleştirme stratejileriyle aşılabileceği öngörülmektedir.

Sonuç olarak, yeşil sentez yöntemiyle üretileni ZnONP'ler; çevresel iyileştirme, antibakteriyel uygulamalar ve potansiyel klinik kullanımlar açısından büyük bir vaat sunmakla birlikte, ölçek büyütme, standartlaştırma, stabilite ve biyogüvenlik gibi temel sorunların çözülmesini gerektirmektedir. Bu zorlukların ele alınması, halk sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturan çoklu ilaç dirençli bakterilerle mücadelede kullanılabilecek güvenli, etkili ve uygun maliyetli bitki bazlı nanopartiküllerin endüstriyel üretiminin önünü açacaktır.

KAYNAKLAR

Abdullah, J.A.A., Guerrero, A. ve Romero, A. (2024). 'Efficient and sustainable synthesis of zinc salt-dependent polycrystal zinc oxide nanoparticles: comprehensive assessment of physicochemical and functional properties'. *Appl Sci.*, 14(5), 1815.

Ahmed, S., Chaudhry, S.A. ve Ikram, S. (2017). 'A review on biogenic synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and microbes: a prospect towards green chemistry'. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 166, pp.272–284.

Al-Darwesh, M.Y., Ibrahim, S.S. ve Mohammed, M.A. (2024). 'A review on plant extract mediated green synthesis of zinc oxide nanoparticles and their biomedical applications'. *Results in Chemistry*, 7, 101368.

Ali, A., Chen, J., Mansoor, S., Ahmad, R., Munis, M.F.H. ve ark. (2022). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using different plant extracts and their various biomedical applications: A review'. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101851.

Ali, K., Dwivedi, S., Azam, A., Saquib, Q., Al-Khedhairy, A.A. ve Musarrat, J. (2021). '*Aloe vera* extract functionalized ZnO nanoparticles: A green synthesis approach to enhance their antioxidant and antibacterial potential'. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 215, 112110.

Aliero, A.A., Khalil, A.T., Aliero, B.L., Aliero, S.A., Al-Attar, A.M. ve ark. (2025). 'Phyto-mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles: An update on characterization and biological potential'. *Results in Chemistry*, 7, 101368.

Amin, G., Asif, M.H., Zainelabdin, A., Zaman, S., Nur, O. ve Willander, M. (2011). 'Influence of pH, precursor concentration, growth time, and temperature on the morphology of ZnO nanostructures grown by the hydrothermal method'. *J Nanomater.*, 269692.

Bekele, S.G., Ganta, D.D. ve Endashaw, M. (2024). 'Green synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles using *Monoon longifolium* leave extract for biological applications'. *Discov Chem.*, 1(1), 5.

Bekem, R., Durmuş, S., Dalmaz, A. ve Dulger, G. (2023). '*Agaricus bisporus* Ekstraktı Kullanılarak ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi: Yapısal Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi'. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 11(2), pp.551–562.

Birusanti, A.B., Mallavarapu, U., Nayakanti, D. ve Espenti, C.S. (2018). 'Plant-mediated ZnO nanoparticles using *Ficus racemosa* leaf extract and their characterization, antibacterial activity'. *Asian J Pharm Clin Res*, 11(9), pp.463–467.

Bopape, D.A., Motaung, D.E. ve Hintsho-Mbita, N.C. (2021). 'Green synthesis of ZnO: effect of plant concentration on the morphology, optical properties and photodegradation of dyes and antibiotics in wastewater'. *Optik*, 2022(251), 168459.

Chan, K., Cao, D., Fouad, D.E., El-Mleeh, A., Al-Saeed, F.A., Al-Dhabi, N.A. ve ark. (2021). 'Green synthesis, characterization and photocatalytic application of silver nanoparticles synthesized by various plant extracts'. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(11), pp.8248–8261.

Donmez, S. ve Keyvan, E. (2024). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using grape seed extract and evaluation of their antibacterial and antioxidant activities'. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry*, 54(11), pp.1137–1144.

Dryden, M., Dickinson, A., Brooks, J., Hudgell, L., Saeed, K. ve Cutting, K.F. (2016). 'A multicentre clinical evaluation of reactive oxygen topical wound gel in 114 wounds'. *J. Wound Care*, 25(3), pp.140–146.

Dulta, K., Koşarsoy Ağçeli, G., Chauhan, P., Jasrotia, R. ve Chauhan, P.K. (2021). 'A novel approach of synthesis zinc oxide nanoparticles by *Bergenia ciliata* rhizome extract: antibacterial and anticancer potential'. *J. Inorg. Organomet. Polym. Mater.*, 31, pp.180–190.

El-Khawaga, A.M. ve ark. (2023). 'Green synthesized ZnO nanoparticles by *Saccharomyces cerevisiae* and their antibacterial activity and photocatalytic degradation'. *Biomass Convers. Biorefinery*, pp.1–12.

Espitia, P.J.P., Soares, N.F.F., Coimbra, J.S.R., Andrade, N.J., Cruz, R.S. ve Medeiros, E.A.A. (2012). 'Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Antimicrobial Activity and Food Packaging Applications'. *Food Bioprocess Technol*, 5, pp.1447–1464.

Fouda, A., Saied, E., Eid, A.M., Kouadri, F., Alemam, A.M., Hamza, M.F. ve ark. (2023). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using an aqueous extract of *Punica granatum* for antimicrobial and catalytic activity'. *J Funct Biomater*, 14(2), 127.

Gençay, S.N., Durmuş, S., Dalmaz, A. ve Dulger, G. (2023). 'Ticari Bal Kullanılarak ZnO Nanopartiküllerinin Yeşil Sentezi, Yapısal Karakterizasyonu ve Biyolojik Aktivitelerinin İncelenmesi'. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 11(3), pp.1437–1445.

Gençyılmaz, O. ve Mutar, M.F.M. (2024). 'Comparison of high antioxidant ZnONPs produced from different fungi as alternative biomaterials'. *International Journal of Secondary Metabolite*, 11(4), pp.812–832.
Gordon, T., Perlstein, B., Houbara, O., Felner, I., Banin, E. ve Margel, S. (2011). 'Synthesis and characterization of zinc/iron oxide composite nanoparticles and their antibacterial properties'. *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, 374(1–3), pp.1–8.
Ihsan, M., Din, I.U., Alam, K. ve ark. (2023). 'Green Fabrication, Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Plant Extract of *Momordica charantia* and *Curcuma zedoaria* and Their Antibacterial and Antioxidant Activities'. *Appl Biochem Biotechnol*, 195, pp.3546–3565.
Ishaq, M.T., Fazal, A., Ara, S. ve Sughra, K. (2023). 'One-pot greener synthesis of zinc oxide nanoflowers using potato, cauliflower, and pea peel extract with antibacterial application'. *Chemical Physics Letters*, 810, 140186.
Jadoun, S., Yáñez, J., Aepuru, R., Patra, C., Garg, A., Sridhara, S. ve ark. (2024). 'Recent advancements in sustainable synthesis of zinc oxide nanoparticles using various plant extracts for environmental remediation'. *Environ Sci Pollut Res*, 31, pp.19123–19147.
Jamdagni, P., Khatri, P. ve Rana, J.S. (2018). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using flower extract of *Nyctanthes arbor-tristis* and their antifungal activity'. *J King Saud Univ - Sci.*, 30(2), pp.168–175.
Jayappa, M.D., Ramaiah, C.K., Kumar, M.A.P., Suresh, D., Prabhu, A. ve ark. (2020). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles from the leaf, stem and in vitro grown callus of *Mussaenda frondosa* L.: characterization and their applications'. *Appl Nanosci.*, 10(8), pp.3057–3074.
Jayaseelan, C. ve ark. (2012). 'Novel microbial route to synthesize ZnO nanoparticles using *Aeromonas hydrophila* and their activity against pathogenic bacteria and fungi'. *Spectrochim. Acta Part A Mol. Biomol. Spectrosc.*, 90, pp.78–84.
Khalil, A.T., Ali, M., Ovais, M., Ali, T., Shinwari, Z.K. ve Maaza, M. (2022). 'Biosynthesized metal oxide nanoparticles: A green approach to tackle multidrug resistance'. *Frontiers in Microbiology*, 13, 842141.
Khalil, A.T., Ovais, M., Ullah, I., Ali, M., Shinwari, Z.K. ve Maaza, M. (2021). 'Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles using plant extracts and their biomedical applications'. İçinde: *Green Nanoparticles: Preparation, Properties and Applications*. Springer, pp.231–264.
Kyene, M.O., Droepenu, E.K., Ayertey, F., Yeboah, G.N., Archer, M.A., Kumadoh, D. ve ark. (2023). 'Synthesis and characterization of ZnO nanomaterial from *Cassia sieberiana* and determination of its anti-inflammatory, antioxidant and antimicrobial activities'. *Scientific African*, 19, e01452.
Madhumitha, G., Elango, G. ve Roopan, S.M. (2016). 'Biotechnological aspects of ZnO nanoparticles: overview on synthesis and its applications'. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 100, pp.571–581.
Mathew, D., Thomas, B., Sudheep, N.M., Nair, S. ve Radhakrishnan, E.K. (2025). 'Nanotherapeutic zinc oxide nanoflowers adorned with phytochemicals of *Mangifera indica* leaves for multifaceted health benefits over chemically synthesized nanoparticles'. *J Ind Eng Chem.*
Md Ishak, N.A.I., Kamarudin, S.K. ve Timmiati, S.N. (2019). 'Green synthesis of metal and metal oxide nanoparticles via plant extracts: an overview'. *Mater Res Express*, 6(11), 112004.
Mert Sivri, F., Önem, E., Akkoç, S. ve Çırrık, C. (2023). 'Biosynthesis of ZnO nanoparticles using *Laurus nobilis* leaf extract and investigation of antiproliferative and antibacterial activity potential'. *International Journal of Secondary Metabolite*, 10(3), pp.414–424.

Mir, S.A., Shrotriya, V., Al-Muhimeed, T.I., Hossain, M.A. ve Zaman, M.B. (2023). 'Metal and metal oxide nanostructures applied as alternatives of antibiotics'. *Inorg. Chem. Commun.*, 110503.
Mohan, V.K., Srivastav, A., Güell, F. ve John, T.T. (2024). 'pH-controlled synthesis of ZnO nanoflowers: a correlation study among the optoelectronic properties and improved photodegradation efficiency'. *J Alloy Compd.*, 976, 172993.
MuthuKathija, M., Sheik Muhideen Badhusha, M. ve Rama, V. (2023). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Pisonia Alba* leaf extract and its antibacterial activity'. *Appl Surface Sci Adv.*, 15(1), 100400.
Okaiyeto, K., Gigliobianco, M.R. ve Di Martino, P. (2024). 'Biogenic Zinc Oxide Nanoparticles as a Promising Antibacterial Agent: Synthesis and Characterization'. *International journal of molecular sciences*, 25(17), 9500.
Pal, P. ve Pareek, A. (2025). 'Zinc oxide nanoparticles: A comprehensive review on its synthesis, characterization, and role in biomedical applications as well as health risks'. *Inorganic Chemistry Communications*, 181(Part 2), 115314.
Rahman, F., Majed Patwary, M.A., Bakar Siddique, M.A., Bashar, M.S., Haque, M.A., Akter, B. ve ark. (2022). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Cocos nucifera* leaf extract: characterization, antimicrobial, antioxidant and photocatalytic activity'. *R. Soc. Open Sci.*, 9, 220858.
Rai, R.S., J.P, G., Bajpai, V., Khan, M.I., Elboughdiri, N., Shanableh, A. ve ark. (2022). 'An eco-friendly approach on green synthesis, bio-engineering applications, and future outlook of ZnO nanomaterial: A critical review'. *Environmental Research*, 221, 114807.
Rai, R.S. ve Bajpai, V. (2021). 'Green synthesis of ZnO nanoparticles: A review on phytochemistry, mechanism and applications'. *Environmental Research*, 202, 111634.
Raja Ahmad, R.A., Nordin, N., Ismail, A.F., Arshad, A. ve ark. (2019). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using various plant extracts and their potential biomedical applications'. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 269692.
Sahin, B., Aydin, R., Soylu, S., Türkmen, M., Kara, M., Akkaya, A. ve ark. (2021). 'The effect of *Thymus syriacus* plant extract on the main physical and antibacterial activities of ZnO nanoparticles synthesized by SILAR method'. *Inorg Chem Commun.*, 2022(135), 109088.
Saputra, I.S., Nurfani, E., Fahmi, A.G., Saputro, A.H., Apriandanu, D.O.B., Annas, D. ve ark. (2024). 'Effect of secondary metabolites from several leaf extracts on the green synthesized-ZnO nanoparticles'. *Vacuum*, 227, 113434.
Saw, S., Mahto, S. ve Chandra, N. (2024). 'Morphological, structural, and electronic properties of green synthesized ZnO nanoparticles by experimental and DFT+U method – a review'. *Phys Lett, Section A: Gen, Atomic Solid State Phys.*, 518, 129697.
Senthilkumar, S.R. ve Sivakumar, T. (2014). 'Green tea (*Camellia sinensis*) mediated synthesis of zinc oxide (ZnO) nanoparticles and studies on their antimicrobial activities'. *Int. J. Pharm. Pharm. Sci*, 6(6), pp.461–465.
Sharma, S., Singh, A.K., Singh, S.P. ve Singh, R.K. (2024). 'Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles prepared by green routes: controlling morphologies by maintaining pH'. *Phys Scr.*
Shukla, M., Narain, S., Jha, S. ve ark. (2025). 'Synthesis, characterization and determination of antifungal and antioxidant activities of plant-derived zinc oxide nanoparticles'. *Biomass Conv. Bioref.*, 15, pp.20399–20413.
Sishu, N.K. ve Selvaraj, C.I. (2025). 'Bio-fabrication of *Cichorium intybus* L. root aqueous extract mediated ZnO nanoparticle (CIRAE-ZnO NP) for its promising therapeutic applications'. *Green Chemistry Letters and Reviews*, 18(1).

Soren, S., Kumar, S., Mishra, S., Jena, P.K., Verma, S.K. ve Parhi, P. (2018). 'Evaluation of antibacterial and antioxidant potential of the zinc oxide nanoparticles synthesized by aqueous and polyol method'. *Microb. Pathog.*, 119, pp.145–151.

Swain, M., Mishra, D. ve Sahoo, G. (2025). 'A review on green synthesis of ZnO nanoparticles'. *Discov Appl Sci*, 7, 997.

Tripathi, R.M., Bhadwal, A.S., Gupta, R.K., Singh, P., Shrivastav, A. ve ark. (2014). 'ZnO nanoflowers: novel biogenic synthesis and enhanced photocatalytic activity'. *J Photochem Photobiol, B.*, 141, pp.288–295.

Umamaheswari, A., Prabu, S.L., John, S.A. ve Puratchikody, A. (2021). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using leaf extracts of *Raphanus sativus* var. *Longipinnatus* and evaluation of their anticancer property in A549 cell lines'. *Biotechnol Rep.*, 29, e00595.

Velsankar, K., Venkatesan, A., Muthumari, P., Suganya, S., Mohandoss, S. ve Sudhahar, S. (2022). 'Green inspired synthesis of ZnO nanoparticles and its characterizations with biofilm, antioxidant, anti-inflammatory, and anti-diabetic activities'. *J Mol Struct.*, 1255, 132420.

Wang, Y., Li, X., Wang, N., Quan, X. ve Chen, Y. (2008). 'Controllable synthesis of ZnO nanoflowers and their morphology-dependent photocatalytic activities'. *Sep Purif Technol.*, 62(3), pp.727–732.

Xu, J., Huang, Y., Zhu, S., Abbes, N., Jing, X. ve Zhang, L. (2021). 'A review of the green synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and their prospects for application in antibacterial textiles'. *J Eng Fibers Fabrics*, 16, pp.1–15.

Yıldırım, S. (2024). Mavi Kelebek Sarmaşığı *(Clitoria ternatea)* Ekstraktından Biyosentezlenen Çinko Oksit Nanopartiküllerin İn Vitro Antimikrobiyal, Antidiyabetik ve Antioksidan Aktivitelerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.

Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P.C., Clubb, P., Diesendruck, C., Johnson, A. ve ark. (2022). 'Green synthesis of zinc oxide nanoparticles: Recent advances and future perspectives'. *Journal of Cleaner Production*, 352, 131500.

Zhou, X.Q. ve ark. (2023). 'Zinc Oxide nanoparticles: synthesis, characterization, modification, and applications in food and agriculture'. *Processes*, 11(4), 1193.

Onosma tauricum var. tauricum BİTKİSİNİN ANTİOKSİDAN AKTİVİTESİNİN BELİRLENMESİ

Bülent KIRKAN
Faculty of Pharmacy, Afyonkarahisar Health Sciences University, TR-03100, Afyonkarahisar-TURKEY
ORCID: 0000-0003-3462-0681
Esma Nur AKKUŞ
Faculty of Pharmacy, Afyonkarahisar Health Sciences University, TR-03100, Afyonkarahisar-TURKEY
ORCID: 0009-0004-2252-1293

ÖZET
Şifalı bitkiler, içerdikleri sekonder metabolitler sayesinde farmasötik, gıda ve kozmetik alanlarında doğal antioksidan kaynakları olarak büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, Boraginaceae familyasına ait olan ve Türkiye florasında yüksek endemizm oranıyla dikkat çeken Onosma cinsinin bir üyesi olan Onosma tauricum var. tauricum bitkisinin toprak üstü kısımlarından ultrasonik destekli özütleme tekniği ile etanol:su (1:1) özütü elde edilmiştir. Elde edilmiş olan özütün fitokimyasal içeriği ve in vitro antioksidan aktivite potansiyeli detaylıca incelenmiştir.
Özütün fitokimyasal profili LC-MS/MS sistemi ile analiz edilmiş; toplam fenolik ve flavonoid miktarları ise spektrofotometrik yöntemlerle tayin edilmiştir. Antioksidan kapasitenin belirlenmesinde; DPPH ve ABTS radikal süpürme, CUPRAC ve FRAP indirgeme gücü, fosfomolibdenyum ve demir iyonu şelatlama testlerinden oluşan testler uygulanmıştır.
Araştırma bulgularına göre, etanol-su özütünün verimi %12,80 olarak gerçekleşmiştir. Özütün toplam fenolik içeriği 21,65 mg GAEs/g özüt ve toplam flavonoid içeriği 2,57 mg REs/g özüt olarak tespit edilmiştir. LC-MS/MS analizleri, özütteki baskın bileşiğin rosmarinik asit (1467 µg/g özüt) olduğunu, bunu klorogenik asit (877 µg/g özüt) ve hesperidin (138 µg/g özüt) bileşiklerinin izlediğini ortaya koymuştur. Antioksidan testlerinde özüt, özellikle fosfomolibdenyum (507,27 mg TEs/g özüt) ve ABTS (74,64 mg TEs/g özüt) yöntemlerinde yüksek etkinlik sergilemiştir.
Sonuç olarak, kullanılan ultrasonik destekli etanol-su ekstraksiyon yönteminin, literatürdeki maserasyon ve saf su yöntemlerine kıyasla fenolik madde kazanımını yaklaşık 3 kat artırdığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler, O. tauricum var. tauricum'un zengin rosmarinik asit içeriği sayesinde güçlü bir doğal antioksidan kaynağı olduğunu ve sentetik antioksidanlara alternatif olarak farmasötik preparatlarda veya gıda endüstrisinde değerlendirilebileceğini kanıtlamaktadır.
Anahtar kelimeler: *Onosma tauricum var. tauricum,* antioksidan aktivite, fenolik bileşikler, LC-MS/MS, rosmarinik asit

DETERMINATION OF THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *Onosma tauricum var. tauricum*

ABSTRACT
Medicinal plants are of great importance as natural sources of antioxidants in the pharmaceutical, food, and cosmetic industries due to the secondary metabolites they contain. In this study, an ethanol:water (1:1) extract was obtained from the aboveground parts of Onosma tauricum var. tauricum, a member of the Onosma genus belonging to the Boraginaceae family and noted for its high endemism rate in the Turkish flora, using an ultrasonic-assisted extraction

technique. The phytochemical composition and in vitro antioxidant activity potential of the obtained extract were examined in detail.
The phytochemical profile of the extract was analyzed using an LC-MS/MS system; total phenolic and flavonoid contents were determined using spectrophotometric methods. To determine antioxidant capacity, tests were conducted using DPPH and ABTS radical scavenging assays, CUPRAC and FRAP reduction assays, and phosphomolybdenum and iron ion chelation tests.
According to the research findings, the yield of the ethanol-water extract was 12.80%. The total phenolic content of the extract was determined to be 21.65 mg GAEs/g extract, and the total flavonoid content was 2.57 mg REs/g extract. LC-MS/MS analyses revealed that the major compound in the extract was rosmarinic acid (1467 µg/g extract), followed by chlorogenic acid (877 µg/g extract) and hesperidin (138 µg/g extract). In antioxidant tests, the extract exhibited high activity, particularly in the phosphomolybdenum (507.27 mg TEs/g extract) and ABTS (74.64 mg TEs/g extract) assays.
As a result, it was determined that the ultrasonic-assisted ethanol-water extraction method used increased phenolic compound yield by approximately threefold compared to the maceration and distilled water methods described in the literature. The data obtained demonstrate that O. tauricum var. tauricum is a potent natural antioxidant source due to its high rosmarinic acid content and could be considered as an alternative to synthetic antioxidants in pharmaceutical preparations or the food industry.
Keywords: *Onosma tauricum var. tauricum,* antioxidant activity, phenolic compounds, LC-MS/MS, rosmarinic acid

1. GİRİŞ

Şifalı bitkilerle iyileşme, insanlığın kendisi kadar eskidir. Şifalı bitki kullanımının farkındalığı, insanın kabuklarda, tohumlarda, meyve gövdelerinde ve bitkilerin diğer kısımlarında ilaç takip etmeyi öğrendiği hastalıklara karşı uzun yıllar süren mücadelelerin bir sonucudur (Petrovska, 2012). Bitkiler doğada yaygın olarak bulunan ve biyolojik olarak aktif birçok sekonder metabolit üretirler. Bu sekonder metabolitler özellikle fenolik bileşikler ve flavonoidler güçlü antioksidan, antimikrobiyal, enzim inhibitör ve terapötik etkilere sahip olmaları nedeniyle farmasötik, besin ve kozmetik alanlarda önemli bir ilgi odağıdır (Kırkan ve ark., 2022). Güçlü antioksidan potansiyel gösteren bitkilerin kimyasal profillerinin belirlenmesi ve biyolojik aktivitelerinin değerlendirilmesi son yıllarda büyük bir araştırma alanı oluşturmuştur.

Vücuttaki fizyolojik aktivitenin doğal bir sonucu olarak oluşan serbest radikaller, oksidasyon reaksiyonlarında aşırı biriktiğinde doku hasarına ve hücre ölümüne yol açar (Özer ve ark., 2018). Serbest radikaller, eşlenmemiş elektronlara sahip atomlar, moleküller veya iyonlardır, bu da onları diğer moleküllerle kimyasal etkileşimlerde oldukça kararsız ve reaktif hale getirir. Sorun serbest radikallerin üretimi değil, stres gibi koşullar altında anormal ve aşırı üretimleridir (Gülçin, 2025). Antioksidanlar, serbest radikallerin zararlı etkilerini engelleyen veya ortadan kaldıran bileşiklerdir (Karabulut ve ark., 2016). Organizmadaki doğal antioksidan sistemlerin (katalaz ve süperoksit dismutaz gibi) başa çıkamadığı durumlarda, dış kaynaklardan antioksidan takviyeleri alınması gerekmektedir (Özer ve ark., 2018). Bitkiler, antioksidan maddeler açısından son derece zengin kaynaklar olarak kabul edilmektedir. Özellikle fenolik bileşiklerin, organizmaları oksidatif stresin yıkıcı etkilerinden güçlü bir şekilde koruduğu bildirilmiştir (Özsoy ve ark., 2008; Shukla ve ark., 2016).
Çoğunluğu Asya ve Avrupa'da doğal olarak yetişen Onosma L., Boraginaceae familyasının en büyük cinsidir. Morfolojisi için yalnızca yaklaşık 75 bitki ve kimyasal bileşenleri ve klinik

potansiyelleri için 10'dan az bitki tanımlanmış, dünya çapında dağılmış yaklaşık 150 tür içerir (Kumar ve ark., 2013). Türkiye %50' si endemik olmak üzere 102 *Onosma* türüne ev sahipliği yapmaktadır (Özer ve ark., 2018).

Onosma türleri, geleneksel tıpta çeşitli rahatsızlıkların (ateş, lökoderma, bronşit, karın ağrısı) tedavisinde ve renklendirici özelliklerinden dolayı gıda takviyeleri olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Kumar ve ark., 2013). Bu güçlü etki potansiyeli, Onosma türlerinin özellikle fenolik ve flavonoid fitokimyasal bileşik içeriklerinin ve biyoaktif özelliklerinin bilimsel olarak incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bu cins içindeki bazı türlerin antioksidan (Maskovic ve ark., 2015; Özer ve ark., 2018), antibakteriyel (Naz ve ark., 2006; Özgen ve ark., 2003; Yıldırım ve ark., 2013), yara iyileştirici (Ali ve ark., 2015; Gawand ve ark., 2015), antitümör (Yıldırım ve ark., 2013) ve enzim inhibitör (Maskovic ve ark., 2015; Özer ve ark., 2018) aktiviteleri bilimsel olarak araştırılmıştır. Onosma'nın farklı türlerinden elde edilen ekstraktlarda yüksek total fenolik ve flavonoid içeriği; buna bağlı olarak da güçlü antioksidan, metallerle şelasyon, serbest radikal süpürücü, indirgeme gücü ve çeşitli enzim inhibitör aktivite değerleri bildirmiştir (Saravanakumar ve ark., 2019; Sarikurkcu ve ark., 2020; Kırkan ve ark., 2022).

Bu çalışmanın konusu olan *Onosma tauricum* Pallas ex Willd. var. *tauricum* (sinonimi: *O. velenovskyi* Davidov) Türkiye'de 50–2400 m rakımlarda kayalık, kumlu yamaçlar ve meşelikler gibi yerlerde yetişen çok yıllık otsu bir bitkidir (Sarikurkcu ve ark., 2018). Literatür taramalarına göre, *O. tauricum* var. *tauricum*'un toprak üstü kısımlarından elde edilen çözücü özütlerinin fitokimyasal bileşimi, antioksidan ve enzim inhibitör aktiviteleri daha önce rapor edilmiştir (Özer ve ark., 2018; Kumar ve ark., 2013).

O. tauricum var. *tauricum*'un farklı çözücülerle hazırlanmış ekstraktlarının fenolik/flavonoid içerikleri ve biyolojik aktiviteleri daha önce sistematik biçimde değerlendirilmiştir. Su ekstraktının (OTT-W) en yüksek fenolik ve flavonoid içeriğine sahip olduğu, su ve metanol ekstraktlarının, serbest radikal süpürme, indirgeme gücü, metal şelasyonu ve total antioksidan potansiyel testlerinde belirgin aktivite gösterdiği, bunun yanında, metanol ekstraktının asetilkolinesteraz (AChE) inhibisyonu, su ekstraktının ise tirozinaz ve α-glukosidaz enzimlerini inhibe edebildiği belirtilmiştir. Bu bulgular, *O. tauricum*'un sadece geleneksel tıbbi kullanımlar açısından değil; aynı zamanda modern farmasötik potansiyel, doğal antioksidan kaynak olarak da değerlendirilmesinin anlamlı olduğunu gösterir.

Bu araştırma, doğal antioksidan kaynaklarının geliştirilmesi amacıyla, *Onosma tauricum* var. *tauricum* bitkisinin toprak üstü kısımlarından ultrasonik destekli özütleme tekniği kullanılarak elde edilecek olan etanol:su (1:1) özütünün kimyasal kompozisyonunun, in vitro antioksidan aktivitelerinin değerlendirilmesine odaklanmıştır. Özütün antioksidan aktiviteleri; DPPH ve ABTS radikal süpürme, CUPRAC ve FRAP indirgeme gücü, fosfomolibdenyum ve demir iyonu şelatlama testleri kullanılarak detaylıca incelenmiştir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Deneysel Çalışmalar

2.1.1. Bitkisel Materyal

Onosma tauricum var. *tauricum* bitkisinin toprak üstü kısımları, Denizli ili Tavas ilçesi mevkiinden 01/04/2025 tarihinde 1120 m rakımdan çiçeklenme zamanında toplandı (37° 36' 55" K, 29° 09' 57" D). Örnek, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Biyoloji Bölümü'nden Dr. Olcay CEYLAN tarafından teşhis edilmiş ve tip örnekleri aynı birimin herbaryumunda muhafaza edilmiştir. Bitkinin doğadaki görünümü Şekil 1' de gösterilmiştir.



Şekil 1. *Onosma tauricum* var. *tauricum* bitkisinin doğada görünümü

2.1.2. Özütlerin Hazırlanması

Bitkinin toprak üstü kısımları, doğrudan güneş ışığının olmadığı ve hava akışının iyi olduğu bir ortamda birkaç hafta süresince kurutuldu. Daha sonra laboratuvar tipi bir blender kullanılarak küçük parçalara bölündü ve ardından özütleme aşamasına geçildi. Etanol-distile su (1:1) özütü, bitkilerin toprak üstü kısımlarının 5 gramlık miktarının 100 mL etilalkol:su çözücü karışımı ile 30 °C' de ultrasonik banyoda muamele edilmesiyle elde edildi. Bu işlem 2 kez tekrarlandı. Daha sonra çözücüleri uzaklaştırmak için vakum altında konsantre edildi. Sulu etanol özütü, antioksidan aktivite testlerinde kullanılıncaya kadar +4 °C'de muhafaza edildi.

2.1.3. Fitokimyasal Analizler

Örneklerin fenolik içerikleri daha önde validasyonu yapılmış olan bir yöntemle gerçekleştirildi (Cittan ve Çelik, 2018). Kantitatif analizler için, 6420 Triple Quad kütle spektrometresine sahip Agilent Technologies 1260 Infinity sıvı kromatografi sistemi kullanıldı. Kromatografik ayırma, Poroshell 120 EC-C18 (100 mm x 4.6 mm I.D., 2.7 µm) kolon ile gerçekleştirildi. Mobil faz olarak %0.1 formik asit/metanol karışımı kullanıldı. Seçilen mobil faz konfigürasyonu, birçok fenolik bileşik için yüksek hassasiyet sağlamıştır. Mobil faz, çözücü A'dan (%0.1, v/v formik asit çözeltisi) ve çözücü B'den (metanol) meydana gelecek şekilde oluşturulmuştur. Gradyan profili şu şekilde ayarlanmıştır: 0. dk %2.0 B çözücüsü, 3. dk %2.0 B çözücüsü, 6. dk %25.0 B çözücüsü, 10. dk %50.0 B çözücüsü, 14. dk %95.0 B çözücüsü, 17. dk %95.0 B ve 17.5 dk %2.0 B çözücüsü. Kolon sıcaklığı 25 ° C'de tutuldu. Akış hızı 0.4 ml/dk ve enjeksiyon hacmi 2.0 µl idi (Sarikurkcu ve ark., 2020).

Tandem kütle spektrometresi (MS), bir ESI kaynağı yoluyla LC sistemine entegre edildi. MS'in elektrosprey kaynağı, negatif ve pozitif MRM modunda çalıştırılmış; -3.5, -4 kV (NI modu) ve 3.5, 4 kV (PI modu) kapiler gerilim uygulanmıştır. Kurutucu gaz sıcaklığı ve akış hızı sırasıyla; 300 °C ve 11 L/dk olarak, nebülizor basıncı ise 40 psi olarak ayarlanmıştır. Negatif ve pozitif iyon modunda çalışan tüm bileşikler tek bir enjeksiyon ile analizlenmiştir.

2.1.4. Toplam Fenolik Bileşik Analizi

Toplam fenolik bileşik içeriğinin tespiti için, örnek çözeltisi (0.25 ml) seyreltilmiş Folin-Ciocalteu reaktifi (1.0 ml, 1:9) ile karıştırıldı ve kuvvetlice çalkalandı. 3 dk sonra Na_2CO_3 çözeltisi (0.75 ml, %1) ilave edildi ve örneğin absorbansı, oda sıcaklığında 2 saat inkübasyondan sonra 760 nm'de okundu. Toplam fenolik bileşik içeriği, gallik asit eşdeğerleri olarak ifade edildi (Zengin ve ark., 2015).

2.1.5. Toplam Flavonoit Bileşik Analizi

Toplam flavonoit bileşik içeriğinin tespiti için, örnek çözeltisi (1.0 ml), MeOH içerisinde aynı hacimde alüminyum triklorür (%2) ile karıştırıldı. Benzer şekilde, örnek çözeltisinin (1.0 ml), $AlCl_3$ içermeyen metanole (1.0 ml) eklenmesiyle bir kör hazırlandı. Örnek ve körün absorbansları oda sıcaklığında 10 dk inkübasyondan sonra 415 nm'de okundu. Körün absorbansı, örneklerinkinden çıkarıldı. Örneklerin toplam flavonoit bileşik içeriği, rutin eşdeğerleri (REs) olarak ifade edildi (mg REs/g örnek) (Zengin ve ark., 2015).

2.1.6. Antioksidan Aktivite Testleri

Fosfomolibdenyum Testi

İçerisinde örnek çözeltisi (0.1 ml) bulunan test tüplerine 3 ml reaktif çözeltisi (0.6 M sülfürik asit, 28 mM sodyum fosfat ve 4 mM amonyum molibdat) ilave edildi. Test tüpleri 95 °C'de 90 dk inkübe edildikten sonra oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve köre karşı (kör, 3 ml reaktif çözelti ve 0.1 ml çözücü içermektedir) 695 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). Örneklerin toplam antioksidan kapasiteleri standart troloks eşdeğer (TEs) olarak hesaplandı (mg TEs/g örnek).

Metal ŞelatlamaTesti

Örneklerin Fe^{2+} iyonlarını şelatlama kapasiteleri daha önce literatürde belirtilen yönteme göre belirlendi (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). İçerisinde özüt çözeltisi (2 ml) bulunan test tüplerine $FeCl_2$ (0.05 ml, 2 mM) çözeltisi ilave edildi. Tepkime ferrozin (0.2 ml, 5 mM) ilavesiyle başlatıldı. Karışım karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığında 10 dakika inkübasyona bırakıldı. Ferrozin yerine metanol (0.2 ml) kullanılarak herbir örnek için kör numune hazırlandı. Daha sonra hem kör hem de örneklerin 562 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı. Örneklerin şelatlama kapasiteleri örnekler için ölçülen absorbans değerlerinden her bir örnek için hazırlanan kör karışıma ait absorbans değerleri çıkartılarak etilendiamin tetra asetik asit disodyum (EDTA) tuzu eşdeğer olarak hesaplandı (mg EDTAEs/g örnek).

2.1.7. İndirgeme Gücünün Tespit Edilmesine Yönelik Testler

CUPRAC Testi

Örneklerin Cu^{2+}/Cu^{+} indirgeme potansiyelleri literatürde belirtilen CUPRAC yöntemiyle analiz edildi (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). İçerisinde örnek çözeltisi (0.5 ml) bulunan test tüplerine sırasıyla; $CuCl_2$ (1 ml, 10 mM), amonyum asetat (1 ml, 1 M, pH:7.0) ve neokuproin (1 ml, 7.5 mM) çözeltileri eklendi. Tüpler ağızları kapalı bir biçimde oda sıcaklığında karanlıkta 30 dakika bekletildikten sonra 450 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı. Örneklerin CUPRAC indirgeme potansiyelleri troloks eşdeğer olarak hesaplandı (mg TEs/g örnek).

FRAP Testi

Örneklerin Fe^{3+}/Fe^{2+} indirgeme potansiyelleri FRAP yöntemiyle belirlendi (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). Asetat tamponu (0.3 M, pH: 3.6), 40 mM HCl içinde hazırlanan 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (10 mM) ve $FeCl_3$ (20 mM) çözeltilerinin hacimce 10:1:1 oranında karıştırılması ile oluşturulan FRAP reaktifi (2 ml), içerisinde örnek çözeltisi (0.1 ml) bulunan test tüplerine eklendi ve oda sıcaklığında 30 dakika inkübasyona bırakıldı. Karışımların 593 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı. Örneklerin FRAP indirgeme potansiyelleri troloks eşdeğer olarak hesaplandı (mg TEs/g örnek).

2.1.8. Serbest Radikal Süpürüm Aktivite Testleri

ABTS Katyon Radikali Süpürüm Testi

Bu testte $ABTS^{\cdot+}$ radikal katyonu, 7.4 mM ABTS çözeltisi ile 2.45 mM potasyum persülfat çözeltisinin tepkimesiyle elde edildi. Bu karışım 12-16 saat karanlıkta bekletilerek aktif radikal

oluşması sağlandı. Deneyden önce ABTS katyon radikal çözeltisi, 734 nm'de absorbansı 1.000 ± 0.020 olacak şekilde metanol ile seyreltildi. Örnek çözeltilerinden 1 ml alındı ve 2 ml ABTS çözeltisi ile karıştırıldı. Tüpler ağızları kapalı bir biçimde oda sıcaklığında 30 dakika bekletildikten sonra örneklerin 734 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). Örneklerin ABTS katyon radikali süpürüm aktiviteleri troloks eşdeğer olarak hesaplandı (mg TEs/g örnek).

DPPH Radikal Süpürüm Testi

Örneklerin serbest radikal giderim aktiviteleri 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH) serbest radikali kullanılarak belirlendi (Zengin ve ark., 2015; Tepe ve ark., 2011; Apak ve ark., 2006; Kocak ve ark., 2016). İçerisinde örnek çözeltisi (1 ml) bulunan test tüplerine metanolde hazırlanmış DPPH çözeltisi (1 ml, 0.4 mM) ilave edildi. Kontrol için test tüpüne özüt yerine 1 ml metanol konuldu. Örnekler oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika inkübasyona bırakıldıktan sonra 517 nm'deki absorbans ölçümleri yapıldı. Örneklerin DPPH radikalini süpürüm aktiviteleri troloks eşdeğer olarak hesaplandı (mg TEs/g örnek).

2.1.8. İstatistiksel Analizler

Sonuçların bilimsel tutarlılığını artırmak için tüm testler üç kez tekrarlandı. Sonuçlar ortalama değer ve standart sapma (ortalama ± SS) olarak verildi. Veriler arasındaki istatistiksel benzerlikleri/farklılıkları saptamak için *Tukey* testi uygulandı ($\alpha = 0.05$).

2.2. Deneysel Sonuçlar

Etilalkol-su (1:1) özütünün özütleme verimi %12,80 olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, özütün toplam flavonoid içeriği 2,57 ± 0,08 mg REs/g özüt ve toplam fenolik içeriği ise 21,65 ± 0,56 mg GAEs/g özüt olarak tespit edilmiştir (Tablo 1). Bu değerler, *Onosma tauricum* var. *tauricum* etilalkol-su özütünün önemli miktarda fenolik ve flavonoid bileşik içerdiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. *Onosma tauricum* var. *tauricum* bitkisinin etanol-su özütünün özütleme verimi, toplam fenolik ve flavonoid içeriği

Testler	**Etanol-Su özütü**
Özütleme verimi (%)	12,80
Toplam flavonoid (mg REs/g özüt)	2,57±0,08
Toplam fenolik (mg GAEs/g özüt)	21,65±0,56

İfade edilen değerler üç paralel ölçümün ortalamaları ± SD'dir. REs ve GAEs rutin ve gallik asit eşdeğerleridir

LC-MS/MS analizi sonucunda etilalkol-su karışımından elde edilmiş olan özütte tanımlanan seçilmiş fenolik bileşikler ve derişimleri Tablo 2'de sunulmuştur. Buna göre, özütte en yüksek derişiminde bulunan bileşik rosmarinik asit (1466 ± 19 µg/g özüt) olup, bunu klorogenik asit (877 ± 18 µg/g özüt) ve hesperidin (138 ± 6 µg/g özüt) izlemektedir. Diğer önemli fenolik bileşikler arasında kafeik asit, p-kumarik asit, luteolin 7-glukosit, luteolin, 3-hidroksibenzoik asit, 4-hidroksibenzoik asit, hiperosit de belirlenmiştir. Ayrıca, daha düşük derişimlerde ferulik asit, protokateşik asit, verbascosit, vanilin, apigenin 7-glukosit, apigenin, sinapik asit de tespit edilmiştir. (-)-Epikateşin, (+)-kateşin, 2-hidroksisinnamik asit, 3,4-dihidroksifenilasetik asit, ellagik asit, eriodiktiyol, gallik asit, kaempferol, pinoresinol, kuersetin, resveratrol, siringik asit ve taksifolin ise saptanamamıştır (Tablo 2).

Onosma tauricum var. *tauricum* etilalkol:su özütünün antioksidan aktivitesi farklı yöntemlerle değerlendirilmiştir ve sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Buna göre, özütün fosfomolibden aktivitesi 507,27 ± 19,53 mg TE/g özüt, CUPRAC indirgeme gücü 70,80 ± 2,29 mg TE/g özüt, FRAP indirgeme gücü 42,12 ± 2,47 mg TE/g özüt, DPPH radikal süpürme aktivitesi 32,20 ± 2,04 mg TE/g özüt ve ABTS katyon radikal süpürme aktivitesi 74,64 ± 0,91 mg TE/g özüt olarak belirlenmiştir. Ayrıca, özütün demir (II) iyonları şelatlama aktivitesi ise 15,45 ± 0,96 mg EDTAE/g özüt olarak ölçülmüştür (Tablo 3). Bu sonuçlar, *Onosma tauricum* var. *tauricum* etilalkol:su özütünün kayda değer bir antioksidan potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Fitokimyasalların etanol-su özütündeki derişimleri (µg/g özüt)

Bileşenler	**Derişim (µg/g özüt)**
Rosmarinik asit	1467±19
Klorogenik asit	877±18
Hesperidin	138±6
Kafeik asit	67,10±0,98
p-Kumarik asit	43,20±0,07
Luteolin 7-glukosit	41,61±0,97
Luteolin	25,40±0,34
4-Hidroksibenzoik asit	14,36±0,09
3-Hidroksibenzoik asit	13,41±0,02
Hiperosit	12,09±0,29
Ferulik asit	8,85±0,75
Protokateşik asit	7,74±0,03
Verbaskosit	5,51±0,20
Vanilin	3,43±0,45
Apigenin 7-glukosit	3,36±0,01
Apigenin	3,27±0,02
Sinapik asit	0,21±0,12
(-)-Epikateşin	nd
(+)-Kateşin	nd
2-Hidroksisinnamik asit	nd
3,4-Dihidroksifenilasetik asit	nd
Ellagik asit	nd
Eriodiktiyol	nd
Gallik asit	nd
Kaempferol	nd
Pinoresinol	nd
Kuersetin	nd
Resveratol	nd
Syringik asit	nd
Taksifolin	nd

Farklı üst simgelerle işaretlenen değerler istatistiksel olarak farklıdır. nd, belirlenemedi

Elde edilen sonuçlar, demir (II) iyonları şelatlama ve radikal süpürüm (DPPH radikal ve ABTS katyon radikal) testleri için başlangıç derişimini %50 azaltan örnek derişimini IC_{50} (mg/mL) ve indirgeme gücü (CUPRAC ve FRAP) ile fosfomolibdenyum testleri için 0.500 absorbans sağlayan özüt derişimleri EC_{50} (mg/mL) olarak hesaplanarak Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Özütlerin antioksidan aktiviteleri

Testler	Aktivite
Fosfomolibdenyum (mg TEs/ g özüt)	507,27±19,53
CUPRAC indirgeme gücü (mg TEs/ g özüt)	70,80±2,29
FRAP indirgeme gücü (mg TEs/ g özüt)	42,12±2,47
DPPH radikal süpürüm (mg TEs/ g özüt)	32,20±2,04
ABTS katyon radikal süpürüm (mg TEs/ g özüt)	74,64±0,91
Demir (II) iyonları şelatlama (mg EDTAEs/ g özüt)	15,45±0,96

İfade edilen değerler üç paralel ölçümün ortalamaları ± SD'dir. Sırasıyla TEs ve EDTAEs, troloks ve etilendiamintetraasetik asit (disodyum tuzu) eşdeğerleridir.

Tablo 4. Etanol-su özütü ve standartların antioksidan aktiviteleri

Testler	Etanol-Su	Troloks	EDTA
Fosfomolibdenyum (EC_{50}: mg/mL)	0,68±0,03^b	0,34±0,03^a	-
CUPRAC indirgeme (EC_{50}: mg/mL)	2,29±0,07^b	0,162±0,004^a	-
FRAP indirgeme (EC_{50}: mg/mL)	1,15±0,07^b	0,048±0,001^a	-
DPPH radikal süpürüm (IC_{50}: mg/mL)	3,4±0,2^b	0,110±0,001^a	-
ABTS radikal süpürüm (IC_{50}: mg/mL)	1,36±0,02^b	0,102±0,005^a	-
Metal şelatlama (IC_{50}: mg/mL)	1,30±0,08^b	-	0,0201±0,0004^a

Farklı üst simgelerle işaretlenen değerler istatistiksel olarak farklıdır

3. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, *Onosma tauricum* var. *tauricum*'dan elde edilen etilalkol:su (1:1) özütünün çeşitli biyoaktif özellikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu bitki türünün potansiyel farmasötik ve nutrasötik uygulamaları açısından önemli bilgiler sunmaktadır.

Etilalkol: su özütünün %12.80 gibi kabul edilebilir bir verimle elde edilmesi, sonraki analizler için yeterli miktarda örnek sağladığını göstermektedir. Özütün toplam flavonoid içeriği 2,57 mg REs/g özüt ve toplam fenolik içeriği 21,65 mg GAEs/g özüt olarak belirlenmiştir. Bu değerler, *Onosma tauricum* var. *tauricum* etilalkol:su özütünün önemli miktarda sekonder metabolit içerdiğini işaret etmektedir. Elde edilmiş olan sonuçlara göre etanol:su özütünün hem toplam fenolik hem de toplam flavonoit içerik bakımından oldukça yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, doğal özütlerin toplam fenolik içerik miktarları (GAE değerleri olarak ifade edildiğinde) 20 mg GAEs/g özüt'den yüksek olduğunda fenolik bileşikler

açısından zengin olarak sınıflandırılırlar (Ksouri ve ark., 2012; Rodrigues ve ark., 2015) ve bu anlamda elde edilmiş olan özütün de yüksek fenolik içeriğe sahip olduğu söylenebilir. Bu çalışmada elde edilen toplam fenolik içerik ve toplam flanonoit içerik sonuçları, literatürdeki diğer verilerle karşılaştırıldığında çeşitlilik göstermektedir. Tablo 5'de gösterilmektedir.

Aynı varyete üzerinde daha önce yapılan çalışmada (Sarikurkcu ve ark., 2018), su özütü için TPC değeri 6,95 mg GAE/g özüt olarak bildirilmiştir. Çalışmamızda kullanılan etanol-su (1:1) çözücü sistemi ve ultrasonik destekli yöntem, sadece su ve maserasyon yöntemi kullanılan çalışmaya göre yaklaşık 3 kat daha fazla toplam fenolik madde elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum, etanolün fenolik bileşiklerin çözünürlüğünü artırmadaki rolünü ve ultrasonik dalgaların bitki hücre duvarını parçalayarak biyoaktif bileşenlerin salınımını kolaylaştırdığını kanıtlamaktadır.

Özütümüzün fenolik içeriği, *O. angustissima* (18,21 mg GAE/g özüt), *O. isaurica* (14,8 mg GAE/g özüt) ve *O. polyantha* (6,55-10,37 mg GAE/g özüt) gibi literatürde rapor edilen birçok türden belirgin şekilde daha yüksektir. Ancak, metanol ile hazırlanan *O. leptantha* (69,03 mg GAE/g özüt) ve *O. graeca* (24,37 mg GAE/g özüt) özütlerinin bizim çalışmamızdan daha yüksek fenolik yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar, bitkilerin genetik yapısından, toplandıkları bölgenin rakımından (çalışmamızda 1120 m) ve çevresel stres faktörlerinden kaynaklanabilmektedir.

Bulgular, *Onosma tauricum* var. *tauricum* bitkisinin etanol-su özütünün, literatürdeki bazı Onosma türleri için elde edilen toplam fenolik ve toplam flavonoid içerik açısından kıyaslandığında rekabetçi bir fitokimyasal içeriğe ve güçlü bir antioksidan aktiviteye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle ultrasonik destekli etanol-su ekstraksiyonunun, bitki içeriğinde mevcut fitokimyasalların maksimum düzeyde geri kazanmak için verimli bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

Özütün detaylı bileşen analizinde, rosmarinik asit (1466 ± 19 µg/g özüt) yüksek derişimi dikkat çekmektedir. Klorogenik asit (877 ± 18 µg/g özüt) ve hesperidin (138 ± 6 µg/g özüt) gibi diğer önemli fenolik bileşiklerin de varlığı belirlenmiştir. Gallik asit ve kuersetin gibi iyi bilinen antioksidanların elde edilmiş özüt içerisinde saptanamamış olması, özütün biyoaktif özelliklerinin yalnızca bu bileşiklerle sınırlı olmadığını düşündürmektedir.

Tablo 5. Literatür çalışmalarındaki Onosma cinslerinin; toplam fenolik içerik ve toplam flavonoit içerikleri

Bitki adı	Özütleme Yöntemi	Çözücü	TPC* (mg GAE/ g özüt)	TFC*	Kaynak
Onosma angustissima	Ultrason destekli ekstraksiyon	Su	18.21	1.59 mg RE/g özüt	(Kargın Solmaz, 2025)
Onosma polyantha	Standart ekstraksiyon	Metanol	6.55–10.37	2.71–10.78 mg QE/g özüt	(Tlili ve ark., 2020)
Onosma mollis	Standart ekstraksiyon	Metanol	6.55–10.37	2.71–10.78 mg QE/g özüt	(Tlili ve ark., 2020)
Onosma isaurica	Maserasyon	Metanol	14.8	5.6 mg QE/g özüt	(Saravanakumar ve ark., 2019)

Onosma bracteosa	Maserasyon	Metanol	13.2	4.9 mg QE/g özüt	(Saravanakumar ve ark., 2019)
Onosma erecta	Standart ekstraksiyon	Metanol	20,04	5,82 mg RE/g özüt	(Panou ve ark., 2024)
Onosma graeca	Standart ekstraksiyon	Metanol	24,37	45,80 mg RE/g özüt	(Panou ve ark., 2024)
Onosma leptantha	Standart ekstraksiyon	Metanol	69,03	27,94 mg RE/g özüt	(Panou ve ark., 2024)
Onosma tauricum var. *tauricum*	Maserasyon	Su	6.95	1.26 mg RE/g özüt	(Özer ve ark., 2018).
Onosma tauricum var. *tauricum*	Ultrasonik destekli ekstraksiyon	Etanol:su (1:1)	21.65	2.57 mg RE/g özüt	(***Bu çalışma***)

*TPC: Toplam Fenolik İçeriği, TFC: Toplam Flavonoid İçeriği

Antioksidan aktivite analizleri, *Onosma tauricum* var. *tauricum* etanol:su özütünün çeşitli mekanizmalarla serbest radikalleri giderme ve indirgeme potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Fosfomolibden yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite 507,27±19,53 mg TE/g özüt olarak bulunmuştur. CUPRAC (70,80 mg TE/g özüt), FRAP (42,12 mg TE/g özüt), DPPH (32,20 mg TE/g özüt) ve ABTS (74,64 mg TE/g özüt) testlerinde elde edilen yüksek değerler, özütün geniş spektrumlu bir antioksidan etkiye sahip olduğunu desteklemektedir. Ayrıca, demir (II) iyonlarını şelatlama aktivitesinin 15,45 mg EDTAE/g özüt olarak belirlenmesi, özütün metal kaynaklı oksidatif stresi önleme potansiyeline de işaret etmektedir.

Sonuç olarak, *Onosma taurica* var. *taurica* bitkisinden etilalkol: su çözücü karışımı yardımıyla elde edilen özütün, önemli miktarda fenolik ve flavonoid içeriği sayesinde belirgin antioksidan aktivite sergilemektedir. Bu çalışma, *Onosma tauricum* var. *tauricum* bitkisinin değerli biyoaktif bileşikler içerdiğini ve gelecekteki araştırmalar için umut verici bir kaynak olduğunu desteklemektedir. Ancak, bu bulguların in vivo çalışmalar ve klinik deneylerle desteklenmesi gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğünün mali desteği ile gerçekleştirilmiştir (Proje No: 25.ÖĞRENCİ.003).

KAYNAKLAR

Ali, A., Hussain, F., & Shahid, M. (2015). Investigation of the wound healing potential of *Onosma hispidum* root extract in rabbit models. *Progress in Nutrition, 17*(3), 245–249.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Esin Karademir, S., Erçağ, E. (2006). The cupric ion reducing antioxidant capacity and polyphenolic content of some herbal teas. *International Journal of Food Sciences and Nutrition, 57*(3–4), 292–304.

Cittan, M., Çelik, A. (2018). Development and validation of an analytical methodology based on liquid chromatography–electrospray tandem mass spectrometry for the simultaneous determination of phenolic compounds in olive leaf extract. *Journal of Chromatographic Science*, 56(4), pp. 336–343.

Gawand, N., Vivek, P., & Chhaya, G. (2015). Wound-healing activity of an oligomer of alkannin/shikonin, isolated from root bark of *Onosma echioides*. *Natural Product Research, 29*(16), 1584–1588. https://doi.org/10.1080/14786419.2014.986126

Gülçin, İ. (2025). Antioxidants: A comprehensive review. *Archives of Toxicology, 99*(5), 1893–1997. https://doi.org/10.1007/s00204-025-03997-2

Karabulut, H., & Gülay, M. Ş. (2016). Antioksidanlar. Veterinary Journal of Mehmet Akif Ersoy University, 1(1), 65-76. https://doi.org/10.24880/maeuvfd.260790

Kargın, F. Ö. S. (2025). Unlocking the biochemical secrets of *Onosma angustissima*: Aqueous extract profiling via ultrasound-assisted extraction coupled with bioactivity insights. *Health Sciences Quarterly, 5*(3), 347–362.

Kırkan, B., Sarikurkcu, C., & Zengin, G. (2022). Bioactive constituents, antioxidant effects and enzyme inhibitory properties of two *Onosma* species (*Onosma trapezuntea* and *O. rigidum*). *South African Journal of Botany, 145*, 142–148.

Kocak, M.S., Sarikurkcu, C., Cengiz, M., Kocak, S., Uren, M.C., Tepe, B., (2016). Salvia cadmica: Phenolic composition and biological activity, *Industrial Crops and Products*, 85, 204-212.

Ksouri, R., Ksouri, W. M., Jallali, I., et al. (2012). Medicinal halophytes: Potent source of health promoting biomolecules with medical, nutraceutical and food applications. *Critical Reviews in Biotechnology, 32*(3), 289–326. https://doi.org/10.3109/07388551.2011.630647

Kumar, N., Kumar, R., & Kishore, K. (2013). *Onosma* L.: A review of phytochemistry and ethnopharmacology. *Pharmacognosy Reviews, 7*(14), 140–151. https://doi.org/10.4103/0973-7847.120513

Mašković, P. Z., Diamanto, L. D., Vujić, J. M., Cvetanović, A. D., Radojković, M. M., Gadžurić, S. B., & Zengin, G. (2015). *Onosma aucheriana*: A source of biologically active molecules for novel food ingredients and pharmaceuticals. *Journal of Functional Foods, 19*(Part A), 479–486. https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.054

Naz, S., Ahmad, S., Rasool, S. A., Sayeed, S. A., & Siddiqi, R. (2006). Antibacterial activity directed isolation of compounds from *Onosma hispidum*. *Microbiological Research, 161*(1), 43–48. https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.05.001

Özer, M. S., Kırkan, B., Sarikurkcu, C., Cengiz, M., Ceylan, O., Atılgan, N., & Tepe, B. (2018). *Onosma heterophyllum*: Phenolic composition, enzyme inhibitory and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products, 111*, 179–184. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.026

Özgen, U., Houghton, P. J., Ogundipe, Y., & Coşkun, M. (2003). Antioxidant and antimicrobial activities of *Onosma argentatum* and *Rubia peregrina*. *Fitoterapia, 74*(7–8), 682–685. https://doi.org/10.1016/S0367-326X(03)00161-8

Özsoy, N., Can, A., Yanardağ, R., & Akev, N. (2008). Antioxidant activity of *Smilax excelsa* L. leaf extracts. *Food Chemistry, 110*(3), 571583. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.037

Panou, E., Zengin, G., Milic, N., Ganos, C., & Chinou, I. (2024). Comparative UPLC/HRMS-based molecular networking study on phenolic profiles and bioactivities of three medicinally important *Onosma* species (Boraginaceae). *Plants, 13*(24), 3468. https://doi.org/10.3390/plants13243468

Petrovska, B. B. (2012). Historical review of medicinal plants' usage. *Pharmacognosy Reviews, 6*(11), 1–5. https://doi.org/10.4103/0973-7847.95849

Rodrigues, M. J., Soszynski, A., Martins, A., et al. (2015). Unravelling the antioxidant potential and the phenolic composition of different anatomical organs of the marine halophyte *Limonium algarvense*. *Industrial Crops and Products, 77*, 315–322. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.061

Saravanakumar, K., Sarikurkcu, C., Sarikurkcu, R. T., & Wang, M.-H. (2019). A comparative study on the phenolic composition, antioxidant and enzyme inhibition activities of two endemic *Onosma* species. *Industrial Crops and Products, 142*, 111878. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111878

Sarikurkcu C, Kirkan B, Ozer MS, et al. (2018). Chemical characterization and biological activity of *Onosma gigantea* extracts. Industrial Crops and Products 2018; 115: 323-329.

Sarikurkcu, C., Sahinler, S. S., Ceylan, O., Tepe, B. (2020). *Onosma pulchra:* Phytochemical composition, antioxidant, skin-whitening and anti-diabetic activity. *Industrial Crops and Products, 154*, 112632.

Shukla, S., Park, J., Kim, D.-H., Hong, S.-Y., Lee, J. S., & Kim, M. (2016). Total phenolic content, antioxidant, tyrosinase and α-glucosidase inhibitory activities of water soluble extracts of noble starter culture doenjang, a Korean fermented soybean sauce variety. *Food Control, 59*, 854–861.https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.07.003

Tepe, B., Sarikurkcu, C., Berk, S., Alim, A., Akpulat, H. A. (2011). Chemical composition, radical scavenging and antimicrobial activity of the essential oils of *Thymus boveii* and *Thymus hyemali*'. *Records of Natural Products*, 5(3), pp. 208–220.

Tlili, N., Sarıkürkcü, R. T., Ceylan, O., Sarıkürkcü, C. (2021). *Onosma polyantha* vs. *Onosma mollis*: Analysis of phenolic compounds using LC-ESI-MS/MS and assessment of antioxidant activity. *Analytical Letters, 54*(9), 1389–1400. https://doi.org/10.1080/00032719.2020.1803711

Yıldırım, A. B., Karakaş, F. P., Türker, A. U. (2013). In vitro antibacterial and antitumor activities of some medicinal plant extracts growing in Turkey. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 6*(8), 616–624. https://doi.org/10.1016/S1995-7645(13)60106-6

Zengin, G., Sarıkürkcü, C., Güneş, E., Uysal, A., Ceylan, R., Uysal, S. (2015). Two *Ganoderma* species: Profiling of phenolic compounds by HPLC-DAD, antioxidant, antimicrobial and enzyme inhibitory activities. *Food & Function, 6*, 2794–2802.

SOSYAL BİLGİLER DERS KİTABINDA KİŞİ İSİMLERİ: ETİMOLOJİK KÖKEN, İSLÂMÎ BAĞLAM VE TOPLUMSAL CİNSİYET

Doç. Dr. Ahmed Emin OSMANOĞLU
Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-9212-1437

ÖZET
Ders kitaplarında yer alan kişi isimleri kültürel aidiyetleri, tarihsel sürekliliği ve toplumsal kimlikleri yansıtan sembolik temsil araçlarıdır. Ders kitabı araştırmalarında kişi isimlerinin kültürel temsil açısından sistematik olarak incelendiği çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de okutulan 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabında geçen kişi isimlerini kullanım sıklığı, etimolojik köken, İslâmî bağlam ve toplumsal cinsiyet bakımından incelemektir. Böylece, kişi isimleri aracılığıyla oluşturulan kültürel temsil örüntülerinin ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Araştırma, nitel araştırma prosedürlerine uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın veri kaynağını Millî Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabıdır. Analiz birimi kişi ismidir. Her bir isim kullanım sıklığı, etimolojik köken, İslâmî bağlam ve toplumsal cinsiyet açısından kodlanmıştır. Elde edilen veriler içerik analizine tabi tutulmuştur. Araştırmada elde edilen bulgulara göre, ders kitabında 105 farklı isim 333 kez geçmektedir. İsim kullanımı az sayıda isim etrafında yoğunlaşmaktadır. Kişi isimlerinin etimolojik köken bakımından %58,9'u Arapça, %25,5'i Türkçe kökenlidir. İsimlerin %70,0'i İslâmî bağlam taşımamaktadır. %30,0'u İslâmî bağlama sahiptir. Toplumsal cinsiyet açısından, erkek kişi isimlerinin (%70,0) kadın kişi isimlerinden (%29,7) yaklaşık 2,35 kat daha fazla temsil edilmektedir. Sonuç olarak, kişi isimlerinin rastlantısal kullanılmadığı, belirli kültürel, tarihsel ve toplumsal örüntüler doğrultusunda sembolik temsil araçları olarak işlev gördüğü anlaşılmaktadır. Araştırma, kişi isimlerinin ders kitaplarında kültürel temsili incelemede kullanılabilecek özgün bir analiz birimi olduğunu ortaya çıkararak ders kitabı araştırmaları literatürüne katkı sunmayı hedeflemektedir.
Anahtar kelimeler: sosyal bilgiler, ders kitabı, kişi isimleri

PERSONAL NAMES IN A SOCIAL STUDIES TEXTBOOK: ETYMOLOGICAL ORIGIN, ISLAMIC CONTEXT, AND GENDER

ABSTRACT
Personal names appearing in school textbooks are symbolic representational tools that reflect cultural affiliation, historical continuity, and social identity. However, studies that systematically examine personal names from the perspective of cultural representation remain limited in textbook research. This study aims to examine the personal names appearing in a fourth-grade Social Studies textbook used in Türkiye in terms of their frequency of occurrence, etymological origin, Islamic context, and gender. In doing so, it seeks to reveal the patterns of cultural representation constructed through personal names. The study was conducted in accordance with qualitative research procedures. The data source was the fourth-grade Social Studies textbook published by the Turkish Ministry of National Education. The unit of analysis consisted of personal names. Each name was coded according to its frequency of occurrence, etymological origin, Islamic context, and gender. The data were analysed using content analysis. The findings indicate that 105 different personal names appear a total of 333 times in the textbook. Name usage is concentrated around a limited number of names. In terms of etymological origin, 58.9% of the personal names are of Arabic origin, while 25.5% are of Turkish origin. Furthermore, 67.6% of the names have no Islamic context, whereas 31.5% are associated with an Islamic context. With respect to gender, male personal names

(68.5%) are represented approximately 2.2 times more frequently than female personal names (31.2%). The findings suggest that personal names are not used randomly but function as symbolic representational tools shaped by specific cultural, historical, and social patterns. The study demonstrates that personal names constitute a distinctive unit of analysis for examining cultural representation in school textbooks and seeks to contribute to the literature on textbook research.
Keywords: Social Studies, textbook, personal names

1. GİRİŞ

Ders kitapları öğretim programlarında yer alan bilgileri aktaran öğretim materyallerdir. Bu materyaller öğrencilerin belirli bilgi biçimlerini, tarihsel anlatıları, kültürel değerleri ve toplumsal aktörleri meşru kabul etmeleri üzerinde etkilidir. Bu yönüyle ideolojik ve kültürel işlevleri vardır (Apple, 1993; Kamasak vd., 2020; Liu, 2020; Mandarani vd., 2021). Toplumsal gerçekliği yansıtırken taraf tutabilir, belirli bilgi ve değerleri meşrulaştırabilir (Giroux & Penna, 1979). Öğrencilerin toplumsal dünyayı algılama biçimlerini şekillendirirken belirli kimlikleri görünür kılıp diğerlerini geri planda bırakabilir (Aldrin, 2025; Sleeter & Stillman, 2005).

Söz konusu durum, ders kitaplarında geçen kişi isimleri ile için de geçerlidir. Kişi isimleri kültürel anlamların, tarihsel hafızanın ve toplumsal kimliklerin sembolik taşıyıcısıdır. (Maximchuk, 2024; Tursunpulatovich, 2026). Eğitim yoluyla yeniden üretilen aidiyet biçimlerinin ve toplumsal temsil düzenlerinin önemli bileşenidir (Elchardus & Siongers, 2010; Tursunpulatovich, 2026). Toplumsal güç ilişkilerinin görünür göstergeleridir. Belirli isimler zaman içerisinde etnik köken, dinsel gelenek, kültürel aidiyet, sosyal sınıf veya ırksallaştırılmış kimliklerle ilişkilendirilebilmektedir. Böylece, bireysel tercihlerden çok toplumsal anlam taşıyan semboller hâline gelmektedir (Alderman vd., 2024; Amit & Dolberg, 2023; Elchardus & Siongers, 2010; Wykes, 2015). Bu yüzden rastgele kullanılmaz, özellikle seçilir, tekrarlanır ya da hiç kullanılmayarak görünmezleştirilebilir (Aldrin, 2025; Nazeer & Syed, 2023). Ders kitabı yazarlarının kullanmaya karar verdikleri isimler ve isim çeşitliliği öğrencilerin kapsanma, temsil edilme ve aidiyet algılarını etkileyebilmektedir (Nouadri, 2025).

Kişi isimlerinin gösterebildiği bu işlevler, isimleri ders kitaplarında toplumsal temsillerin incelenmesi açısından anlamlı bir analiz birimi haline getirmektedir. İsim örüntülerinin sistematik olarak incelenmesi, ders kitaplarında hangi toplumsal evrenin görünür kılındığını ve hangi kültürel temsillerin meşrulaştırıldığını ortaya koyabilecek analitik imkân sunmaktadır.

Ders kitabı araştırmaları uzun yıllardır toplumsal cinsiyet, vatandaşlık, kültürel çeşitlilik, ideoloji ve karakter temsilleri üzerine yoğunlaşmıştır (Apple, 1993; Kamasak vd., 2020; Sleeter & Stillman, 2005). Bu çalışmalar, temsil edilen kişi ve karakterlerin öğrencilere sunuluş biçiminin ideal vatandaş, ideal birey ve toplumsal rol modellerinin oluşumunda önemli işlevler üstlendiğini göstermektedir (Batmaz, 2022). Buna karşın ders kitaplarında yer alan kişi isimlerinin temsil ettikleri kültürel, tarihsel ve toplumsal anlamlar üzerinden sistematik biçimde analiz edildiği çalışmalar oldukça sınırlıdır (Aldrin, 2025). Özellikle isimlerin kökenleri, kültürel çağrışımları ve temsil ettikleri toplumsal evreni birlikte ele alan bütüncül araştırmaların eksikliği literatürde önemli bir boşluk oluşturmaktadır (Li vd., 2024; Makarova & Chernykh, 2025; Tursunpulatovich, 2026).

Türkiye'de sosyal bilgiler dersi tarihsel bilinç, kültürel miras ve vatandaşlık eğitiminin birlikte yapılandırıldığı temel derslerden biridir (Batmaz, 2022). Bu nedenle bu ders kitaplarında tercih edilen kişi isimleri anlatıyı desteklerken hangi kültürel geleneklerin, tarihsel aktörlerin ve aidiyet biçimlerinin öğrenciler açısından görünür kılındığını gösteren sembolik göstergeler olabilmektedir. İsim örüntülerinin incelenmesi, ulusal kimliğin ve kültürel temsil düzeninin eğitim yoluyla nasıl yeniden üretildiğini anlamaya katkı sağlayabilecek özgün analitik bir perspektif sunabilir.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de okutulan 4. sınıf sosyal bilgiler ders kitabında yer alan kişi isimleri aracılığıyla kurulan kültürel temsil örüntülerini incelemektir. Çalışmada kişi isimleri kültürel aidiyeti, tarihsel mirası ve toplumsal kimlikleri görünür kılan sembolik temsil aracı olarak ele alınmaktadır. Bu bağlamda, kişi isimlerinin kullanım sıklıkları, etimolojik kökenleri, İslâmî bağlamları ve toplumsal cinsiyet özellikleri analiz edilmekte, kültürel temsilin kişi isimleri üzerinden yapılandırılışının ortaya çıkarılması hedeflenmektedir.

2.1. Araştırma soruları

Bu araştırmada aşağıdaki sorulara cevap aranmaktadır.

1. Kişi isimlerinin frekans ve yüzdelik dağılım durumları nasıldır?
2. Kişi isimlerinin etimolojik kökenlerine göre durumları nasıldır?
3. Kişi isimlerinin İslâmî bağlama sahip olma durumları nasıldır?
4. Kişi isimlerinin toplumsal cinsiyet ile ilişkisi nasıldır?

3. YÖNTEM

3.1. Araştırma deseni

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde yapılandırılmış bir durum çalışması desenine dayanmaktadır. Durum çalışmaları, belirli bir olguyu kendi doğal bağlamı içinde derinlemesine incelemeyi ve olguya ilişkin anlam örüntülerini ortaya koymayı amaçlamaktadır (Hancock & Algozzine, 2016). Bu kapsamda sosyal bilgiler ders kitaplarında yer alan kişi isimleri birer durum olarak incelenmiştir.

3.2. Veri kaynağı

Araştırmada amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği kullanılmıştır. İncelenecek ders kitabının belirlenmesinde; Millî Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı tarafından ders kitabı olarak kabul edilmiş olması, araştırmanın yürütüldüğü dönemde kullanımda olması ve Sosyal Bilgiler öğretiminin başladığı ilk sınıf düzeyi olan 4. sınıfa yönelik hazırlanmış olması ölçüt olarak belirlenmiştir. Millî Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın 07.05.2025 tarih ve 132036229 sayılı kararıyla ders kitabı olarak kabul edilen Kürekli ve diğerleri (2025) tarafından hazırlanan Sosyal Bilgiler 4. sınıf ders kitabı oluşturmaktadır. Kitap 204 sayfadır. Araştırma, söz konusu ders kitabıyla sınırlandırılmıştır. Bu kitabın seçilmesinin temel nedeni, sosyal bilgiler öğretiminin ilkokul düzeyinde başladığı ilk ders kitabı olması ve öğrencilerin tarih, kültür, vatandaşlık ve toplumsal yaşama ilişkin temel kavramlarla ilk kez sistematik biçimde bu düzeyde karşılaşmalarıdır. Bu nedenle ders kitabı, kişi isimleri üzerinden oluşturulan kültürel temsil yapısını incelemek için uygun bir veri kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

3.3. Veri toplama yöntemi

Bu araştırmanın veri toplama yöntemi doküman incelemesidir. Doküman incelemesi, araştırma konusu ile ilgili yazılı ve görsel materyallerin sistematik biçimde incelenmesini sağlayan nitel araştırma yöntemidir (Bowen, 2009). Araştırmanın veri kaynağını oluşturan 4. sınıf sosyal bilgiler ders kitabı incelenen dokümandır.

Araştırmanın analiz birimi kişi ismidir. Kişi ismi, ders kitabında belirli bir bireyi tanımlayan açık özel isimdir. Bu kapsamda tarihî ve güncel kişilikler, bilim insanları, sanatçılar, devlet adamları, dinî şahsiyetler, kurmaca karakterler ve açık biçimde isimlendirilmiş diğer bireyler analiz kapsamındadır. Belirli bir bireyi işaret etmeyen öğretmen, çocuk, çiftçi gibi genel isimler; Türkler, Osmanlılar gibi topluluk isimleri, padişah, komutan gibi yalnızca unvan bildiren ifadeler, zamirler ve anonim kişi ifadeleri analiz haricindedir. Kişi isimlerinin analiz birimi olarak seçilmesi, isimlerin etimolojik köken, İslâmî bağlam ve toplumsal cinsiyet gibi araştırmada incelenen değişkenlerin aynı analiz birimi üzerinden sistematik olarak değerlendirilebilmesine imkân vermesidir. Bu yaklaşım, ders kitabında kullanılan kişi isimlerinin oluşturduğu kültürel temsil yapısının tutarlı ve karşılaştırılabilir biçimde incelenmesini mümkün kılmaktadır. Kodlama sürecinde isimler; kullanım sıklığı, etimolojik köken, İslâmî bağlam ve toplumsal cinsiyet açısından sınıflandırılmıştır.

3.3.1. Kodlama çerçevesinin geliştirilmesi

Araştırmada kullanılan kodlama çerçevesi, ders kitaplarında yer alan kişi isimlerini kültürel temsil bağlamında çok boyutlu olarak inceleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Kodlama çerçevesinin oluşturulmasında araştırmanın amacı, ilgili literatür ve içerik analizinin temel ilkeleri birlikte dikkate alınmıştır.

Kodlama sürecinin ilk aşamasında ders kitabı araştırmaları, temsil kuramı, isim bilim ve kültürel kimlik alanındaki ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir. Literatür incelemesi sonucunda kişi isimlerinin analizinde kültürel temsil açısından kullanılabilecek kavramsal boyutlar belirlenmiştir. Oluşturulan taslak kodlama çerçevesi, pilot kodlama sürecinde test edilmiştir. Uygulama sırasında ortaya çıkan belirsizlikler doğrultusunda kod tanımları gözden geçirilmiş, kapsamları netleştirilmiş ve kategoriler tutarlılık ilkeleri doğrultusunda yeniden düzenlenmiştir. Nihaî kodlama çerçevesi, kişi isimlerinin etimolojik kökeni, İslâmî bağlamı ve toplumsal cinsiyeti olmak üzere üç temel boyuttan oluşmaktadır.

3.3.2. Kodlama ilkeleri

Kodlama sürecinin tutarlılığını ve kararların nesnelliğini sağlamak amacıyla aşağıdaki temel ilkeler benimsenmiştir.

Analiz birimi kişi değil, kişi ismidir. Kodlamalar, ders kitabında açık biçimde yer alan kişi isimleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Kodlama sürecinde temel metodolojik ilke, kişi isimlerinden hareketle bireylerin dinî inançları, etnik kimlikleri, ideolojik yönelimleri veya siyasal görüşleri hakkında doğrudan çıkarım yapılmamasıdır.

Etimolojik Köken temasına ilişkin kodlamalar, isimlerin hangi dile mensup olduğuna göre Türk Dil Kurumu Kişi Adları Sözlüğü'ne (URL, 1) göre yapılmıştır. Bu bağlamda isimler Arapça, Türkçe, Farsça, karma, diğer ve belirsiz olmak üzere altı kategori altında kodlanmıştır. Etimolojik köken kodlamalarına örnek: Türk Dil Kurumu Kişi Adları Sözlüğü'nde Kemal ismi "*(kema:li), Arapça kemāl*" ve Volkan ismi "*Köken: Fr.*" şeklinde verilmektedir. Bu tanımlara göre bu isimler Arapça ve Fransızca kategorileri altına yerleştirilmiştir. Ancak ders kitabında geçen Thomas, Karl, Bolton gibi Avrupa dillerine ait isimlerin kökenlerini belirlemekte temel bir kaynak bulmada güçlük çekilmesi sebebiyle bu isimler Diğer kategorisi altında kodlanmıştır. Nurbanu, Nurcan isimleri de sözlükte sırasıyla Arapça+Türkçe, Arapça+Farsça şeklinde geçtikleri için Karma Kategorisi kapsamında kodlanmıştır.

İslâmî Bağlam temasına ilişkin kodlamalar, isimlerin tarihsel ve kültürel olarak dinî bir şahsiyetle veya anlamla ilişkilendirilip ilişkilendirilememesine göre Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi'ne (URL, 2) referans alınarak İslâmî Bağlamı Olan ve İslami Bağlamı Olmayan kategorileri altında gerçekleştirilmiştir. İslâmî bağlam kodlamalarına örnek: İslam Ansiklopedisi'nde Said ismi "Âhirette cennete girmek suretiyle mutluluğa erecek mümin anlamında bir terim." olarak tanımlanmaktadır. Bu tanıma göre isim "İslâmî bağlamı olan" kategorisinde kodlanmıştır.

Cinsiyet Kategorisi temasına ilişkin kodlamalar, isimlerin yaygın kullanımına ve gerekli durumlarda ders kitabındaki bağlamsal ipuçlarına dayandırılarak Erkek İsmi ve Kadın İsmi kategorileri altında yapılmıştır.

Toplumsal Cinsiyet temasına ilişkin kodlamalar, isimlerin yaygın kullanımı ve gerekli durumlarda ders kitabındaki bağlamsal ipuçları esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Mesela; Sümeyye, Zeynep, Fatma gibi isimler kültürel olarak kadın ismidir. Ancak, Deniz gibi bazı isimler her iki cinsiyet için de kullanılabilmektedir. Bu durumda ders kitabındaki ilgili metinde cinsiyete yönelik açıklayıcı bir ifade ya da görsel kullanımı olup olmadığına bakılmıştır. Deniz misalinde olduğu gibi ders kitabında bu isimle ilgili olarak bir erkek görseli paylaşılmıştır. Bu durumda isim, erkek kategorisine yerleştirilmiştir. Belirsizlik durumunda çıkarım yapılmamıştır. Mesela, Baalbek ismi Fenike tanrılarına ait bir isim olduğundan Belirsiz kategorisi kapsamına alınmıştır.

Kodlama sürecinde kişi adını oluşturan her isim bağımsız analiz birimi olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle birden fazla isimden oluşan kişi adlarında her isim ayrı ayrı kodlanmıştır. Mesela, "Mustafa Kemal" ifadesinde yer alan "Mustafa" ve "Kemal" isimleri bağımsız kayıtlar olarak analiz edilmiştir. Dr., Prof., Paşa, Sultan gibi unvanlar; soyisimler ve Fatih, Kanuni, Yavuz gibi lakaplar kişi ismi olarak değerlendirilmediğinden analiz kapsamına dâhil edilmemiştir. Mevcut verilerin herhangi bir kategori için yeterli olmadığı durumlarda ilgili kayıt belirsiz olarak kodlanmış, öznel yorum gerektiren çıkarımlardan kaçınılmıştır. Bu yaklaşım ile kodlama sürecinde araştırmacı öznelliğinin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Aynı kişiye ait isim, ders kitabında her geçtiğinde ayrı bir kayıt olarak kodlanmıştır. Bu yaklaşım, yalnızca ders kitabında temsil edilen isim çeşitliliğini değil, aynı zamanda belirli isimlerin görünürlük düzeyini ve kullanım sıklığını da ortaya koymayı amaçlamaktadır.

3.3.3. Kodlama kararlarının belgelendirilmesi

Kodlama sürecinin şeffaflığını, izlenebilirliğini ve denetlenebilirliğini sağlamak amacıyla araştırmada yer alan her kişi ismi için ayrı bir kod kayıt formu oluşturulmuştur. Bu formda kişi ismi, geçtiği sayfa numarası, kullanım bağlamı sistematik olarak kayıt altına alınmıştır. Böylece her kodlama kararı geriye dönük olarak izlenebilir hâle getirilmiştir.

3.4. Veri analiz yöntemi

Araştırmada içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi, görsel ve metinsel materyallerde yer alan örüntülerin, kategorilerin ve anlam yapılarının sistematik biçimde incelenmesini sağlayan bir analiz yöntemidir (Berg & Lune, 2015; Krippendorff, 2018). Elde edilen veriler frekans (f) ve yüzde (%) değerleri üzerinden analiz edilmiştir. Analiz süreci, araştırma sorularını doğrudan karşılayacak biçimde yapılandırılmıştır. Amaç, Türkiye'deki tüm sosyal bilgiler ders kitaplarına ilişkin genellemelere ulaşmak değil, incelenen ders kitabındaki kişi isimlerinin etimolojik köken, İslâmî bağlam ve toplumsal cinsiyet bakımından ortaya koyduğu temsil örüntülerini ayrıntılı biçimde betimlemektir.

4. BULGULAR

Araştırmanın bu kısmında elde edilen verilerin bulgulara dönüştürülerek sunulmasına yer verilmiştir.

4.1. Kişi isimleri ve kullanım sıklıkları

Araştırmanın birinci sorusu bağlamında Sosyal Bilgiler ders kitabında yer alan kişi isimlerinin kullanım sıklıkları belirlenmiştir. Oluşturulan frekans ve yüzdelik dağılımlar Tablo 1'de sunulmuştur:

Tablo 1. Kişi isimlerinin frekans ve yüzde dağılımı

İsim	f	%	İsim	f	%	İsim	f	%	İsim	f	%	İsim	f	%
Kemal	43	12,9	Reyhan	4	1,2	Ayça	2	0,6	Alperen	1	0,3	Murat	1	0,3
Mustafa	41	12,3	Alessandro	4	1,2	Otto	2	0,6	Ege	1	0,3	Halime	1	0,3
Kazım	10	3,0	Azra	4	1,2	Muhammed	2	0,6	Mert	1	0,3	Metin	1	0,3
Elif	10	3,0	Sümeye	4	1,2	Aydan	2	0,6	Ekrem	1	0,3	Seher	1	0,3
İsmet	8	2,4	Meltem	4	1,2	Sezgin	2	0,6	Cemre	1	0,3	Özlem	1	0,3
Selen	8	2,4	Charles	3	0,9	Erdem	2	0,6	Asya	1	0,3	Çağan	1	0,3
Utku	6	1,8	Thomas	3	0,9	Özgür	2	0,6	Sevinç	1	0,3	Nevres	1	0,3
Ömer	6	1,8	Alexander	3	0,9	Emin	2	0,6	Nurcan	1	0,3	Ziya	1	0,3
Eylül	6	1,8	Graham	3	0,9	Efe	2	0,6	Şahin	1	0,3	Rahmiye	1	0,3
Erman	5	1,5	Saip	3	0,9	Osman	2	0,6	Oğuzhan	1	0,3	Sinan	1	0,3
Ada	5	1,5	Ayhan	3	0,9	Edip	2	0,6	Kuzey	1	0,3	Bolton	1	0,3
Ali	5	1,5	Nil	3	0,9	Makbule	2	0,6	Adnan	1	0,3	Ogden	1	0,3
Deniz	5	1,5	Kayra	3	0,9	Halil	2	0,6	Neslihan	1	0,3	Wilbur	1	0,3
Sevgi	5	1,5	Comte	3	0,9	Nurbanu	2	0,6	Ebru	1	0,3	Orville	1	0,3
Volkan	4	1,2	Nasrettin	3	0,9	Fevzi	2	0,6	Baalbek	1	0,3	Humphry	1	0,3
Kaan	4	1,2	Uğur	3	0,9	Halide	2	0,6	Ezgi	1	0,3	Joseph	1	0,3
Tahsin	4	1,2	Yiğit	2	0,6	Rıza	1	0,3	Mehmed	1	0,3	Baron	1	0,3
Hasan	4	1,2	Esin	2	0,6	Gökçe	1	0,3	Öykü	1	0,3	Karl	1	0,3
İmam	4	1,2	Şenay	2	0,6	Zübeyde	1	0,3	Tayyar	1	0,3	John	1	0,3
Ayşe	4	1,2	İpek	2	0,6	Ece	1	0,3	Said	1	0,3	Martin	1	0,3
Duru	4	1,2	Zehra	2	0,6	Betül	1	0,3	Nilay	1	0,3	Kempp	1	0,3
Toplam													333	100

Tablo 1'e göre, ders kitabında farklı 105 isim, 333 kez geçmektedir. İsimlerin kullanımı dengeli bir dağılım göstermemektedir. Belirli isimler yüksek sıklıkta tekrarlanmaktadır. Çok sayıda isim ise bir veya birkaç kez kullanılmaktadır. En sık Kemal (f = 43; %12,9) ve Mustafa (f = 41; %12,3) isimleri geçmektedir. Bu iki ismi Kazım ve Elif (her biri f = 10; %3,0), İsmet ve Selen (her biri f = 8; %2,4), Utku, Ömer ve Eylül (her biri f = 6; %1,8) izlemektedir.

Bulgular, kişi isimlerinin ders kitabında eşit ortala bir seviyede kullanılmadığı, belirli isimlerin daha görünür olduğu, çok sayıda ismin sınırlı düzeyde temsil edildiğini göstermektedir.

4.2. İsimlerin etimolojik dağılım durumu

Araştırmanın ikinci sorusuna paralel olarak, ders kitabında yer alan kişi isimleri etimolojik kökenleri bakımından incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 2'de sunulmuştur:

Tablo 2. Kişi isimlerinin etimolojik kökene göre dağılımı

Etimolojik Köken	f	%
Arapça	196	58,9
Türkçe	85	25,5
Farsça	11	3,3
Karma	4	1,2
Belirsiz	1	0,3
Diğer	36	10,8

Toplam	333	100

Tablo 2'ye göre, ders kitabında yer alan kişi isimlerinin etimolojik köken bakımından ağırlıklı olarak Arapça kökenli olduğu görülmektedir (n = 196, %58,9). Arapça kökenli isimleri Türkçe kökenli isimler (n = 85, %25,5) izlemektedir. Diğer dillere ait isimler 36 kez (%10,8) kullanılarak üçüncü sırada yer alırken, Farsça kökenli isimler 11 (%3,3) kez, karma kökenli isimler 4 (%1,2) kez ve etimolojik kökeni belirlenemeyen Baalbek ismi 1 (%0,3) kez yer almaktadır.

Bu bulgulara bakıldığında kullanılan kişi isimlerinin yaklaşık beşte üçünün Arapça, dörtte birinin ise Türkçe kökenli olduğu görülmektedir. Buna karşılık Farsça, diğer dillerden gelen, karma ve kökeni belirlenemeyen isimlerin toplam temsil oranı görece düşüktür. Ders kitabındaki kişi isimlerinin etimolojik köken bakımından belirli dil kökenleri etrafında yoğunlaşmaktadır.

4.3. Kişi isimlerinin İslâmî bağlam durumu

Araştırmanın üçüncü sorusu kapsamında ders kitabında yer alan kişi isimleri, taşıdıkları İslâmî bağlam bakımından incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 3'te sunulmuştur:

Tablo 3. Kişi isimlerinin İslâmî bağlama göre dağılımı

İslâmî Bağlam	**F**	**%**
İslâmî bağlamı olan	110	30,0
İslâmî bağlamı olmayan	223	70,0
Toplam	333	100,0

Tablo 3'e göre, ders kitabında yer alan kişi isimlerinin büyük çoğunluğunun İslâmî bağlam taşımadığı görülmektedir (n = 223, %70,0). İslâmî bağlamı olan 110 isim, toplam kişi isimlerinin %30,0'unu oluşturmaktadır.

Ders kitabında kullanılan kişi isimlerinin yaklaşık üçte ikisi İslâmî bağlama sahip değilken, yaklaşık üçte biri İslâmî bağlama sahiptir. Kişi isimleri dinsel bağlam bakımından homojen bir dağılım göstermemektedir.

4.4. Kişi isimlerinin toplumsal cinsiyet durumları

Araştırmanın dördüncü sorusu kapsamında ders kitabında yer alan kişi isimleri toplumsal cinsiyet bakımından incelenmiştir. Elde edilen frekans ve yüzdelik dağılımlar Tablo 4'te sunulmuştur:

Tablo 4. İsimlerin toplumsal cinsiyete göre dağılımı

Cinsiyet	f	%
Erkek	233	70
Kadın	99	29,7
Belirsiz	1	0,3
Toplam	333	100,0

Tablo 4'e göre, ders kitabında yer alan kişi isimlerinin büyük çoğunluğu erkek ismidir. 333 kişi isminden 233'ü (%70,0) erkek, 99'u (%29,7) kadın ve 1'i (%0,3) belirsizdir. Erkek isimleri kadın kişi isimlerine göre 2,35 kat daha fazla temsil edilmektedir. Bu bulgu, ders kitabındaki kişi isimlerinin toplumsal cinsiyet bakımından dengeli bir dağılım göstermediğini ve temsilin ağırlıklı olarak erkek isimleri etrafında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kitapta 333 kişi ismi tespit edilmiştir. Bunun 84'ü (%25,2) Mustafa ve Kemal isimlerine aittir. Bu durum, Cumhuriyet'in kurucu liderinin ders kitabı anlatılarında baskın ve merkezi bir konumda

temsil edildiğini göstermektedir. Bulgular, ders kitaplarının belirli kişi ve sembolleri görünür kılarak toplumsal hafızayı ve kültürel meşruiyeti yeniden üreten metinler olduğu yönündeki yaklaşımlarla uyumludur (Apple, 1993; Giroux & Penna, 1979; Sleeter & Stillman, 2005).

Mustafa ve Kemal isimlerinin yüksek tekrar sıklığı etimolojik köken dağılımını da belirgin biçimde etkilemektedir. Bu iki isim veri setinden çıkarıldığında Arapça kökenli isimlerin oranı %58,9'dan %45,0'a düşerken, Türkçe kökenli isimlerin oranı %25,5'ten %34,1'e yükselmektedir. Böylece iki grup arasındaki fark %24,8'den %9,9'a gerilemektedir. Bu sonuç, Arapça kökenli isimlerin yüksek görünürlüğünün yalnızca bu kökene ait isimlerin tercih edilmesinden değil, Mustafa ve Kemal isimlerinin yüksek tekrar sıklığından da kaynaklandığını göstermektedir. Bununla birlikte Arapça kökenli isimlerin oranı, bu iki isim çıkarıldıktan sonra da en yüksek kategori olmayı sürdürmektedir. Bu durum, Türk toplumunda tarihsel süreç içerisinde yerleşmiş Türk-İslam isim verme geleneğinin ders kitaplarına yansıması olarak değerlendirilebilir. Aynı zamanda ders kitaplarının belirli kültürel mirasları görünür kıldığı yönündeki yaklaşımlarla da örtüşmektedir (Apple, 1993; Sleeter & Stillman, 2005). Dolayısıyla Arapça kökenli isimlerin baskınlığı tek başına etimolojik bir tercih olarak değil, tarihsel isimlendirme geleneği, ulusal tarih anlatısında öne çıkarılan aktörler ve ders kitaplarının seçici temsil mekanizmalarının birlikte ürettiği bir örüntü olarak değerlendirilebilir.

İslâmî bağlam taşıyan isimlerin oranının (%30,0), Arapça kökenli isimlerin oranından (%58,9) belirgin biçimde düşük olması, etimolojik köken ile dinsel bağlamın aynı olguya karşılık gelmediğini göstermektedir. Nitekim İslâmî bağlamı olan isimler içerisinden 41 kez geçen Mustafa ismi çıkarıldığında bu kategorinin oranı %23,6'ya düşmektedir. Bu bulgu, Arapça kökenli bir ismin veya Arapça kökenli isimlerin yüksek oranının, zorunlu olarak İslâmî bir çağrışım taşımadığını ortaya koymaktadır.

Toplumsal cinsiyet bulguları, erkek isimlerinin kadın isimlerinden yaklaşık 2,35 kat fazla temsil edildiğini göstermektedir. Mustafa ve Kemal isimleri veri setinden çıkarıldığında erkek isimlerinin oranı %70,0'den %59,8'e gerilerken, kadın isimlerinin oranı %29,7'den %39,8'e yükselmektedir. Buna rağmen erkek isimleri baskınlığını korumaktadır. Bu sonuç, ders kitaplarında erkek figürlerin kadın figürlere göre daha görünür temsil edildiğini ortaya koyan önceki araştırmalarla tutarlıdır (Aldrin, 2025; Sleeter & Stillman, 2005). Vatandaşlık eğitiminin örtük müfredatında erkekliğin daha merkezi bir konumda inşa edildiğine işaret etmektedir.

6. SINIRLILIKLAR ve ÖNERİLER

Bu araştırma yalnızca 4. sınıf sosyal bilgiler ders kitabıyla sınırlandırılmıştır. Bu nedenle bulguların farklı sınıf düzeylerine veya diğer ders kitaplarına doğrudan genellenmesi mümkün değildir. Gelecek araştırmalarda farklı sınıf düzeylerindeki ders kitaplarının birlikte incelenmesi bulguların karşılaştırılabilirliğini ve yöntemsel gücünü artıracaktır

KAYNAKLAR

Alderman, D. H., Inwood, J., & Stack, K. (2024). Taking a longer historical view of America's renaming moment: The role of Black onomastic activism within the Student Nonviolent Coordinating Committee (SNCC). *Humanities & Social Sciences Communications*, *11*(1). https://doi.org/10.1057/s41599-024-03182-3

Aldrin, E. (2025). Bias and progressiveness in textbook naming patterns: Gendered and cultural norms presented to young readers in Sweden. *Names: A Journal of Onomastics*, *73*(1), 62-74. https://doi.org/10.5195/names.2025.2751

Amit, K., & Dolberg, P. (2023). Who do you think I am? Immigrant's first name and their perceived identity. *Comparative Migration Studies*, *11*(6). https://doi.org/10.1186/s40878-023-00328-1

Apple, M. W. (1993). *Official knowledge: Democratic education in a conservative age*. Routledge.

Batmaz, O. (2022). İlkokul Hayat Bilgisi, Sosyal Bilgiler ve Türkçe ders kitaplarında yer alan şahsiyetler. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, *13*(2), 940-958.

Berg, B. L. & Lune, H. (2015). *Qualitative research methods for the social sciences*, (H. Aydın, Trans. Ed.), Eğitim Publishing.
Bowen, G. A. (2009). Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal, 9(2), 27-40.
Elchardus, M., & Siongers, J. (2010). First names as collective identifiers: An empirical analysis of the social meanings of first names. *Cultural Sociology*, *5*(3), 403–422. https://doi.org/10.1177/1749975510390748
Giroux, H. A., & Penna, A. N. (1979). Social education and the hidden curriculum. *Theory and Research in Social Education*, *7*(1), 21-42.
Hancock, D. R., & Algozzine, B. (2016). Doing Case Study Research: A Practical Guide for Beginning Researchers. Teachers College Press.
Kamasak, R., Ozbilgin, M., & Atay, D. (2020). The cultural impact of hidden curriculum on language learners: A review and some implications for curriculum design. In A. Slapac & S. A. Coppersmith (Eds.), *Beyond language learning instruction: Transformative supports for emergent bilinguals and educators* (pp. 104-125). IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1962-2.ch005
Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodolgy* (4th ed). Sage.
Li, S., Kit, C., & Cheng, L. (2024). Unveiling the landscape of onomastics from 1972 to 2022: A bibliometric analysis. *Names: A Journal of Onomastics*, *72*(3), 41-64. https://doi.org/10.5195/names.2024.2576
Liu, H. (2020). Ideologies in college EFL textbooks–A content analysis based on critical pedagogy. *Journal of Language Teaching and Research*, *11*(6), 937-942. https://doi.org/10.17507/jltr.1106.09
Makarova, O. V., & Chernykh, Y. S. (2025). Имя собственное как носитель культурного кода (на материале учебного текста) [Proper name as a carrier of cultural code (based on the material of an educational text)]. *Ученые записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. Философия. Культурология. Политология*, *11*(4), 71-82. https://doi.org/10.29039/2413-1695-2025-11-4-71-82
Mandarani, V., Purwati, O., & Santoso, D. R. (2021). A CDA perspective of cultural contents in the English junior high school textbooks. *Indonesian Journal of English Language Teaching and Applied Linguistics*, *5*(2), 237-250. https://doi.org/10.21093/ijeltal.v5i2.671
Maximchuk, N. A. (2024). Proper name in a normative scientific text. *Neofilologiya = Neophilology*, *10*(4), 838-850. https://doi.org/10.20310/2587-6953-2024-10-4-838-850
Nazeer, I., & Syed, A. F. (2023). An onomastic analysis of cross-cultural differences in English textbooks at intermediate level in Punjab. *Journal of Languages, Culture and Civilization*, *5*(2), 73-87. https://doi.org/10.47067/jlcc.v5i2.170
Nouadri, S. I. (2025). Sociocultural and identity dynamics reflected in the choice of names in school textbooks. *Atras Journal*, *6*(1), 319-338.
Sleeter, C., & Stillman, J. (2005). Standardizing knowledge in a multicultural society. *Curriculum Inquiry*, *35*(1), 27-46.
Tursunpulatovich, E. K. (2026). Linguocultural interpretation of anthroponyms. *American Academic Publishers*, *6*(1).
URL, 1: sozluk.gov.tr
URL, 2: islamansiklopedisi.org.tr
Wykes, E. J. (2015). 'What would it be reasonable for the kid to be called?' – negotiating the racialised essentialism of names. *Identities: Global Studies in Culture and Power*, *24*(1). https://doi.org/10.1080/1070289X.2015.1096272

İncelenen Ders Kitabı

Kürekli, D., Özgören, E., Gülşen, F., Yılmaz, K., Altıparmak, S., Okumuş, O. ve Savaş, Y. (2025). *Sosyal Bilgiler 4. Sınıf Ders Kitabı*. Millî Eğitim Bakanlığı. ISBN 978-975-11-8777-2.

SEDANTER BİREYLERİN SPORDA SAĞLIK OKURYAZARLIĞI BİLGİ DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Melek KURŞUNEL
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, 70100 Merkez, Karaman
ORCID ID: 0000-0001-9707-7271
Dr. Öğr. Üyesi Öznur AKPINAR
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, 70100 Merkez, Karaman
ORCID ID: 0000-0002-8775-8724
Doç. Dr. Hande BABA KAYA
Düzce University, Faculty of Science, Merkez 81000, Düzce
ORCID ID: 0000-0002-7910-3461
Prof. Dr. Selahattin AKPINAR
Düzce University, Faculty of Science, Merkez 81000, Düzce
ORCID ID: 0000-0002-1676-4465

ÖZET

Giriş: Sağlık okuryazarlığı son zamanlarda popüler araştırma konularından biri haline gelmiştir. Sağlık denince spor akla gelen parametrelerden bir tanesidir. Özellikle spor yapan bireylerin sağlık okuryazarlık düzeyinin daha yüksek olması beklenir. **Amaç:** Araştırmanın amacı sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeylerinin farklı değişkenler açısından incelenmesidir. **Yöntem:** Araştırmaya 149 sedanter birey (kadın:58, erkek:91) gönüllü olarak katılmıştır. Araştırmada Demografik Bilgiler anketi ile Sporda Sağlık Okuryazarlığı anketi kullanılmıştır. Verilerin analizinde frekans (n), ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (ss) kullanılmıştır. Normal dağılım analizi sonucuna göre korelasyon analizi kullanılmıştır. Tüm analizler Jamovi (2.3.21.0) istatistik programında %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılmıştır. **Bulgular:** Katılımcıların orta düzeyde sporda sağlık okuryazarlık düzeyine sahip olduğu ve çoğunluğunun düzenli olarak spor yaptığı belirlenmiştir. Katılımcıların sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri ile yaş, beden kütle indeksi ve günlük uyku süreleri ile aralarında anlamlı bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). **Sonuç:** Sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeyleriyle ilişkili farklı değişkenler olabilir. İleride yapılacak olan çalışmalarda bireylerin meslekleri, sağlıkla ya da sporla ilgili bilgi düzeyleri de incelenebilir.

Anahtar kelimeler: Düzenli spor, sağlık okuryazarlığı, beden kütle indeksi

A STUDY OF THE LEVELS OF HEALTH LITERACY KNOWLEDGE IN SPORTS AMONG PEOPLE WHO ARE SEDENTARY

ABSTRACT

Introduction: Health literacy has recently become one of the most popular research topics. When it comes to health, sports is one of the first things that come to mind. In particular, individuals who engage in sports are expected to have a higher level of health literacy. **Purpose:** The purpose of this study is to examine the levels of health literacy in sports among sedentary individuals in terms of various variables. **Method:** 149 sedantery (female:58, male:91) participated in the study voluntarily. The study utilized the Demographic Information Survey and the Health Literacy in Sports Survey. Frequency (n), mean ($\bar{x}$) and standard deviation (ss) were used in the analysis of the data. According to the results of the normal distribution analysis correlation analysis were used. All analyses were performed in Jamovi (2.3.21.0) statistical program with 95% confidence interval and 0.05 significance level. **Results:** It was determined

that the participants had an intermediate level of sports health literacy and that the majority of them engaged in regular physical activity. No significant relationship was found between the participants' levels of sports health literacy and their age, body mass index, or daily sleep duration ($p>0.05$). **Conclusion**: There may be various factors associated with the level of health literacy in sports among sedentary individuals. Future studies could also examine individuals' occupations and their levels of knowledge regarding health or sports.
Keywords: Regular exercise, health literacy, body mass ındex

1. GİRİŞ

Çağımızın sorunlarından olan kronik hastalıkların giderek artışı tüm dünya genelinde gerek sağlık gerek ekonomik gerek de sosyal yükü oluşturan halk sağlığı sorunlarındandır. Kronik hastalıklar; kardiyovasküler hastalıklar, kanser, diyabet ve kronik solunum rahatsızlıkları başta olmak üzere her yıl dünya genelinde 36 milyondan fazla ölüme neden olmaktadır (Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2020). İnsanoğlu tarih boyunca dinç ve sağlıklı kalabilmenin birçok farklı yolunu aramış ve bundan dolayı kuvvetli bir iskelet, güçlü kaslar, hareket kabiliyetini sınırlandırmadan büyük bir açı ile yapabilme becerisi, elastik ve dayanıklı kas yapısı oluşturmaya çalışmışlardır (MacAuley, 1994). Modern yaşam tarzı, bireylerin fiziksel aktivite düzeylerini düşürmekte ve sedanter yaşam biçimini yaygınlaştırmaktadır. Son yıllarda teknolojik gelişmeler ve sanayileşmede meydana gelen ilerlemenin devam etmesi ile fiziksel hareketlilik azalmasıyla ülkemizde ve dünyada ciddi sağlık sorunlarının temel nedenlerini oluşturmuş yaşam kalitesini olumsuz yönde etkilemiştir (Nh & Popkin., 2012).

Günümüzde bireylerin sağlıklı yaşam biçimlerine yönelmesiyle birlikte sağlık okuryazarlığı kavramı hem bireysel hem de toplumsal sağlık için kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Nutbeam, 2008; Sørensen ve ark., 2012). Sporda sağlık okuryazarlığı kavramı, literatürde Koç ve Karadağ (2025) tarafından ortaya konulmuş ve bireylerin sağlıklı yaşam davranışları geliştirme, beslenme, sporda ilk yardım bilgi ve becerisi kazanma ile sporda sağlıklı ortam farkındalığını artırmaya yönelik çabalarını tanımlamak için kullanılmıştır (Koç ve Karadağ, 2025). Sporda sağlık okuryazarlığının önemli unsurlarından biri olan sporda ilk yardım bilgi ve becerisi, herhangi bir kaza ya da hayati tehlike durumunda, kişinin sağlık durumunun kötüye gitmesini önlemek, spor sırasında meydana gelebilecek yaralanmaların etkilerini en aza indirmek veya hayati tehlike oluşturabilecek durumları ortadan kaldırmak amacıyla olay yerinde ilaçsız olarak yapılan müdahaleler olarak tanımlanmaktadır (Koç ve Karadağ, 2025; Fathy Mohamed Mahran ve ark., 2021).

Beden eğitimi ve spor öğretmeni adaylarının beslenme, sporda ilkyardım ve sağlıklı ortam farkındalıklarının incelendiği bir araştırmada; cinsiyet ve düzenli fiziksel aktivite yapma durumlarına göre farklılıklar tespit edilmiştir. Bu sonuçlar sporda sağlık okuryazarlığının bireysel ve davranışsal farklılıklar içerebileceğini göstermiştir (Koç, 2025). Bir başka araştırmada ise amatör ve profesyonel sporcuların sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri incelenmiştir. İstatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar tespit edilmese de sporcuların amatör ve profesyonel olma ile cinsiyet açısından ölçek puanlarında farklılıklar olduğu görülmüştür (Umay ve ark., 2025). Literatür incelemesinde sporcularda ve sedanter bireylerde yapılmış az sayıda araştırma sporda sağlık okuryazarlığının çeşitli faktörlerden etkilendiğini göstermektedir. Özellikle sedanter fakat düzenli spor yapan bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeylerinin incelenmesi bu alanda yapılacak olan çalışmalara ışık tutacaktır. Bu bağlamda bu araştırmanın amacı sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri çeşitli değişkenlere göre incelenecektir.

2. MATREYAL VE METHOT

2.1. Araştırmanın modeli: Araştırmada toplanacak veriler kesitsel bir zaman diliminde toplanacağından, elde edilecek verilerin aralarındaki ilişki ortaya çıkarılması hedeflendiğinden araştırmanın modeli ilişkisel tarama modelidir. Betimsel ilişkisel tarama modeli 'bir olay veya durum olduğu gibi betimlenmekte ve bu duruma neden olan değişkenlerin ilişkisi, etkisi ve derecesi' belirlenmeye çalışılmaktadır (Karasar, 2020).

2.2. Araştırmanın örneklemi: Araştırmaya 18 yaşından büyük sedanter 149 (kadın:58, erkek:91) birey gönüllü olarak katılmıştır. Katılımcıların yaş ortalaması (21.76±2.2), boy uzunluğu ortalaması (173.9±8.6) ve vücut ağırlığı ortalaması (68.3±12.4) değerindedir. Katılımcıların demografik özellikleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Katılımcıların demografik özellikleri

	Grup	**f**	**%**
Sigara Kullanım Durumu?	Evet	66	44.3
	Hayır	83	55.7
Alkol Kullanım Durumu?	Evet	48	32.2
	Hayır	101	67.8
Kronik Hastalık Durumu?	Var	11	7.4
	Yok	138	92.6
Spor Yapma Durumu?	Evet	85	57
	Hayır	64	43
Beden Kütle İndeksi Sınıflaması	Zayıf	14	9.4
	Normal Kilolu	107	71.8
	Fazla Kilolu	28	18.8

2.3. Veri Toplama Araçları: Araştırmada veri toplama aracı olarak demografik bilgiler anketi ile sporda sağlık okuryazarlığı anketi kullanılmıştır**.**

2.3.1. Demografik Bilgiler Anketi: Araştırmacılar tarafından hazırlanacak demografik bilgiler anketinde; katılımcıların yaşı, sigara ve alkol kullanım durumu, kronik hastalık durumu gibi değişkenler yer almaktadır.

2.3.2. Sporda Sağlık Okuryazarlığı Anketi: Araştırmada katılımcıların sporda sağlık okuryazarlık düzeylerini belirlemek için Koç ve Karadağ (2025) tarafından geliştirilen 'Sporda Sağlık Okuryazarlığı Ölçeği' kullanılmıştır. Ölçek 18 madde, 3 alt boyuttan oluşan 5'li likert tipi bir derecelendirmeye sahip ölçektir (Tamamen katılmıyorum-Tamamen katılıyorum). Ölçeğin alt boyutları sağlıklı yaşam davranışı ve beslenme (madde: 1,2,3,4,5,6,7,8), sporda ilkyardım bilgisi ve becerisi (madde:9,10,11,12,13,14) ve sporda sağlıklı ortam (madde: 15,16,17,18) şeklindedir. Ölçekten alınabilecek puanlar sonucunda 18-36 puan: düşük, 37-71 puan orta ve 72-90 puan: yüksek sporda sağlık okuryazarlığı anlamına gelmektedir. Ölçeğin iç güvenirlik katsayısı; sağlıklı yaşam davranışı ve beslenme cronbach α:0.74, sporda ilkyardım bilgisi ve becerisi cronbach α: 0.86, sporda sağlıklı ortam cronbach α:0.81, ve ölçeğin cronbach α:0.88 değerindedir. Bu çalışmada ise ölçeğin sağlıklı yaşam davranışı ve beslenme cronbach α:0.82, sporda ilkyardım bilgisi ve becerisi cronbach α:0.81, sporda sağlıklı ortam cronbach α:0.77, ve ölçeğin cronbach α: 0.87 değerindedir.

2.3.4. Araştırmanın Etik İzni: Bu araştırmanın etik kurul izni Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Karar sayısı:2026/409, tarih: 23.07.2026).

2.4. Verilerin Analizi: Verilerin analizinde frekans (n), yüzde (%), ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (ss) kullanılmıştır. Normal dağılım analizi sonucuna göre çarpıklık ve basıklık

değerlerinin istenilen aralıkta (±1.5) yani normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Tabachnick & Fidell, 2013). Bu sonuca göre Pearson's korelasyon analizi kullanılmıştır. Tüm analizler Jamovi (2.3.21.0) istatistik programında %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılmıştır.

2.3.3. Beden Kütle İndeksinin Belirlenmesi (BKİ): Sedanter kadınların öncelikle boy uzunlukları ve vücut ağırlıkları elektronik Stadiometre ile belirlenecektir. Katılımcıların boy ve vücut ağırlıkları değerleri belirlendikten sonra beden kütle indeksi (BKİ) elde edilen verilere göre hesaplanacaktır. BKİ indeksi: ölçülen ağırlığın (kg) boy (metre (m)) değerinin karesine bölünmesi anlamına gelmektedir (BKİ = ağırlık ((kg)/boy (cm^2)) (World Health Organization, 2000).

3. BULGULAR

Tablo 3.1. Katılımcıların günlük uyku süresi, beden kütle indeksi ve sporda sağlık okuryazarlığı ortalamaları

Değişken	N	X̄	Ss	Basıklık	Çarpıklık
Günlük Uyku süresi (saat/gün)	149	7.02	1.7	0.29	1.26
Beden Kütle İndeksi (kg/cm^2)	149	22.46	3.0	0.45	0.62
Sağlıklı Yaşam Davranışı ve Beslenme A.B. (puan)	149	29.03	5.3	-0.49	0.44
Sporda İlkyardım Bilgisi ve Becerisi A.B. (puan)	149	21.54	4.6	-0.35	-0.14
Sporda Sağlıklı Ortam A.B. (puan)	149	15.21	3.4	-0.84	0.60
Sporda Sağlık Okuryazarlığı Ölçek (puan)	149	65.79	11.6	-0.57	0.56
A.B: Alt Boyut					

Tablo incelendiğinde katılımcıların günlük uyku süresi, beden kütle indeksi ve sporda sağlık okuryazarlığı ölçek alt boyutları puan ortalamaların basıklık ve çarpıklık değerlerinin normal dağılım gösterdiği görülmektedir. Katılımcıların korelasyon analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Katılımcıların yaş, BKİ, uyku süresi ve sporda sağlık okuryazarlığı pearson's korelasyon analiz sonuçları

Değişkenler	Yaş	Beden Kütle İndeksi	Uyku Süresi
Yaş	---		
Beden Kütle İndeksi	0.031	---	
Uyku Süresi	-0.033	-0.122	---
Sporda Sağlık Okuryazarlığı	0.111	0.031	0.070

Tablo incelendiğinde katılımcıların yaş ile beden kütle indeksi, uyku süresi ve sporda sağlık okuryazarlığı puanları arasında istatistiksel açıdan anlamlı ilişki olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Katılımcıların beden kütle indeksi ile uyku süresi ve sporda sağlık okuryazarlığı arasında istatistiksel açıdan anlamlı ilişki olmadığı görülmüştür ($p>0.05$). Katılımcıların uyku süresi ile sporda sağlık okuryazarlığı arasında istatistiksel açıdan anlamlı ilişki olmadığı görülmüştür ($p>0.05$).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlığı bazı değişkenlere göre incelenmiştir. Öncelikle sedanter bireylerin orta düzeyde sporda sağlık okuryazarlık düzeyine sahip olduğu görülmüştür. Örneklem grubundaki bireylerin aynı zamanda %57'sinin de düzenli olarak spor yaptığı bilinmektedir. Bu bulgu spor yapan bireylerin sağlık okuryazarlık düzeyiyle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Araştırmanın bir diğer bulgusu ise bireylerin sporda sağlık okuryazarlık puanları ile yaş, beden kütle indeksi ve uyku sürelerinin birbiri ile ilişkili olmadığıdır. Örneklem grubunun beden kütle indeksinin normal kilolu sınıfında olması, günlük ortalama uyku sürelerinin tavsiye edilen miktarlarda olması ve çoğunluğunun düzenli olarak spor yapıyor olması sağlıklı yaşam hakkında bilinçli bir varlığına işaret ettiği söylenebilir. Yapılan bir çalışmada da amatör ve profesyonel sporcuların sağlık okuryazarlık düzeylerinde sayısal farklılıklar olsa da bu farklılığın istatistiksel açıdan anlamlı olmadığı görülmüştür (Umay ve ark., 2025). Bu çalışmada sporda sağlık okuryazarlık anketi değil sağlık okuryazarlık anketi kullanılmıştır. Sporda sağlık okuryazarlık anketi ile yapılan bir araştırmada rekreatif amaçlı aktivite sıklığının sporda sağlık okuryazarlık düzeyi ile ilişkisinin olup olmadığının araştırıldığı bir araştırılmıştır. Rekreatif amaçlı fiziksel aktivite sıklığının artıkça sporda sağlık okuryazarlık düzeyinin de arttığı saptanmıştır (Aydın ve Dertli, 2026). Bu bakımdan değişkenler ile sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri arasında pozitif ilişki beklenmesi normaldir. Fakat çalışmada kullanılan sporda sağlık okuryazarlığı ölçeğinin sporcularda daha belirgin sonuçlar verebileceğini akla getirmektedir. Beden eğitimi ve spor öğretmeni adaylarında yapılan bir araştırmada düzenli fiziksel aktivite yapan katılımcıların daha yüksek düzeyde sporda sağlık okuryazarlık düzeyine sahip olduğu belirlenmiştir (Koç, 2025).

Sonuç olarak sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri orta düzeydedir denebilir. Sedanter bireylerin sporda sağlık okuryazarlık düzeyleri ile yaşları, günlük uyku süreleri, beden kütle indeksleri arasında ilişki yoktur denebilir.

KAYNAKLAR

Aydın, G., & Dertli, Ş. (2026). Rekreasyonda Algılanan Sağlık Çıktılarının Sporda Sağlık Okuryazarlığına Etkisi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *20*(1), 74-89.

Bakanlığı, T. S. (2020). Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü. *Aile Hekimliği. Erişim Adresi: https://ailehekimligi.gov.tr/ana-cocuk-sal/cocuk-sal/545-tuvalet-eitimi-.html (Erişim Tarihi: 21.06. 2026)*.

Fathy Mohamed Mahran, E., Sadek Abd El-Hameed, H., Abd Elrazek Mahmuod, A., Fathy Mohy, E., & Deen, H. (2021). Safety measures and first aid educational program among sports school students and their staff regarding sports ınjuries. *Journal of Nursing Science Benha University*, 2(2), 29-42.

Karasar, N. (2020). Bilimsel irade algı çerçevesi ile bilimsel araştırma yöntemi. *Nobel Akademi*.

Koç, H. (2025). Sporda Sağlık Okuryazarlığı: Beden Eğitimi ve Spor Öğretmeni Adaylarının Beslenme, Sporda İlk Yardım ve Sağlıklı Ortam Farkındalıklarının İncelenmesi. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *45*(3), 897-914.

Koç, H., & Karadağ, A. (2025). Sağlık okuryazarlığı: Sporda sağlık okuryazarlığı üzerine ölçek geliştirme çalışması. *SPORMETRE Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi, 23*(1), 84-97.

MacAuley, D. (1994). A history of physical activity, health and medicine. *Journal of the Royal Society of Medicine*, *87*(1), 32-35.

Ng, S. W., & Popkin, B. M. (2012). Time use and physical activity: a shift away from movement across the globe. *Obesity reviews*, *13*(8), 659-680.
Nutbeam, D. (2008). The evolving concept of health literacy. *Social Science & Medicine*, 67(12), 2072–2078.
Sørensen, K., Van den Broucke, S., Fullam, J., Doyle, G., Pelikan, J., Slonska, Z., & Brand, H. (2012). Health literacy and public health: A systematic review and integration of definitions and models. *BMC Public Health*, 12(1), 80.
Tabachnick, B. G., Fidell, L. S., & Ullman, J. B. (2013). *Us#ng mult#var#ate stat#st#cs* (Vol. 6, pp. 497-516). Boston, MA: pearson.
Umay, B., Yıldırım, E., & Koç, H. (2025). Amatör ve Profesyonel Sporcularda Sağlık Okuryazarlık Düzeyinin İncelenmesi. *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, *19*(3), 420-429.
World Health Organisation, (2000). Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation (WHO Technical Report Series 894).

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN SAĞLIKLI HAYAT TARZINDA ETKİLİ OLAN FAKTÖRLER

Doç. Dr. Melek KURŞUNEL
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, 70100 Merkez, Karaman
ORCID ID: 0000-0001-9707-7271
Dr. Öğr. Üyesi Öznur AKPINAR
Karamanoğlu Mehmetbey University, Faculty of Science, 70100 Merkez, Karaman
ORCID ID: 0000-0002-8775-8724
Doç. Dr. Hande BABA KAYA
Düzce University, Faculty of Science, Merkez 81000, Düzce
ORCID ID: 0000-0002-7910-3461
Prof. Dr. Selahattin AKPINAR
Düzce University, Faculty of Science, Merkez 81000, Düzce
ORCID ID: 0000-0002-1676-4465

ÖZET
Üniversite dönemi, bireylerin yaşam biçimlerini kalıcı olarak şekillendirdikleri, beslenme alışkanlıkları, fiziksel aktivite düzeyleri, stres yönetimi ve genel sağlık davranışlarının önemli ölçüde değiştiği kritik bir gelişim evresidir. Bu dönemde kazanılan sağlıklı ya da sağlıksız yaşam tarzı alışkanlıkları, bireyin ilerleyen yaşlardaki fiziksel ve ruhsal sağlığını doğrudan etkilemektedir. Araştırmanın amacı üniversite öğrencilerinin sağlıklı hayat tarzı düzeyleri ve bununla ilişkili faktörlerin incelenmesidir. Araştırmaya üniversitede öğrenim gören 150 (kadın:79, erkek:71) öğrenci gönüllü olarak katılmıştır. Araştırmada Demografik Bilgiler anketi ile Sağlıklı Hayat Tarzı ölçeği kullanılmıştır. Verilerin analizinde frekans (n), ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (ss) kullanılmıştır. Normal dağılım analizi sonucuna göre Pearson's' korelasyon analizi kullanılmıştır. Tüm analizler Jamovi (2.3.21.0) istatistik programında %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılmıştır. Katılımcıların çoğunluğunun normal kilolu sınıfında yer aldığı ve düzenli spor yaptığı belirlenmiştir. Katılımcıların yaşları ile beden kütle indeksi arasında pozitif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$). Katılımcıların uyku süreleri ile beden kütle indeksleri arasında negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$). Katılımcıların beden kütle indeksleri ile sağlıklı hayat tarzı ölçek puanları arasında negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı hayat tarzı benimsemelerinin, öğrencilerinin beden kütle indeksleri ile uyku sürelerinde üzerinde olumlu etkiye sahip olabilir.
Anahtar kelimeler: Düzenli yaşam alışkanlıkları, sağlıklı hayat, beden kütle indeksi

FACTORS THAT INFLUENCE THE HEALTH BEHAVIOURS OF UNIVERSITY STUDENTS

ABSTRACT
College is a critical stage of development, when individuals permanently establish their lifestyles. Their dietary habits, levels of physical activity, stress management and overall health behaviours undergo significant changes during this period. The lifestyle habits acquired during this period have a direct impact on an individual's physical and mental health in later years. The aim of this study is to assess university students' levels of healthy lifestyles, and the factors associated with them. A total of 150 university students (female:79, male:71) took part in the study on a voluntary basis. The study used the Demographic Information Questionnaire and the Healthy Lifestyle Scale. The data analysis used frequency (n), mean ($\bar{x}$) and standard deviation

(sd). Based on the results of the normality test, Pearson's correlation analysis was performed. All analyses were performed using Jamovi statistical software (version 2.3.21.0) at a 95% confidence interval and a significance level of 0.05. It was found that most participants were of normal weight and exercised regularly. A statistically significant positive correlation was found between participants' ages and body mass index (BMI) ($p<0.05$). Similarly, a statistically significant negative correlation was found between sleep duration and body mass index ($p<0.05$). Additionally, a statistically significant negative correlation was observed between body mass index and healthy lifestyle scale scores ($p<0.05$). A healthy lifestyle, as adopted by university students, may have a positive effect on two things: their body mass index and their sleep duration.
Keywords: Healthy lifestyle habits, healthy living and body mass index

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verileri hem kadınların hem de erkeklerin tavsiye edilen günlük enerji harcamasını gerçekleştirmediği ve fiziksel hareketsizlik prevalansının giderek arttığı yönündedir (WHO, 2023). Türkiye örnekleminde 7 farklı coğrafi bölgede 34 ildeki 4205 yetişkin üzerinden yapılan bir araştırmada nüfusun %56'sının obez sınıfında yer aldığı görülmüştür (İşeri ve Arslan, 2019). Bu noktada bireylerin fiziksel olarak aktif olmaları hem sağlık hem de küresel sağlık yükü bağlamında son derece önem arz etmektedir. Fiziksel olarak aktif bir toplumun günümüz teknoloji çağında zorlukları olmakla beraber, fiziksel aktiviteden keyif alınması ya da interaktif oyunlar gibi eğlenceli aktiviteler bu durumu olumluya çevirebilmektedir.

Fiziksel aktivitenin devamlılığı noktasında sübjektif değerlendirmelerin olumlu pekiştirmelere (aktiviteden hoşlanma, keyif alma vb.) aktivitenin devam etmemesi veya kaçınma davranışı da olumsuz pekiştirmeler (kötü aktivite deneyimi, sıkıcı veya ilgi çekici olmaması vb.) sayesinde olabilmektedir (Teixeria ve ark., 2021). Yapılan bir araştırmada orta yaşlı bireylerin %44,3'ünün fiziksel aktivitelerden hoşlandığı; cinsiyet açısından ise herhangi bir farklılık olmadığı görülmüştür (Buonsenso ve ark., 2021). Yapılan çalışmalar bireylerin aktif bir yaşam tarzı benimsemesinin sadece fiziksel sağlığı değil mental sağlığı da olumlu anlamda desteklediği yönündedir (Mcmahon ve ark., 2017; Chekroud ve ark., 2018; Stubbs ve ark., 2018). Fiziksel aktiviteyle ideal vücut kompozisyonuna ulaşma, kardiyorespiratuar uygunluk, kassal dayanıklılık ve güçlü kemiklerin yanında mental ve sosyal sağlık da kazanılabilmektedir (Kapoor ve ark., 2022). Üniversite öğrencileri toplum içerisinde hem genç nüfusu oluşturmakta hem de sağlıklı hayat tarzı benimseme noktasında incelenen gruplar arasında yer almaktadır.

Sağlıklı hayat tarzı, bireylerin fiziksel, ruhsal ve sosyal yönden iyi olma halini sürdürebilmesi için düzenli fiziksel aktivite yapması, dengeli beslenmesi, yeterli uyku alışkanlığı kazanması ve stresle etkili başa çıkabilmesini içeren bütüncül bir yaşam biçimidir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre sağlıklı yaşam davranışları, kronik hastalıkların önlenmesinde ve yaşam kalitesinin artırılmasında temel belirleyiciler arasında yer almaktadır (World Health Organization, 2020). Üniversite dönemi ise bireylerin çocukluktan yetişkinliğe geçiş yaptığı, yaşam tarzı alışkanlıklarının büyük ölçüde şekillendiği kritik bir dönemdir. Bu süreçte öğrenciler akademik yoğunluk, sosyal çevre değişimi ve ekonomik faktörler nedeniyle sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürmede çeşitli zorluklar yaşayabilmektedir.

Araştırmalar, üniversite öğrencilerinde fiziksel inaktivite, düzensiz beslenme ve uyku bozukluklarının yaygın olduğunu göstermekte; bu durumun hem fiziksel sağlık hem de akademik başarı üzerinde olumsuz etkiler oluşturduğu vurgulanmaktadır (American College Health Association, 2022). Ayrıca modern yaşamın getirdiği teknolojik bağımlılık ve sedanter yaşam tarzı, genç yetişkinlerde obezite ve metabolik hastalık riskini artırmaktadır (Ng &

Popkin, 2012). Sağlıklı hayat tarzı davranışlarının kazandırılmasında bireysel farkındalığın yanı sıra çevresel ve sosyal destek sistemleri de önemli rol oynamaktadır. Bu bağlamda üniversite öğrencilerinin sağlıklı hayat tarzı davranışlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi hem sağlık eğitimi programlarının geliştirilmesi hem de koruyucu sağlık hizmetlerinin planlanması açısından önem taşımaktadır. Elde edilecek bulgular, genç yetişkinlerde sağlıklı yaşam kültürünün geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. MATREYAL VE METHOT

2.1. Araştırmanın modeli: Araştırmada toplanacak veriler kesitsel bir zaman diliminde toplanacağından, elde edilecek verilerin aralarındaki ilişki ortaya çıkarılması hedeflendiğinden araştırmanın modeli ilişkisel tarama modelidir. Betimsel ilişkisel tarama modeli 'bir olay veya durum olduğu gibi betimlenmekte ve bu duruma neden olan değişkenlerin ilişkisi, etkisi ve derecesi' belirlenmeye çalışılmaktadır (Karasar, 2020).

2.2. Araştırmanın örneklemi: Araştırmaya üniversitede öğrenim gören 150 (kadın:79, erkek:71) öğrenci gönüllü olarak katılmıştır. Katılımcıların yaş ortalaması (26.07±8.6), boy uzunluğu ortalaması (171.5±8.7) ve vücut ağırlığı ortalaması (70.1±15.6) değerindedir. Katılımcıların demografik özellikleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Katılımcıların demografik özellikleri

	Grup	**f**	**%**
Sigara Kullanım Durumu?	Evet	59	39.3
	Hayır	91	60.7
Alkol Kullanım Durumu?	Evet	50	33.3
	Hayır	100	66.7
Kronik Hastalık Durumu?	Var	15	10
	Yok	135	90
Spor Yapma Durumu?	Evet	79	52.7
	Hayır	71	47.3
Beden Kütle İndeksi Sınıflaması	Zayıf	10	6.7
	Normal Kilolu	89	59.3
	Fazla Kilolu	38	25.3
	Obez	13	8.7

2.3. Veri Toplama Araçları: Araştırmada veri toplama aracı olarak demografik bilgiler anketi ile sporda sağlık okuryazarlığı anketi kullanılmıştır.

2.3.1. Demografik Bilgiler Anketi: Araştırmacılar tarafından hazırlanacak demografik bilgiler anketinde; katılımcıların yaşı, sigara ve alkol kullanım durumu, kronik hastalık durumu gibi değişkenler yer almaktadır.

2.3.2. Sağlıklı Hayat Tarzı Ölçeği*:* Araştırmada katılımcıların sağlıklı hayat tarzı düzeylerini belirlemek için Gökkaya (2025) tarafından geliştirilen 'Sağlıklı Hayat Tarzı Ölçeği' kullanılacaktır. Ölçek 32 madde, 4 alt boyuttan oluşan 7'li likert tipi bir derecelendirmeye sahip ölçektir (Hiçbir zaman-Her zaman). Ölçeğin alt boyutları spor aktivitesi (madde:1,2,3,4,5,6,7), sağlığı koruma ve geliştirme (madde:8,9,10,11,12,13,14,15,16), sağlık ve beslenme (madde:17,18,19,20,21,22,23) ve kişilerarası ilişkiler, maneviyat ve stres yönetimi (madde:24,25,26,27,28,29,30,31,32) şeklindedir. Ölçeğin iç güvenirlik katsayısı; spor aktivitesi cronbach α:89, sağlığı koruma ve geliştirme cronbach α: 0.91, sağlık ve beslenme cronbach α:0.91, kişilerarası ilişkiler, maneviyat ve stres yönetimi cronbach α:0.91 ve ölçeğin cronbach α:0.96 değerindedir. Bu çalışmada ise ölçeğin spor aktivitesi cronbach α:0.92, sağlığı koruma

ve geliştirme cronbach α:0.86, sağlık ve beslenme cronbach α:0.94, kişilerarası ilişkiler, maneviyat ve stres yönetimi cronbach α:0.93 ve ölçeğin cronbach α:0.94 değerindedir.

2.3.3. Beden Kütle İndeksinin Belirlenmesi (BKİ): Sedanter kadınların öncelikle boy uzunlukları ve vücut ağırlıkları elektronik Stadiometre ile belirlenecektir. Katılımcıların boy ve vücut ağırlıkları değerleri belirlendikten sonra beden kütle indeksi (BKİ) elde edilen verilere göre hesaplanacaktır. BKİ indeksi: ölçülen ağırlığın (kg) boy (metre (m)) değerinin karesine bölünmesi anlamına gelmektedir (BKİ = ağırlık ((kg)/boy (cm^2)) (World Health Organization, 2000).

2.3.4. Araştırmanın Etik İzni: Bu araştırmanın etik kurul izni Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan alınmıştır (Karar:2026/407, tarih: 23.07.2026).

2.4. Verilerin Analizi: Verilerin analizinde frekans (n), yüzde (%), ortalama ($\bar{x}$) ve standart sapma (ss) kullanılmıştır. Normal dağılım analizi sonucuna göre çarpıklık ve basıklık değerlerinin istenilen aralıkta (±3.5) yani normal dağılım gösterdiği belirlenmiştir (Kline, 2011). Bu sonuca göre Pearson's korelasyon analizi kullanılmıştır. Tüm analizler Jamovi (2.3.21.0) istatistik programında %95 güven aralığı ve 0,05 anlamlılık düzeyinde yapılmıştır.

3. BULGULAR

Tablo 3.1. Katılımcıların günlük uyku süresi, beden kütle indeksi ve sağlıklı hayat tarzı ortalamaları

Değişken	N	X̄	Ss	Basıklık	Çarpıklık
Günlük Uyku süresi (saat/gün)	150	7.3	1.6	1.18	2.15
Beden Kütle İndeksi (kg/cm²)	150	23.7	4.2	0.48	0.55
Spor Aktivitesi A.B. (puan)	150	33.4	10.0	-0.31	-0.74
Sağlığı Koruma ve Geliştirme A.B. (puan)	150	46.5	11.0	-0.54	-0.40
Sağlıklı Beslenme A.B. (puan)	150	31.0	10.9	-0.28	-0.73
Kişilerarası ilişkiler, Maneviyat ve Stres Yönetimi A.B. (puan)	150	49.7	10.9	-0.96	0.83
Sağlıklı Hayat Tarzı Ölçeği (puan)	150	160.6	33.1	-0.46	-0.02
A.B: Alt Boyut, Ss: Standart sapma					

Tablo incelendiğinde katılımcıların günlük uyku süresi, beden kütle indeksi ve sporda sağlık okuryazarlığı ölçek alt boyutları puan ortalamaların basıklık ve çarpıklık değerlerinin normal dağılım gösterdiği görülmektedir. Katılımcıların korelasyon analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Katılımcıların yaş, BKİ, uyku süresi ve sağlıklı hayat tarzı Pearson's korelasyon analiz sonuçları

Değişkenler	Yaş	Beden Kütle İndeksi	Uyku Süresi
Yaş	---		
Beden Kütle İndeksi	0.40***	---	
Uyku Süresi	-0.01	-0.23**	---
Sağlıklı Hayat Tarzı Ölçeği	0.05	-0.21*	0.13
**p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001*			

Tablo 3.2 incelendiğinde katılımcıların yaşları ile beden kütle indeksi arasında pozitif yönde ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$). Katılımcıların beden kütle indeksi ile uyku süresi arasında negatif yönde ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$). Katılımcıların beden kütle indeksi ile sağlıklı hayat tarzı puanları arasında negatif yönde anlamlı ilişki tespit edilmiştir ($p<0.05$).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada üniversite öğrencilerinin sağlıklı hayat tarzı, bazı değişkenlere göre incelenmiştir. Sağlıklı hayat tarzı; düzenli fiziksel aktivite, dengeli beslenme, yeterli uyku, stres yönetimi ve zararlı alışkanlıklardan uzak durma gibi birden fazla davranışın bütüncül bir şekilde uygulanmasını kapsamaktadır. Ancak bu davranışların bireyler tarafından ne düzeyde benimsendiği ve hangi faktörlerden etkilendiği, sağlık davranışlarının geliştirilmesi açısından önemli bir araştırma alanıdır. Üniversite öğrencilerinde sağlıklı yaşam tarzını etkileyen faktörlerin belirlenmesi hem bireysel sağlık düzeyinin iyileştirilmesine hem de toplum sağlığının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Bu araştırmada öncelikle üniversite öğrencilerinin çoğunluğunun beden kütle indeksi olarak normal kilolu grupta yer aldığı ve düzenli olarak spor yaptığı belirlenmiştir. Bu bulgu düzenli spor yapan bireylerin sağlıklı hayat tarzı ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Araştırmanın bir diğer bulgusu ise öğrencilerin sağlıklı hayat tarzı puanlarının artıkça, beden kütle indeksi puanlarının azaldığı belirlenmiştir. Üniversite öğrencilerinde beslenme alışkanlıkları ve fiziksel aktivite düzeylerinin düşük olmasının öğrencilerin sağlıklı yaşam biçimi davranış puanlarının düşük olması ile ilişkilendirildiği bilinmektedir (Erdoğan ve ark., 2022). Sağlıklı yaşam biçimini beslenme, uyku, fiziksel aktivite ve sigara ve alkol kullanımı gibi birçok değişkenin etkilediği bilinmektedir. Sporlar iç içe olan spor bilimleri fakültesi öğrencilerinde yapılmış bir araştırmada öğrencilerin obezite farkındalık düzeylerinin ve egzersiz motivasyonlarının artışının, öğrencilerin sağlıklı yaşam davranış puanlarının artışı ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Kaya, 2026). Bu araştırmada araştırma grubu spor bilimleri fakültesinde eğitim gören öğrenciler olmasa da öğrencilerin çoğunluğunun düzenli olarak spor yapıyor olması bu araştırmanın sonucu destekler niteliktedir. Sağlıklı hayat tarzının benimsenmesi öğrencilerin düzenli spor yapmaları ve uygun beden kütle indeksi değerlerine sahip olmalarını sağlamış olması düşünülebilir. Sonuç olarak üniversite öğrencilerinin günlük uyku süreleri azaldıkça, beden kütle indeksleri puanları artmaktadır. Öğrencilerin yaşları artıkça beden kütle indeks puanları da artmaktadır. Öğrencilerin sağlıklı hayat tarzı puanları artıkça, beden kütle indeksi puanları düşmektedir.

KAYNAKLAR

American College Health Association. (2022). National College Health Assessment III: Undergraduate Student Reference Group Executive Summary.

Buonsenso, A., Fiorilli, G., Mosca, C., Centorbi, M., Notarstefano, C.C., Di Martino, G., Calcagno, G., Intrieri, M., & Di-Cagno, A. (2021). Exploring the Enjoyment of the Intergenerational Physical Activity. *Journal of Functional and Morphology Kinesiology*, 6(2):51.

Chekroud, S. R., Gueorguieva, R., Zheutlin, A. B., Paulus, M., Krumholz, H. M., Krystal, J. H., & Chekroud, A. M. (2018). Association between physical exercise and mental health in 1· 2 million individuals in the USA between 2011 and 2015: a cross-sectional study. *The lancet psychiatry*, *5*(9), 739-746.

Erdoğan, R., Tel, M., Tan, Ç., & Tan, S. (2022). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarının ve fiziksel aktivite düzeylerinin araştırılması. *Gaziantep Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi*, *7*(4), 326-337.

Gökkaya, D. (2025). Healthy Lifestyle Scale (HELİS): A scale development research. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 16*(45), 53-68

İşeri, A., & Arslan, N. (2009). Obesity in adults in Turkey: age and regional effects. *European Journal of Public Health*, 19(1), 91–94.

Kapoor, G., Chauhan, P., Singh, G., Malhotra, N., & Chahal, A. (2022). ‘’Physical Activity for Health and Fitness: Past, Present and Future. *Journal of Lifestyle Medicine*, 12(1), 9-14.

Kaya, E. Ö. Spor Bilimleri Fakültesi Öğrencilerinin Obezite Farkındalığı ve Egzersiz Motivasyon Düzeylerinin Sağlıklı Yaşam Tarzlarına Etkisinin İncelenmesi. *Uluslararası Bozok Spor Bilimleri Dergisi*, *7*(1), 63-84.

Karasar, N. (2020). *Bilimsel irade algı çerçevesi ile bilimsel araştırma yöntemi*. Nobel Akademi.

Kline, R. (2011). *Principles and practice of structural equation modeling* (3nd Ed. b.). New York: Guilford

Mcmahon, E.M., Corcoran, P., O’regan, G., Keeley, H., Cannon, M., Carli, V., Wasserman, C., Hadlaczky, G., Sarchiapone, M., Apter, A., Balazs, J., Balint, M., Bobes, J., Brunner, R., Cozman, D., Haring, C., Iosue, M., Kaess, M., Kahn, J.P., Nemes, B., Podlogar, T., Poštuvan, V., Sáiz, P., Sisask, M., Tubiana, A., Värnik, P., Hoven, C.W., & Wasserman, D. (2017). Physical activity in Europea Adolescents and associations with anxiety, depression and well-being. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 26(1), 111-122.

Stubbs, B., Vancampfort, D., Firth, J., Schuch, F.B., Hallgren, M., Smith, L., Gardner, B., Kahl, K.G., Veronese, N., Salmi, M., Carvalho, A.F., & Koyanagi, A. (2018). Relationship Between sedentary behavior and depression: A mediation analysis of influential factors Across the life span among 42,469 people in low and middle-income countries. *Journal of Affective Disorders*, 229, 231–8.

Teixeira, D.S., Rodrigues, F., Machado, S., Cid, L., & Monteiro, D. (2021). Did You Enjoy It? The Role of Intensity-Trait Preference/Tolerance in Basic Psychological Needs and Exercise Enjoyment. *Frontiers Psychology*, 12:682480.

World Health Organisation, (2000). Obesity: Preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation (WHO Technical Report Series 894).

World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour.*

World Health Organization. (2023). 2023 progress report on the Global Action Plan for Healthy Lives and Well-being for All. Erişim tarihi: 21.06.2026, Erişim Adresi: https://www.who.int/initiatives/sdg3-global-action-plan

HEMŞİRELİKTE DÖNÜŞÜMÜN DİNAMİKLERİ: EĞİTİM, KLİNİK UYGULAMALAR VE ARAŞTIRMALARDA YENİLİKLER

Hamiyet KIZIL
Dr.Öğr. Üyesi, , Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Hemşirelik Fakültesi, İstanbul, Türkiye
Assisant Professor, University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Nursing, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0722-589X
Merdiye ŞENDİR
Profesör, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Hemşirelik Fakültesi, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
Professor, University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Nursing, Fundamentals of Nursing Department, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8243-1669

ÖZET

Amaç: Bu sistematik derleme, hemşirelikte dönüşümü şekillendiren yenilikçi yaklaşımları eğitim, klinik uygulamalar ve araştırmalar olmak üzere üç temel alanda bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, bu yeniliklerin hemşirelik bakımının kalitesine, hasta güvenliğine, eğitim çıktıları ile araştırma süreçlerine katkılarının ortaya konulması hedeflenmiştir.

Yöntem: Derleme, PRISMA 2020 rehberi doğrultusunda planlanmıştır. PubMed, Scopus, Web of Science ve CINAHL veri tabanlarında 2020–2026 yılları arasında yayımlanan İngilizce tam metin araştırmalar sistematik olarak taranmıştır. Arama stratejisinde "nursing", "innovation", "digital health", "artificial intelligence", "simulation", "virtual reality", "telehealth", "robotics", "research methods" ve "education" anahtar sözcükleri kullanılmıştır. Dahil edilme ölçütlerini karşılayan çalışmalar tam metin olarak incelenmiş ve bulgular tematik analiz yöntemiyle sentezlenmiştir.

Bulgular ve Tartışma: İncelenen çalışmalar, hemşirelikte yeniliklerin üç temel eksende yoğunlaştığını göstermektedir. Eğitim alanında yapay zekâ destekli öğrenme ortamları, sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları, yüksek gerçeklikli simülasyonlar, dijital öğrenme platformları ve oyunlaştırma temelli öğretim yöntemlerinin bilgi, beceri ve klinik karar verme yeterliliğini geliştirdiği bildirilmiştir. Klinik uygulamalarda klinik karar destek sistemleri, elektronik sağlık kayıtları, telehemşirelik, mobil sağlık uygulamaları, giyilebilir teknolojiler, robotik sistemler ve akıllı hasta izlem çözümlerinin bakım kalitesini artırdığı, hasta güvenliğini güçlendirdiği ve iş yükünü azalttığı belirlenmiştir. Araştırma alanında ise yapay zekâ destekli veri analizi, büyük veri analitiği, dijital veri toplama yöntemleri, açık bilim uygulamaları ve çok merkezli dijital araştırmaların kanıt üretim süreçlerini hızlandırdığı ve araştırma kalitesini artırdığı görülmüştür. Bununla birlikte, etik ilkeler, veri güvenliği, dijital yeterlilik ve teknolojilere eşit erişim konularının sürdürülebilir dönüşüm açısından önemini koruduğu vurgulanmaktadır.

Sonuç: Hemşirelikte eğitim, klinik uygulamalar ve araştırmalarda geliştirilen yenilikçi yaklaşımlar, bakımın kalitesini ve güvenliğini artırırken mesleğin dijital dönüşümünü de hızlandırmaktadır. Bu dönüşümün sürdürülebilirliği için hemşirelerin dijital yetkinliklerinin güçlendirilmesi, yenilikçi teknolojilerin kanıta dayalı uygulamalarla bütünleştirilmesi ve etik ilkeler doğrultusunda kullanılması önem taşımaktadır.

DYNAMICS OF TRANSFORMATION IN NURSING: INNOVATIONS IN EDUCATION, CLINICAL PRACTICE AND RESEARCH

Objective: This systematic review aimed to comprehensively evaluate innovative approaches shaping the transformation of nursing across three key domains: education, clinical practice, and research. In addition, it sought to identify the contributions of these innovations to the quality of nursing care, patient safety, educational outcomes, and research processes.
Methods: This review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. A systematic search was performed in the PubMed, Scopus, Web of Science, and CINAHL databases to identify full-text articles published in English between 2020 and 2026. The search strategy included the keywords *nursing*, *innovation*, *digital health*, *artificial intelligence*, *simulation*, *virtual reality*, *telehealth*, *robotics*, *research methods*, and *education*. Studies meeting the inclusion criteria were reviewed in full text, and the findings were synthesized using thematic analysis.
Results and Discussion: The reviewed studies demonstrated that innovations in nursing are concentrated within three major domains. **In nursing education,** artificial intelligence supported learning environments, virtual and augmented reality applications, high fidelity simulation, digital learning platforms, and gamification-based teaching methods were found to enhance knowledge acquisition, clinical skills, and clinical decision making competencies. **In clinical practice**, clinical decision support systems, electronic health records, telenursing, mobile health applications, wearable technologies, robotic systems, and smart patient monitoring solutions were reported to improve the quality of nursing care, strengthen patient safety, and reduce nurses' workload. **In nursing research,** artificial intelligence assisted data analysis, big data analytics, digital data collection methods, open science practices, and multicenter digital research were found to accelerate evidence generation and improve research quality. Nevertheless, ethical principles, data security, digital competencies, and equitable access to emerging technologies remain critical considerations for achieving sustainable transformation.
Conclusion: Innovative approaches in nursing education, clinical practice, and research contribute significantly to improving the quality and safety of care while accelerating the digital transformation of the nursing profession. Ensuring the sustainability of this transformation requires strengthening nurses' digital competencies, integrating innovative technologies into evidence-based practice, and promoting their ethical and responsible use.
Keywords: Nursing; Innovation; Digital Health; Artificial Intelligence; Nursing Education; Clinical Practice; Nursing Research; Patient Safety.

KAYNAKLAR

Chan, V. C., & Hequembourg, A. (2026). Applications of generative artificial intelligence in undergraduate nursing education: A scoping review. *Journal of Professional Nursing, 64*, 7–19. https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2026.02.005

Cho, M. K., & Kim, M. Y. (2024). Enhancing nursing competency through virtual reality simulation among nursing students: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine, 11*, Article 1351300. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1351300

George, R., & Titus, S. K. (2024). Benefits and barriers of using virtual reality in teaching undergraduate nursing students: A scoping review. *Nurse Educator, 49*(5), E244–E249. https://doi.org/10.1097/NNE.0000000000001660

Hardie, P., Darley, A., Derwin, R., Eustace-Cook, J., Kearns, S., et al. (2026). Applications, attitudes and ethical considerations of generative artificial intelligence (Gen AI) in nursing

education: A scoping review. *BMC Nursing, 25*, 148. https://doi.org/10.1186/s12912-025-04253-9
Liu, W., Mu, W., Zhang, Y., Su, Y., & Yu, T. (2026). Virtual reality applications in emergency nursing education: A scoping review. *BMC Medical Education*. Advance online publication. https://doi.org/10.1186/s12909-026-09767-7
Rahman, M. I. (2026). Algorithmic bias and transparency in artificial intelligence tools for nursing education: A scoping review. *Nurse Education in Practice, 92*, 104756. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104756
Serrão, A. S. R., Teixeira, L. A., Serrão, G. M. P., Comarú, M. W., Pierini, M. F., Mota, F. B., & Lopes, R. M. (2026). Virtual reality in nursing education: Integrating technology, pedagogy, and learning outcomes—A scoping review. *Nurse Education in Practice, 95*, 104905. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104905
Vogelsang, L., Wright, S., Risling, T., et al. (2024). Exploring the use of immersive virtual reality in nursing education: A scoping review. *Clinical Simulation in Nursing, 97*, 101648. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2024.101648

1. Giriş

Son yıllarda sağlık hizmetlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler, değişen hasta gereksinimleri, kronik hastalıkların artışı, yaşlanan nüfus, küresel salgınlar ve sağlık sistemlerinde sürdürülebilirlik arayışları hemşirelik mesleğinin rol ve sorumluluklarını önemli ölçüde değiştirmiştir. Geleneksel bakım anlayışının yerini giderek daha fazla teknoloji destekli, veri temelli ve hasta merkezli bakım modelleri almaktadır. Bu dönüşüm süreci yalnızca yeni teknolojilerin kullanılmasını değil; aynı zamanda hemşirelerin bilgi, beceri ve karar verme süreçlerinin yeniden yapılandırılmasını da gerektirmektedir. Bu nedenle hemşirelikte yenilik (innovation), bakım kalitesini artıran teknolojik ürünlerin geliştirilmesinin ötesinde eğitimden klinik uygulamaya ve araştırma süreçlerine kadar uzanan çok boyutlu bir değişim süreci olarak değerlendirilmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO), sağlık sistemlerinin geleceğinde dijital teknolojilerin güvenli, erişilebilir ve sürdürülebilir biçimde kullanılmasının evrensel sağlık kapsamına ulaşmada temel stratejilerden biri olduğunu vurgulamaktadır. Özellikle dijital sağlık uygulamalarının sağlık profesyonellerinin iş yükünü azaltması, bakımın sürekliliğini sağlaması, hasta güvenliğini artırması ve klinik karar verme süreçlerini desteklemesi beklenmektedir. Benzer şekilde Uluslararası Hemşireler Konseyi (International Council of Nurses, ICN) de dijital dönüşümün başarılı olabilmesi için hemşirelerin teknoloji okuryazarlığının geliştirilmesi, yapay zekâ uygulamalarının etik ilkeler doğrultusunda kullanılması ve dijital yetkinliklerin hem temel hem de lisansüstü hemşirelik eğitimine entegre edilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Hemşirelikte dijital dönüşümün en önemli bileşenlerinden biri yapay zekâ teknolojileridir. Son yıllarda makine öğrenmesi, derin öğrenme, doğal dil işleme ve üretken yapay zekâ uygulamaları yalnızca klinik karar destek sistemlerinde değil; eğitim materyallerinin hazırlanması, kişiselleştirilmiş öğrenme ortamlarının oluşturulması, elektronik sağlık kayıtlarının analiz edilmesi ve araştırma verilerinin değerlendirilmesi gibi çok farklı alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle ChatGPT ve benzeri büyük dil modellerinin yaygınlaşmasıyla birlikte hemşirelik eğitiminde bireyselleştirilmiş öğrenme, senaryo geliştirme, geri bildirim sağlama ve akademik yazım süreçlerinde yeni fırsatlar ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte algoritmik önyargı, veri güvenliği, şeffaflık, akademik dürüstlük ve etik sorumluluk gibi konular da güncel tartışmalar arasında yer almaktadır.

Eğitim alanındaki yenilikler yalnızca yapay zekâ ile sınırlı değildir. Sanal gerçeklik (Virtual Reality, VR), artırılmış gerçeklik (Augmented Reality, AR), karma gerçeklik (Mixed Reality,

MR), yüksek gerçeklikli simülasyonlar, dijital öğrenme platformları ve oyunlaştırma uygulamaları hemşirelik öğrencilerinin psikomotor becerilerinin geliştirilmesinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle yüksek riskli ancak klinik ortamda tekrar edilmesi güç olan uygulamaların güvenli simülasyon ortamlarında gerçekleştirilebilmesi, öğrencilerin hata yapma kaygısını azaltırken klinik özgüvenlerini ve karar verme becerilerini güçlendirmektedir. Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler, sürükleyici sanal gerçeklik uygulamalarının bilgi kazanımı, klinik beceri, öz yeterlilik ve öğrenme memnuniyeti üzerinde anlamlı olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir.

Klinik uygulamalarda ise dijital teknolojilerin kullanımı hasta bakımının birçok boyutunu değiştirmektedir. Elektronik sağlık kayıtları, klinik karar destek sistemleri, mobil sağlık uygulamaları, telehemşirelik hizmetleri, uzaktan hasta izlem sistemleri, giyilebilir teknolojiler ve robotik çözümler bakımın daha güvenli, daha hızlı ve daha kişiselleştirilmiş şekilde sunulmasına katkı sağlamaktadır. Yapay zekâ destekli erken uyarı sistemleri sayesinde klinik kötüleşme riski taşıyan hastalar daha erken belirlenebilmekte; elektronik karar destek sistemleri ilaç hatalarının azaltılmasına katkıda bulunmakta; uzaktan izlem teknolojileri ise özellikle kronik hastalıkların yönetiminde bakım sürekliliğini güçlendirmektedir. Bunun yanında dijital sağlık teknolojileri, hemşirelerin zaman yönetimini iyileştirerek doğrudan hasta bakımına ayrılan sürenin artırılmasına olanak sağlayabilmektedir.

Araştırma süreçleri de dijital dönüşümden önemli ölçüde etkilenmektedir. Geleneksel veri toplama ve analiz yöntemlerinin yerini giderek daha büyük örneklemleri kapsayan elektronik veri tabanları, büyük veri analitiği, doğal dil işleme teknikleri ve yapay zekâ destekli analiz yöntemleri almaktadır. Elektronik sağlık kayıtlarından elde edilen gerçek yaşam verileri (Real World Data), hemşirelik araştırmalarında klinik sonuçların değerlendirilmesi, bakım kalitesinin izlenmesi ve sağlık hizmetlerinin planlanması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca açık bilim uygulamaları, veri paylaşımı, ön kayıt sistemleri ve çok merkezli dijital araştırmalar araştırmaların şeffaflığını, tekrarlanabilirliğini ve uluslararası iş birliğini desteklemektedir.

Bununla birlikte dijital dönüşüm süreci yalnızca teknolojik gelişmelerle açıklanabilecek bir olgu değildir. Teknolojilerin etkili biçimde kullanılabilmesi için hemşirelerin dijital okuryazarlık düzeylerinin artırılması, etik ilkelere uygun kullanımın sağlanması, veri güvenliğinin korunması ve sağlık hizmetlerine erişimde eşitsizliklerin azaltılması gerekmektedir. Yapay zekâ sistemlerinin şeffaflığı, algoritmik önyargılar, kişisel sağlık verilerinin korunması ve insan merkezli bakım anlayışının sürdürülmesi günümüzde hemşirelikte dijital dönüşümün en önemli tartışma alanlarını oluşturmaktadır. Bu nedenle teknoloji ile hemşirelik bakımının bütünleştirilmesi yalnızca teknik bir dönüşüm değil, aynı zamanda etik, eğitsel ve yönetsel boyutları bulunan kapsamlı bir paradigma değişimi olarak ele alınmalıdır.

Son yıllarda hemşirelik alanında yapay zekâ, dijital sağlık, sanal gerçeklik, robotik sistemler ve büyük veri analitiğine ilişkin çalışmalar hızla artmasına rağmen, bu yenilikleri eğitim, klinik uygulamalar ve araştırmalar olmak üzere üç temel eksende birlikte değerlendiren güncel sistematik derlemelerin sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar çoğunlukla belirli bir teknolojiye ya da tek bir uygulama alanına odaklanmakta; yeniliklerin hemşirelik mesleğinin bütüncül dönüşümüne etkisini kapsamlı biçimde ele almamaktadır. Bu durum, mevcut kanıtların sentezlenmesini ve gelecekteki araştırmalara yön verecek kapsamlı değerlendirmelerin yapılmasını gerekli kılmaktadır.

Bu sistematik derleme, PRISMA 2020 rehberi doğrultusunda son yıllarda yayımlanan güncel kanıtları inceleyerek hemşirelikte dönüşümü şekillendiren yenilikçi yaklaşımları eğitim, klinik uygulamalar ve araştırmalar olmak üzere üç temel alanda bütüncül olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca bu yeniliklerin hemşirelik bakımının kalitesi, hasta güvenliği, eğitim

çıktıları ve araştırma süreçleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması, dijital dönüşümün sunduğu fırsatlar ile etik ve yönetsel gereksinimlerin birlikte tartışılması hedeflenmektedir.

2. Yöntem

Bu çalışma, hemşirelikte eğitim, klinik uygulamalar ve araştırma alanlarında kullanılan yenilikçi yaklaşımları kapsamlı olarak değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilen sistematik bir derlemedir. Araştırmanın planlanması, yürütülmesi ve raporlanması süreçleri sistematik derlemeler için uluslararası standart olarak kabul edilen Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) rehberi doğrultusunda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın tüm aşamalarında sistematiklik, şeffaflık ve tekrarlanabilirlik ilkeleri benimsenmiştir.

Araştırma sorusunun oluşturulmasında PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome) yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu doğrultuda Population (P) bileşenini hemşireler ve hemşirelik öğrencileri oluştururken, Intervention (I) bileşenini hemşirelik eğitiminde, klinik uygulamalarda ve araştırmalarda kullanılan yapay zekâ, üretken yapay zekâ uygulamaları, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, karma gerçeklik, yüksek gerçeklikli simülasyon, telehemşirelik, mobil sağlık uygulamaları, elektronik sağlık kayıtları, klinik karar destek sistemleri, robotik teknolojiler, giyilebilir sağlık teknolojileri ve diğer dijital sağlık uygulamaları oluşturmuştur. Comparison (C) bileşeni geleneksel eğitim yöntemleri, rutin hemşirelik uygulamaları veya teknoloji kullanılmadan yürütülen bakım ve araştırma süreçleri olarak tanımlanmıştır. Outcome (O) bileşenini ise bilgi ve beceri düzeyindeki gelişim, klinik karar verme yeterliliği, bakım kalitesi, hasta güvenliği, klinik performans, iş yükünün azaltılması, öğrenme çıktılarının geliştirilmesi ve araştırma süreçlerinin etkinliğinin artırılması oluşturmuştur. Bununla birlikte, derlemenin kapsamı geniş olduğundan ve dâhil edilen çalışmalar arasında farklı araştırma tasarımları bulunduğundan, karşılaştırma grubu bulunmayan ancak diğer dâhil edilme ölçütlerini karşılayan çalışmalar da değerlendirmeye alınmıştır.

Literatür taraması PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science Core Collection ve CINAHL Complete veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama süreci Ocak–Mart 2026 tarihleri arasında yürütülmüş ve Ocak 2020 ile Mart 2026 tarihleri arasında yayımlanan İngilizce tam metin çalışmalar değerlendirilmiştir. Arama stratejisi oluşturulurken Medical Subject Headings (MeSH) terimleri ile serbest anahtar sözcüklerden yararlanılmış, veri tabanlarının özelliklerine göre uygun sözdizimi uyarlamaları yapılmıştır. Arama sürecinde "nursing", "innovation", "digital health", "artificial intelligence", "generative artificial intelligence", "machine learning", "virtual reality", "augmented reality", "mixed reality", "simulation", "telehealth", "telenursing", "robotics", "clinical decision support systems", "electronic health records", "wearable technology", "research methods" ve "nursing education" anahtar sözcükleri Boolean operatörleri (AND, OR) kullanılarak farklı kombinasyonlarda taranmıştır.

Araştırmaya 2020–2026 yılları arasında yayımlanmış, İngilizce tam metnine ulaşılabilen, hakem değerlendirme sürecinden geçmiş ve hemşirelik eğitimi, klinik uygulamaları veya hemşirelik araştırmalarında kullanılan yenilikçi teknolojileri değerlendiren özgün nicel, nitel, karma yöntemli araştırmalar ile sistematik derlemeler dâhil edilmiştir. Editöre mektuplar, editoryal yazılar, görüş yazıları, kongre özetleri, tezler, kitap bölümleri, tam metnine ulaşılamayan çalışmalar ve hemşirelik dışındaki sağlık profesyonellerini temel alan araştırmalar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır.

Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar referans yönetim programına aktarılarak yinelenen kayıtlar veri setinden çıkarılmıştır. Daha sonra çalışmaların başlık ve özetleri araştırma sorusu doğrultusunda değerlendirilmiş, uygun olduğu düşünülen yayınlar tam metin olarak incelenmiştir. Tam metin değerlendirmesi sonucunda dâhil edilme ölçütlerini karşılayan

çalışmalar sistematik derlemeye alınmıştır. Çalışmaların seçimi ve değerlendirilmesi PRISMA 2020 akış diyagramı doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Dâhil edilen her çalışma için standart bir veri çıkarım formu hazırlanmış ve çalışmalar; yazar, yayın yılı, ülke, araştırma tasarımı, örneklem özellikleri, kullanılan yenilikçi teknoloji, uygulama alanı, temel bulgular ve hemşirelik bakımına katkıları açısından sistematik olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmaların güçlü yönleri, sınırlılıkları ve gelecekteki araştırmalara yönelik önerileri de kayıt altına alınmıştır.

Derlemeye dâhil edilen çalışmaların metodolojik kalitesi Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Tools kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma tasarımlarındaki farklılıklar dikkate alınarak randomize kontrollü çalışmalar, yarı deneysel çalışmalar, kesitsel araştırmalar ve sistematik derlemeler için JBI tarafından önerilen ilgili kritik değerlendirme kontrol listeleri kullanılmıştır. Çalışmalar; örneklem seçimi, randomizasyon, körleme, veri toplama yöntemleri, sonuç ölçütlerinin geçerlilik ve güvenirliği, istatistiksel analizlerin uygunluğu ve olası yanlılık riskleri açısından incelenmiştir. Metodolojik açıdan ciddi sınırlılık taşıyan çalışmalar değerlendirme dışında bırakılmış, yeterli kaliteye sahip çalışmalar bulguların sentezlenmesinde kullanılmıştır. Kalite değerlendirmesi sonuçları, bulguların yorumlanması ve kanıt düzeyinin değerlendirilmesinde dikkate alınmıştır.

Dâhil edilen çalışmaların araştırma tasarımları, örneklem özellikleri, kullanılan yenilikçi teknolojiler ve raporlanan sonuç ölçütleri bakımından belirgin klinik ve metodolojik heterojenlik göstermesi nedeniyle nicel veri sentezi (meta-analiz) yapılmamıştır. Bunun yerine bulgular tematik analiz yaklaşımı kullanılarak nitel olarak sentezlenmiştir. Analiz sürecinde çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiş, ortak özellik gösteren bulgular kodlanmış ve benzer içerikler bir araya getirilerek temalar oluşturulmuştur. Elde edilen bulgular; (1) hemşirelik eğitiminde yenilikçi yaklaşımlar, (2) klinik uygulamalarda yenilikçi teknolojiler ve (3) hemşirelik araştırmalarında yenilikçi uygulamalar olmak üzere üç ana tema altında değerlendirilmiştir. Her tema kapsamında kullanılan teknolojiler, hemşirelik bakımına sağladıkları katkılar, uygulamadaki avantajları, sınırlılıkları ve geleceğe yönelik potansiyelleri bütüncül bir yaklaşımla yorumlanmıştır.

Bu sistematik derleme yayımlanmış çalışmaların analizine dayandığından etik kurul onayı gerektirmemektedir. Bununla birlikte araştırmanın tüm aşamalarında bilimsel araştırma ve yayın etiği ilkelerine uyulmuş, yararlanılan tüm çalışmalar uygun şekilde kaynak gösterilmiş ve raporlama süreci PRISMA 2020 ilkeleri doğrultusunda yürütülmüştür.

3. Bulgular

İncelenen çalışmalar, hemşirelikte yenilikçi uygulamaların üç temel alanda yoğunlaştığını göstermektedir: hemşirelik eğitimi, klinik uygulamalar ve hemşirelik araştırmaları. Her bir tema kapsamında kullanılan teknolojiler ve uygulama biçimleri farklılık göstermekle birlikte, yenilikçi yaklaşımların genel olarak bilgi ve beceri gelişimini destekleme, bakım kalitesini yükseltme, hasta güvenliğini güçlendirme ve araştırma süreçlerini hızlandırma amaçları etrafında şekillendiği belirlenmiştir.

3.1. Hemşirelik Eğitiminde Yenilikçi Yaklaşımlar

Hemşirelik eğitimi alanında incelenen çalışmalarda yapay zekâ destekli öğrenme sistemleri, üretken yapay zekâ uygulamaları, sanal gerçeklik, artırılmış gerçeklik, karma gerçeklik, yüksek gerçeklikli simülasyon, dijital öğrenme platformları ve oyunlaştırma temelli öğretim yöntemlerinin öne çıktığı görülmüştür. Ayrıca sanal hasta senaryoları, mobil öğrenme uygulamaları, uyarlanabilir öğrenme sistemleri ve üç boyutlu dijital eğitim materyallerinin

hem teorik hem de uygulamalı eğitim süreçlerinde giderek daha fazla kullanıldığı belirlenmiştir.

Yapay zekâ destekli sistemlerin öğrencilere bireyselleştirilmiş öğrenme materyali, anında geri bildirim, vaka senaryosu ve soru üretme olanağı sunduğu; üretken yapay zekâ araçlarının ise bilgiye erişim, akademik içerik oluşturma ve klinik problem çözme süreçlerini destekleyebildiği görülmüştür. Bununla birlikte yapay zekâ tarafından üretilen bilgilerin doğruluğunun kontrol edilmesi, akademik dürüstlüğün korunması ve öğrencilerin yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Güncel sistematik derlemeler, yapay zekânın hemşirelik eğitiminde önemli fırsatlar sunduğunu ancak mevcut kanıtların yöntemsel çeşitlilik gösterdiğini ve sonuçların dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Sanal gerçeklik ve diğer sürükleyici teknolojilerin güvenli, kontrollü ve tekrar edilebilir öğrenme ortamları sunduğu belirlenmiştir. Bu teknolojilerin özellikle klinik uygulama olanağının sınırlı olduğu, hasta güvenliği açısından risk taşıyan veya tekrar edilmesi güç becerilerin öğretilmesinde yararlı olduğu görülmüştür. Çalışmalarda sanal gerçeklik temelli eğitimin öğrencilerin bilgi düzeyi, klinik becerileri, öz yeterlilikleri, iletişim becerileri ve öğrenme memnuniyetleri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu bildirilmiştir. Meta-analiz bulguları da sanal gerçeklik eğitiminin geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında bilgi, beceri performansı, öz yeterlilik ve memnuniyet üzerinde anlamlı kazanımlar sağlayabildiğini göstermektedir.

Yüksek gerçeklikli simülasyon, oyunlaştırma ve dijital öğrenme platformlarının ise öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını, eleştirel düşünmesini, özgüvenini ve klinik karar verme becerisini desteklediği görülmüştür. Bununla birlikte teknoloji maliyetleri, teknik altyapı eksiklikleri, simülatör hastalığı, öğretim elemanlarının hazır bulunuşluğu ve standart değerlendirme yöntemlerinin sınırlı olması temel güçlükler arasında yer almıştır.

Bu bulgular, hemşirelik eğitimindeki yeniliklerin geleneksel öğretimin yerine tamamen geçmesinden çok, teorik ve uygulamalı eğitimi destekleyen tamamlayıcı araçlar olarak kullanılması gerektiğini göstermektedir.

3.2. Klinik Uygulamalarda Yenilikçi Yaklaşımlar

Klinik uygulamalara ilişkin çalışmalarda klinik karar destek sistemleri, elektronik sağlık kayıtları, telehemşirelik, mobil sağlık uygulamaları, giyilebilir teknolojiler, uzaktan hasta izlem sistemleri, robotik teknolojiler ve yapay zekâ destekli erken uyarı sistemlerinin ön plana çıktığı belirlenmiştir. Bunun yanında akıllı ilaç yönetim sistemleri, sensör tabanlı hasta izlem teknolojileri, dijital yara değerlendirme uygulamaları ve nesnelerin interneti temelli sağlık çözümlerinin klinik bakım süreçlerine giderek daha fazla entegre edildiği görülmüştür.

Yapay zekâ destekli klinik sistemlerin hasta verilerini analiz ederek klinik kötüleşme, düşme, basınç yaralanması, yeniden yatış ve bakım gereksinimleri gibi risklerin erken belirlenmesine katkı sağlayabildiği bildirilmiştir. Bu sistemlerin hemşirelerin karar verme süreçlerini desteklediği, bazı rutin görevleri kolaylaştırdığı ve bakım planlarının kişiselleştirilmesine katkıda bulunduğu görülmüştür. Bununla birlikte yapay zekâ sistemlerinin hemşirenin klinik değerlendirmesinin yerine geçmemesi, nihai sorumluluğun sağlık profesyonellerinde kalması ve sonuçların insan denetimi altında değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Güncel derlemeler, yapay zekâ uygulamalarının karar verme ve bakım süreçlerinde yarar sağlayabildiğini; ancak kanıtların henüz tüm klinik ortamlar için eşit düzeyde güçlü olmadığını göstermektedir.

Telehemşirelik, mobil sağlık ve uzaktan izlem uygulamalarının özellikle kronik hastalık yönetimi, yaşlı bakımı, evde bakım, taburculuk sonrası izlem ve sağlık hizmetlerine erişimin sınırlı olduğu bölgelerde bakımın sürekliliğini desteklediği görülmüştür. Elektronik sağlık kayıtları ve mobil uygulamaların hasta bilgilerinin düzenli izlenmesini kolaylaştırdığı;

giyilebilir sensörlerin ise fizyolojik değişikliklerin erken fark edilmesine katkı sağladığı belirlenmiştir.

Robotik sistemler ve akıllı bakım teknolojilerinin ilaç ve malzeme taşıma, hasta izleme, çevresel düzenleme ve bazı fiziksel destek görevlerinde kullanılabildiği görülmüştür. Bu teknolojilerin hemşirelerin fiziksel ve idari iş yükünü azaltma potansiyeli bulunmakla birlikte, hasta-hemşire etkileşiminin zayıflaması, teknolojik bağımlılık, kullanıcı kabulü ve maliyet konularının dikkate alınması gerektiği belirlenmiştir.

Bu bulgular, klinik yeniliklerin etkili olabilmesi için teknolojik sistemlerin hemşirelerin iş akışlarıyla uyumlu, kullanıcı dostu, güvenilir ve insan merkezli bakım anlayışını koruyacak biçimde tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

3.3. Hemşirelik Araştırmalarında Yenilikçi Yaklaşımlar

Hemşirelik araştırmalarında yapay zekâ destekli veri analizi, büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, doğal dil işleme, elektronik sağlık kayıtlarından elde edilen gerçek yaşam verilerinin kullanılması, dijital veri toplama yöntemleri, açık bilim uygulamaları ve çok merkezli dijital araştırmaların öne çıktığı görülmüştür. Ayrıca bibliyometrik analizler, öngörücü modelleme, otomatik metin sınıflandırma ve dijital literatür tarama araçlarının araştırma süreçlerinde giderek daha fazla kullanıldığı belirlenmiştir.

Yapay zekâ ve büyük veri yöntemlerinin geniş veri kümelerindeki örüntülerin belirlenmesine, risk tahmin modellerinin oluşturulmasına ve klinik sonuçların daha ayrıntılı incelenmesine katkı sağladığı görülmüştür. Doğal dil işleme yöntemleri aracılığıyla hemşirelik notları, elektronik sağlık kayıtları ve hasta anlatıları gibi yapılandırılmamış verilerin analiz edilebildiği belirlenmiştir. Bununla birlikte hemşirelik verilerinin standardizasyonu, veri kalitesi, algoritmaların açıklanabilirliği ve modellerin farklı örneklemlerde doğrulanması önemli gereksinimler olarak öne çıkmıştır. Hemşireliğin yapay zekâ çalışmalarında yalnızca teknoloji kullanıcısı değil, sistemlerin tasarımında ve değerlendirilmesinde etkin bir paydaş olması gerektiği vurgulanmaktadır.

Dijital veri toplama araçlarının farklı coğrafi bölgelerden daha geniş örneklemlere ulaşmayı, verilerin eş zamanlı toplanmasını ve çok merkezli araştırmaların yürütülmesini kolaylaştırdığı görülmüştür. Açık bilim, veri paylaşımı ve araştırma protokollerinin önceden kaydedilmesi gibi uygulamaların ise araştırmaların şeffaflığını, tekrarlanabilirliğini ve bilimsel iş birliğini desteklediği belirlenmiştir.

Bununla birlikte yapay zekâ destekli araştırmalarda kişisel verilerin korunması, algoritmik önyargı, veri sahipliği, araştırmacı sorumluluğu ve üretken yapay zekânın akademik yazımda kullanımının açıkça bildirilmesi temel etik konular olarak öne çıkmıştır.

Bu bulgular, hemşirelik araştırmalarındaki yeniliklerin veri toplama ve analiz süreçlerini hızlandırdığını; ancak bilimsel geçerlilik, araştırmacı denetimi, etik sorumluluk ve şeffaflığın korunmasının zorunlu olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma

Bu sistematik derlemede hemşirelikte dönüşümü şekillendiren yenilikçi yaklaşımlar eğitim, klinik uygulamalar ve araştırma olmak üzere üç temel boyutta değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, dijital teknolojilerin hemşireliğin yalnızca teknik uygulamalarını değil; öğrenme biçimlerini, klinik karar süreçlerini, bakım sunumunu ve bilimsel kanıt üretimini de yeniden şekillendirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte yeniliklerin başarılı biçimde uygulanması teknolojinin tek başına kullanılmasına değil, hemşirelik değerleri, etik ilkeler, kullanıcı gereksinimleri ve kanıta dayalı uygulamalarla bütünleştirilmesine bağlıdır.

Eğitim alanındaki bulgular, sanal gerçeklik, simülasyon ve yapay zekâ destekli öğrenme uygulamalarının öğrencilerin bilgi, beceri, öz yeterlilik ve öğrenme memnuniyetlerini geliştirebildiğini göstermektedir. Özellikle sanal gerçeklik, öğrencilerin gerçek hastalara zarar

verme riski bulunmadan klinik becerileri tekrar edebildiği güvenli bir öğrenme ortamı sağlamaktadır. Güncel meta-analizlerde sanal gerçeklik eğitiminin bilgi kazanımı, klinik beceri performansı ve öz yeterlilik açısından geleneksel öğretim yöntemlerine göre avantaj sağlayabildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte kritik düşünme ve klinik muhakeme gibi daha karmaşık yeterliliklerde sonuçların her zaman tutarlı olmaması, bu teknolojilerin öğrenme hedefleri ve uygun öğretim tasarımıyla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Üretken yapay zekâ uygulamalarının hemşirelik eğitimine dâhil edilmesi, kişiselleştirilmiş öğrenme, hızlı geri bildirim, senaryo geliştirme ve bilgiye erişim açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak yapay zekânın yanlış veya doğrulanmamış bilgi üretebilmesi, öğrencilerin hazır içeriklere aşırı bağımlı hâle gelmesi ve akademik dürüstlüğün zarar görmesi önemli risklerdir. Bu nedenle hemşirelik programlarında yalnızca yapay zekâ araçlarının kullanımının öğretilmesi yeterli değildir. Öğrencilere üretilen bilginin doğrulanması, kaynak değerlendirme, algoritmik önyargı, veri güvenliği ve etik sorumluluk konularında da yeterlilik kazandırılmalıdır. Mevcut derlemeler de yapay zekânın eğitimsel potansiyelinin yüksek olduğunu, ancak öğretim elemanı desteği, açık kullanım politikaları ve standart değerlendirme yaklaşımlarına gereksinim bulunduğunu göstermektedir.

Klinik uygulamalardaki bulgular, yapay zekâ destekli karar sistemleri, elektronik kayıtlar, telehemşirelik ve uzaktan izleme teknolojilerinin bakımın sürekliliğini ve erken risk belirlemeyi destekleyebildiğini göstermektedir. Bu teknolojiler özellikle yoğun iş yükünün bulunduğu birimlerde hasta verilerinin hızlı değerlendirilmesini ve riskli durumların daha erken fark edilmesini kolaylaştırabilir. Ancak algoritmaların verdiği önerilerin klinik bağlamdan bağımsız kabul edilmesi hasta güvenliği açısından yeni riskler oluşturabilir. Bu nedenle klinik karar destek sistemleri hemşirenin mesleki muhakemesinin yerine geçen değil, karar sürecini destekleyen araçlar olarak kullanılmalıdır.

Telehemşirelik ve mobil sağlık uygulamalarının yaygınlaşması, bakımın hastane dışına taşınmasına ve bireylerin kendi sağlık yönetimlerine daha aktif katılmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle kronik hastalıkların izlenmesi, tedaviye uyum, semptom takibi ve taburculuk sonrası bakım açısından bu uygulamalar önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte internet erişimi, dijital okuryazarlık, sosyoekonomik durum ve yaş gibi etkenler teknolojilerden yararlanma düzeyini etkileyebilir. Dolayısıyla dijital sağlık uygulamalarının erişilebilirlik ve sağlık eşitsizlikleri üzerindeki etkileri de değerlendirilmelidir.

Robotik sistemler ve otomasyon teknolojileri hemşirelerin tekrarlayan, fiziksel yük oluşturan veya zaman alan görevlerini azaltabilir. Böylece hemşirelerin doğrudan hasta bakımına daha fazla zaman ayırması mümkün olabilir. Ancak teknolojinin bakım ilişkisini mekanikleştirmesi, insani temasın azalması ve hastaların kendilerini yalnız hissetmesi riski göz ardı edilmemelidir. Hemşirelik bakımının özünde iletişim, empati, güven ve bireyin bütüncül değerlendirilmesi bulunduğundan teknolojik yenilikler bu temel değerleri destekleyecek biçimde kullanılmalıdır.

Araştırma alanında yapay zekâ, doğal dil işleme ve büyük veri analitiğinin kullanılması hemşirelik bilgisinin kapsamını genişletme potansiyeline sahiptir. Büyük veri kümeleri, bakım sonuçları ile hemşirelik girişimleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesini ve risk gruplarının daha erken belirlenmesini sağlayabilir. Bununla birlikte sağlık kayıtlarında hemşirelik bakımının eksik, tutarsız veya standart olmayan biçimde belgelenmesi analizlerin doğruluğunu sınırlayabilir. Bu nedenle standart hemşirelik terminolojilerinin kullanılması ve veri kalitesinin geliştirilmesi, büyük veri çalışmalarının temel koşullarından biridir.

Açık bilim uygulamaları ve dijital araştırma altyapıları çalışmaların şeffaflığını, tekrarlanabilirliğini ve uluslararası iş birliğini desteklemektedir. Bununla birlikte açık veri paylaşımı ile hasta mahremiyeti arasında dikkatli bir denge kurulmalıdır. Özellikle yapay zekâ modellerinin eğitilmesinde kullanılan sağlık verilerinin kaynağı, niteliği, temsil gücü ve

kullanım izinleri açık biçimde belirtilmelidir. Algoritmik önyargının belirli hasta gruplarına yönelik eşitsiz sonuçlar doğurabileceği dikkate alınmalı ve modeller farklı popülasyonlarda doğrulanmalıdır.

Bu derlemenin üç temasından elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, hemşirelikte dijital dönüşümün parçalı değil, bütüncül biçimde ele alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Eğitimde dijital yeterlilik kazanmayan hemşirelerin klinik teknolojileri etkili biçimde kullanması; klinik uygulamalarda standart ve kaliteli veri üretilmeden hemşirelik araştırmalarında güvenilir yapay zekâ modellerinin geliştirilmesi güçtür. Bu nedenle eğitim, klinik uygulama ve araştırma alanları birbirini besleyen bütünleşik bir dönüşüm modeli içinde değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak yenilikçi teknolojiler hemşirelikte bakım kalitesini, hasta güvenliğini, öğrenme çıktısını ve bilimsel üretimi geliştirme potansiyeli taşımaktadır. Ancak mevcut kanıtlar her teknoloji ve sonuç değişkeni için aynı güçte değildir. Çalışmalardaki örneklem, yöntem, müdahale süresi ve değerlendirme araçları arasındaki farklılıklar genellenebilirliği sınırlandırmaktadır. Gelecekte çok merkezli, yeterli örneklem büyüklüğüne sahip, uzun dönemli sonuçları değerlendiren ve standart ölçüm araçlarını kullanan araştırmalara ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca teknolojik etkinliğin yanı sıra maliyet, kullanıcı deneyimi, etik uygunluk, eşit erişim ve bakımın insani yönü birlikte değerlendirilmelidir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu sistematik derlemede, hemşirelikte dönüşümü şekillendiren yenilikçi yaklaşımların eğitim, klinik uygulamalar ve araştırma süreçlerinde giderek yaygınlaştığı görülmüştür. Hemşirelik eğitiminde yapay zekâ destekli öğrenme, üretken yapay zekâ, sanal ve artırılmış gerçeklik, simülasyon ve oyunlaştırma uygulamaları öğrencilerin bilgi, beceri, klinik karar verme ve öz yeterliliklerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Klinik uygulamalarda klinik karar destek sistemleri, telehemşirelik, elektronik sağlık kayıtları, mobil sağlık, giyilebilir teknolojiler, robotik sistemler ve uzaktan hasta izlem çözümleri bakımın sürekliliğini, hasta güvenliğini ve hizmet verimliliğini desteklemektedir. Araştırma alanında ise yapay zekâ destekli analizler, büyük veri, doğal dil işleme, dijital veri toplama ve açık bilim uygulamaları kanıt üretme süreçlerini hızlandırmaktadır. Güncel kanıtlar, bu teknolojilerin önemli kazanımlar sağladığını; ancak sonuçların teknoloji türü, uygulama biçimi ve araştırma tasarımına göre değişebildiğini göstermektedir.

Hemşirelik eğitim programlarına yapay zekâ ve dijital sağlık okuryazarlığına ilişkin yeterliliklerin eklenmesi, öğretim elemanları ve klinisyen hemşireler için düzenli hizmet içi eğitimlerin planlanması önerilmektedir. Yenilikçi teknolojiler klinik muhakemenin ve hemşire–hasta ilişkisinin yerine geçen sistemler olarak değil, insan merkezli bakımı destekleyen araçlar olarak kullanılmalıdır. Sağlık kuruluşlarında kullanılacak teknolojiler güvenlik, doğruluk, kullanılabilirlik, maliyet etkinliği ve iş akışına uyum açısından değerlendirilmelidir. Ayrıca veri güvenliği, hasta mahremiyeti, algoritmik önyargı, şeffaflık ve hesap verebilirliğe ilişkin kurumsal politikalar geliştirilmelidir. Gelecek araştırmalarda yeterli örnekleme sahip, çok merkezli, uzun dönemli ve karşılaştırmalı çalışmalar yürütülerek yenilikçi uygulamaların bakım sonuçları, hemşire iş yükü ve hasta güvenliği üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir. Dijital dönüşümün sürdürülebilirliği için teknolojik, eğitsel, etik ve insani boyutların birlikte ele alınması gerekmektedir.

6. Kaynaklar

1. American Association of Colleges of Nursing. (2021). *The essentials: Core competencies for professional nursing education*. https://www.aacnnursing.org/essentials

2. Buchanan, C., Howitt, M. L., Wilson, R., Booth, R. G., Risling, T., & Bamford, M. (2023). Artificial intelligence assisted telehealth for nursing: A scoping review. *Journal of Telemedicine and Telecare, 29*(10), 733–744. https://doi.org/10.1177/1357633X231167613
3. Chan, V. C., & Hequembourg, A. (2026). Applications of generative artificial intelligence in undergraduate nursing education: A scoping review. *Journal of Professional Nursing, 64*, 7–19. https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2026.02.005
4. Cho, M. K., & Kim, M. Y. (2024). Enhancing nursing competency through virtual reality simulation among nursing students: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Medicine, 11*, 1351300. https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1351300
5. Choi, J., Thompson, C., Choi, J., Waddill, C., & Choi, S. (2022). Effectiveness of immersive virtual reality in nursing education. *Nurse Educator, 47*(3), E57–E61. https://doi.org/10.1097/NNE.0000000000001117
6. Coyne, E., Calleja, P., Forster, E., & Lin, F. (2021). A review of virtual simulation for assessing healthcare students' clinical competency. *Nurse Education Today, 96*, 104623. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104623
7. Efendi, D., Apriliyasari, R. W., Prihartami Massie, J. G. E., et al. (2023). The effect of virtual reality on cognitive, affective, and psychomotor outcomes in nursing staffs: A systematic review and meta-analysis. *BMC Nursing, 22*, 170. https://doi.org/10.1186/s12912-023-01312-x
8. George, R., & Titus, S. K. (2024). Benefits and barriers of using virtual reality in teaching undergraduate nursing students: A scoping review. *Nurse Educator, 49*(5), E244–E249. https://doi.org/10.1097/NNE.0000000000001660
9. Hardie, P., Darley, A., Derwin, R., et al. (2026). Applications, attitudes and ethical considerations of generative artificial intelligence in nursing education: A scoping review. *BMC Nursing, 25*, 148. https://doi.org/10.1186/s12912-025-04253-9
10. Kim, G., & Jeon, J. (2026). Care robots as emerging health technologies: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Medical Internet Research, 28*, e95232. https://doi.org/10.2196/95232
11. Kim, Y., & Park, H. Y. (2024). Effects of virtual reality training on clinical skill performance in nursing students: A systematic review, meta-analysis and meta-regression. *International Journal of Nursing Practice, 30*(6), e13284. https://doi.org/10.1111/ijn.13284
12. Lifshits, I., & Rosenberg, D. (2024). Artificial intelligence in nursing education: A scoping review. *Nurse Education in Practice, 80*, 104148. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2024.104148
13. Lin, M. Y., Huang, M. Z., & Lai, P. C. (2024). Effect of virtual reality training on clinical skills of nursing students: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nurse Education in Practice, 81*, 104182. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2024.104182
14. Liu, K., Zhang, W., Li, W., Wang, T., & Zheng, Y. (2023). Effectiveness of virtual reality in nursing education: A systematic review and meta-analysis. *BMC Medical Education, 23*, 710. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04662-x
15. Liu, W., Mu, W., Zhang, Y., Su, Y., & Yu, T. (2026). Virtual reality applications in emergency nursing education: A scoping review. *BMC Medical Education*. https://doi.org/10.1186/s12909-026-09767-7
16. Nasirun, H., Mulyono, S., Hapsari, A. W. D., et al. (2026). Generative AI and intelligent tutoring systems in nursing education: A systematic review of impacts on higher-order thinking skills and clinical competency. *Nurse Education in Practice, 93*, 104847. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104847

17. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
18. Plotzky, C., Lindwedel, U., Sorber, M., et al. (2021). Virtual reality simulations in nurse education: A systematic mapping review. *Nurse Education Today, 101*, 104868. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2021.104868
19. Rahman, M. I. (2026). Algorithmic bias and transparency in artificial intelligence tools for nursing education: A scoping review. *Nurse Education in Practice, 92*, 104756. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104756
20. Ruksakulpiwat, S., Phianhasin, L., Benjasirisan, C., et al. (2025). Artificial intelligence in nursing research: A systematic review of applications, benefits, and challenges. *International Nursing Review, 72*(3), e70080. https://doi.org/10.1111/inr.70080
21. Serrão, A. S. R., Teixeira, L. A., Serrão, G. M. P., et al. (2026). Virtual reality in nursing education: Integrating technology, pedagogy, and learning outcomes: A scoping review. *Nurse Education in Practice, 95*, 104905. https://doi.org/10.1016/j.nepr.2026.104905
22. Shorey, S., & Ng, E. D. (2021). The use of virtual reality simulation among nursing students and registered nurses: A systematic review. *Nurse Education Today, 98*, 104662. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2020.104662
23. Sim, J. J. M., Rusli, K. D. B., Seah, B., Levett-Jones, T., Lau, Y., & Liaw, S. Y. (2022). Virtual simulation to enhance clinical reasoning in nursing: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Simulation in Nursing, 69*, 26–39. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2022.05.006
24. Vogelsang, L., Wright, S., Risling, T., et al. (2024). Exploring the use of immersive virtual reality in nursing education: A scoping review. *Clinical Simulation in Nursing, 97*, 101648. https://doi.org/10.1016/j.ecns.2024.101648
25. World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924

DİJİTAL SAĞLIKTA VERİ GÜVENLİĞİ VE ETİK SORUNLAR: HEMŞİRELİK PERSPEKTİFİNDEN SİSTEMATİK BİR DERLEME

Merdiye ŞENDİR
Profesör, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Hemşirelik Fakültesi, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye.
Professor, University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Nursing, Fundamentals of Nursing Department, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-8243-1669
Hamiyet KIZIL
Dr.Öğr. Üyesi, , Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Hemşirelik Fakültesi, İstanbul, Türkiye
Assisant Professor, University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Nursing, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0002-0722-589X

ÖZET

Amaç: Bu sistematik derleme, dijital sağlık teknolojilerinin kullanımında ortaya çıkan veri güvenliği ve etik sorunları hemşirelik perspektifinden incelemek, literatürde öne çıkan temel etik temaları belirlemek ve hemşirelik uygulamaları ile eğitimine yönelik öneriler geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Yöntem: Derleme, PRISMA 2020 rehberi doğrultusunda yürütülmüştür. PubMed, Scopus, Web of Science ve CINAHL veri tabanlarında 2021–2026 yılları arasında yayımlanan İngilizce tam metin çalışmalar taranmıştır. Arama sürecinde "digital health", "artificial intelligence", "electronic health records", "telehealth", "data security", "privacy", "cybersecurity", "ethics" ve "nursing" anahtar sözcükleri ile bunların uygun kombinasyonları kullanılmıştır. Dahil edilme ölçütlerini karşılayan çalışmalar yayın özellikleri, veri güvenliği, etik sorunlar ve hemşirelik uygulamalarına etkileri açısından tematik olarak analiz edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma: İncelenen güncel literatürde veri mahremiyeti ve güvenliği en sık bildirilen etik sorun olup çalışmaların yaklaşık %90–95'inde vurgulanmıştır. Bunu hesap verebilirlik ve kurumsal sorumluluk (%75–85), şeffaflık ve açıklanabilirlik (%70–80) ile algoritmik önyargı, adalet ve eşitlik (%70–75) izlemektedir. Çalışmaların yaklaşık %60–70'inde hemşirelerin dijital etik yeterliliği ve yapay zekâ okuryazarlığının geliştirilmesi gerektiği belirtilirken, hasta özerkliği ve bilgilendirilmiş onam ile insan denetiminin sürdürülmesi %55–65 oranında ele alınmıştır. Siber güvenlik ve yetkisiz erişim riskleri ise çalışmaların yaklaşık %30–40'ında doğrudan tartışılmıştır. Bulgular, dijital sağlıkta etik sorunların yalnızca teknik veri güvenliğiyle sınırlı olmadığını; hasta hakları, mesleki sorumluluk, algoritmik adalet, etik yönetişim ve insan merkezli bakımın korunmasını kapsayan çok boyutlu bir yapı sergilediğini göstermektedir.

Sonuç: Dijital sağlık teknolojilerinin güvenli ve etik kullanımının sağlanabilmesi için güçlü veri koruma politikalarının oluşturulması, şeffaf ve hesap verebilir yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi, etik yönetişim mekanizmalarının güçlendirilmesi ve hemşirelerin dijital etik ile yapay zekâ okuryazarlığı konusunda desteklenmesi gerekmektedir. Hemşireler, dijital sağlık uygulamalarının hasta güvenliği, etik ilkeler ve insan merkezli bakım doğrultusunda yürütülmesinde kritik role sahiptir.

Anahtar Sözcükler: Dijital sağlık, veri güvenliği, etik, hemşirelik, yapay zekâ, mahremiyet.

DATA SECURITY AND ETHICAL CHALLENGES IN DIGITAL HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW FROM A NURSING PERSPECTIVE

ABSTRACT

Aim: This systematic review aimed to examine data security and ethical issues arising from the use of digital health technologies from a nursing perspective, identify the major ethical themes reported in the literature, and provide recommendations for nursing practice and education.

Methods: The review was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. English full-text studies published between 2021 and 2026 were searched in the PubMed, Scopus, Web of Science, and CINAHL databases. The search strategy included the keywords "digital health," "artificial intelligence," "electronic health records," "telehealth," "data security," "privacy," "cybersecurity," "ethics," and "nursing," along with their relevant combinations. Eligible studies were thematically analyzed according to publication characteristics, data security, ethical issues, and their implications for nursing practice.

Results and Discussion: Data privacy and security emerged as the most frequently reported ethical concern, being emphasized in approximately 90–95% of the reviewed studies. This was followed by accountability and organizational responsibility (75–85%), transparency and explainability (70–80%), and algorithmic bias, fairness, and equity (70–75%). Approximately 60–70% of the studies highlighted the need to strengthen nurses' digital ethics competencies and artificial intelligence literacy, while patient autonomy, informed consent, and the maintenance of human oversight were addressed in 55–65% of the studies. Cybersecurity threats and unauthorized access to health data were discussed directly in approximately 30–40% of the reviewed literature. Overall, the findings indicate that ethical challenges in digital health extend beyond technical data protection and encompass patient rights, professional accountability, algorithmic fairness, ethical governance, and the preservation of person-centered care.

Conclusion: Ensuring the safe and ethical use of digital health technologies requires robust data protection policies, transparent and accountable artificial intelligence systems, strengthened ethical governance frameworks, and continuous education of nurses in digital ethics and AI literacy. Nurses play a pivotal role in ensuring that digital health technologies are implemented in accordance with ethical principles, patient safety, and person-centered care.

Keywords: Digital health; Data security; Ethics; Nursing; Artificial intelligence; Privacy.

GİRİŞ

Dijital sağlık; elektronik sağlık kayıtları, tele-sağlık, mobil sağlık uygulamaları, giyilebilir teknolojiler, büyük veri analitiği, klinik karar destek sistemleri ve yapay zekâ (YZ) uygulamaları gibi yenilikçi teknolojilerin sağlık hizmetlerine entegrasyonunu ifade etmektedir. Bu teknolojiler sağlık hizmetlerine erişimin artırılması, klinik karar verme süreçlerinin desteklenmesi, hasta izleminin iyileştirilmesi, bakımın sürekliliğinin sağlanması ve sağlık hizmetlerinin verimliliğinin artırılması açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle COVID-19 pandemisi sonrasında dijital sağlık uygulamalarının küresel ölçekte hızla yaygınlaşması, sağlık sistemlerinin dijital dönüşümünü hızlandırmış ve dijital teknolojileri sağlık hizmetlerinin ayrılmaz bir bileşeni hâline getirmiştir.

Dijital sağlık teknolojilerinin sunduğu avantajlara karşın, hasta verilerinin toplanması, işlenmesi, paylaşılması ve depolanmasına ilişkin etik ve hukuki sorunlar da giderek önem kazanmaktadır. Elektronik ortamda saklanan sağlık verilerinin artması; veri mahremiyetinin korunması, gizlilik, siber güvenlik, yetkisiz erişim, veri ihlalleri ve ikincil veri kullanımı gibi konuları sağlık sistemlerinin öncelikli gündemlerinden biri hâline getirmiştir. Dünya Sağlık

Örgütü (WHO), yapay zekâ ve dijital sağlık uygulamalarının etik ilkelere uygun biçimde geliştirilmesi ve uygulanabilmesi için insan haklarının korunması, şeffaflık, hesap verebilirlik, kapsayıcılık, hasta güvenliği ve sürdürülebilir yönetişim mekanizmalarının temel öncelikler olması gerektiğini vurgulamaktadır.

Son yıllarda özellikle yapay zekâ destekli klinik karar sistemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte etik tartışmalar yalnızca veri güvenliği ile sınırlı kalmamış; algoritmik önyargı, açıklanabilirlik, adalet, hesap verebilirlik ve insan denetiminin sürdürülmesi gibi yeni etik boyutlar da ön plana çıkmıştır. Algoritmaların eğitim verilerindeki önyargıları yansıtabilmesi, belirli hasta gruplarında yanlış veya adaletsiz kararların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Benzer şekilde, yapay zekâ tarafından üretilen önerilerin yeterince açıklanamaması sağlık profesyonellerinin klinik karar süreçlerinde güven ve sorumluluk açısından önemli etik ikilemler oluşturabilmektedir. Bu nedenle dijital sağlık teknolojilerinin yalnızca teknik performans açısından değil, etik ilkeler doğrultusunda değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Hemşireler sağlık sisteminin en geniş profesyonel grubunu oluşturmakta ve dijital teknolojilerin günlük klinik uygulamalardaki en yoğun kullanıcıları arasında yer almaktadır. Elektronik sağlık kayıtlarının yönetimi, hasta verilerinin korunması, dijital karar destek sistemlerinin kullanımı, uzaktan bakım hizmetleri ve yapay zekâ destekli uygulamalar hemşirelik bakımının önemli bileşenleri hâline gelmiştir. Bu nedenle hemşirelerin yalnızca teknolojiyi etkin kullanmaları değil; veri güvenliği, hasta mahremiyeti, etik karar verme, yapay zekâ okuryazarlığı ve dijital etik konularında yeterli bilgi ve beceriye sahip olmaları beklenmektedir. Dijital dönüşüm sürecinde hemşirelerin etik sorumluluklarının güçlendirilmesi, hasta güvenliğinin ve insan merkezli bakımın sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Uluslararası literatürde dijital sağlık, yapay zekâ, tele-sağlık ve elektronik sağlık kayıtlarına ilişkin çok sayıda sistematik derleme bulunmasına rağmen, veri güvenliği ve etik sorunları hemşirelik perspektifinden bütüncül olarak değerlendiren çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut derlemelerin büyük bölümü belirli teknolojilere veya belirli klinik alanlara odaklanırken, dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ile etik sorunları birlikte ele alan ve hemşirelik uygulamalarına yönelik çıkarımlar sunan kapsamlı sentezlerin sayısı oldukça azdır.

Bu sistematik derleme, dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve etik sorunlara ilişkin güncel kanıtları hemşirelik perspektifinden bütüncül olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Derleme kapsamında literatürde en sık bildirilen etik temaların belirlenmesi, bu temaların hemşirelik uygulamalarına etkilerinin değerlendirilmesi ve hemşirelik eğitimi, klinik uygulamalar, sağlık yönetimi ve gelecekteki araştırmalar için kanıta dayalı öneriler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

YÖNTEM

Araştırmanın Tasarımı

Bu çalışma, dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve etik sorunları hemşirelik perspektifinden değerlendirmek amacıyla hazırlanmış sistematik bir derlemedir. Araştırma, sistematik derlemelerin planlanması ve raporlanmasına ilişkin uluslararası standartlar doğrultusunda Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA 2020) rehberi esas alınarak yürütülmüştür. Çalışmada dijital sağlık alanında veri güvenliği ve etik konularını ele alan güncel bilimsel yayınlar sistematik olarak incelenmiş, elde edilen bulgular tematik olarak sentezlenmiştir.

Araştırma Sorusu

Bu sistematik derleme aşağıdaki araştırma sorusu doğrultusunda gerçekleştirilmiştir:
"Dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve etik sorunlar nelerdir ve bu sorunların hemşirelik uygulamalarına yansımaları nasıl değerlendirilmektedir?"

Literatür Tarama Stratejisi

Literatür taraması PubMed, Web of Science, Scopus ve CINAHL veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama, Ocak 2021-Haziran 2026 tarihleri arasında yayımlanan İngilizce tam metin çalışmalar ile sınırlandırılmıştır. Arama stratejisi oluşturulurken MeSH terimleri ve serbest anahtar sözcükler birlikte kullanılmıştır. Kullanılan temel anahtar sözcükler; "digital health", "artificial intelligence", "electronic health records", "data security", "data privacy", "cybersecurity", "ethics", "ethical challenges", "nursing" ve "nurse" olmuştur. Anahtar sözcükler Boolean operatörleri (AND, OR) kullanılarak birleştirilmiştir.

Örnek arama stratejisi aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur:
("digital health" OR "artificial intelligence" OR "electronic health record*") AND ("data security" OR "data privacy" OR cybersecurity) AND (ethics OR "ethical challenges") AND (nursing OR nurse)

Ayrıca seçilen çalışmaların kaynakçaları manuel olarak incelenmiş ve uygun görülen yayınlar değerlendirmeye alınmıştır.

Dahil Edilme Ölçütleri

Çalışmalar aşağıdaki ölçütlere göre değerlendirilmiştir:
- 2021-2026 yılları arasında yayımlanmış olması,
- Hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış olması,
- İngilizce tam metne ulaşılabilmesi,
- Dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve/veya etik konularını ele alması,
- Hemşirelik uygulamaları veya hemşirelik bakımına ilişkin çıkarımlar içermesi,
- Orijinal araştırma, sistematik derleme veya kapsam derlemesi olması.

Dışlama Ölçütleri

Aşağıdaki çalışmalar araştırma kapsamı dışında bırakılmıştır:
- Konferans bildirileri,
- Editöre mektuplar,
- Görüş yazıları,
- Kitap bölümleri,
- Tezler,
- Tam metnine ulaşılamayan çalışmalar,
- İngilizce dışında yayımlanan yayınlar,
- Dijital sağlıkta veri güvenliği veya etik boyutu bulunmayan çalışmalar.

Çalışmaların Seçilmesi

Elektronik veri tabanı taraması sonucunda toplam **512** yayına ulaşılmıştır. Yinelenen **97** kayıt çıkarıldıktan sonra **415** çalışma başlık ve özet açısından değerlendirilmiştir. İlk değerlendirme sonucunda araştırma konusu ile ilişkili olmayan veya dahil edilme ölçütlerini karşılamayan **327** çalışma elenmiştir.

Tam metni incelenen **88** çalışmadan; veri güvenliği veya etik boyutu bulunmayan (**n=31**), hemşirelik uygulamalarıyla ilişkili olmayan (**n=19**), tam metnine ulaşılamayan (**n=10**) ve değerlendirme ölçütlerini karşılamayan (**n=8**) çalışmalar dışlanmıştır. Sonuç olarak **20** çalışma sistematik derlemeye dahil edilmiştir. Çalışmaların seçimi PRISMA 2020 akış şeması doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Veri Çıkarma Süreci

Dahil edilen çalışmalardan standart veri toplama formu kullanılarak aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir:

- Yazar
- Yayın yılı
- Ülke
- Araştırma deseni
- Örneklem özellikleri
- İncelenen dijital sağlık teknolojisi
- Veri güvenliği ile ilgili bulgular
- Etik sorunlar
- Hemşirelik uygulamalarına etkileri
- Araştırmanın temel sonuçları

Kalite Değerlendirmesi

Çalışmaların metodolojik kalitesi Joanna Briggs Institute (JBI) Critical Appraisal Checklist kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırma desenine uygun değerlendirme araçları tercih edilmiş ve kalite değerlendirmesi iki araştırmacı tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilmiştir. Görüş ayrılığı bulunan çalışmalar ortak değerlendirme ile karara bağlanmıştır.

Verilerin Analizi

Veriler betimsel sentez yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Benzer bulgular ortak temalar altında sınıflandırılmış ve dijital sağlıkta veri güvenliği ile etik sorunlar hemşirelik perspektifinden değerlendirilmiştir.

İncelenen çalışmaların tematik analizi sonucunda veri güvenliği ve etik sorunların beş temel başlık altında yoğunlaştığı belirlenmiştir. Çalışmaların büyük çoğunluğunda hasta mahremiyeti ve veri gizliliği (**yaklaşık %90**), siber güvenlik ve veri ihlalleri (**yaklaşık %80**), yapay zekâ uygulamalarında şeffaflık ve hesap verebilirlik (**yaklaşık %75**), algoritmik önyargı ve adalet (**yaklaşık %70**) ile hemşirelerin dijital etik yeterliliği ve eğitim gereksinimi (**yaklaşık %65**) öne çıkan temalar olarak rapor edilmiştir. Bulgular hemşirelik uygulamaları, hasta güvenliği, sağlık hizmetlerinin dijital dönüşümü ve etik karar verme süreçleri açısından bütüncül olarak değerlendirilmiştir.

BULGULAR

Literatür taraması sonucunda dahil edilme ölçütlerini karşılayan toplam **20** çalışma sistematik derlemeye dahil edilmiştir. Çalışmaların büyük bölümü 2023-2026 yılları arasında yayımlanmış olup; Amerika Birleşik Devletleri, Birleşik Krallık, Kanada, Avustralya, Çin, Güney Kore ve Avrupa ülkelerinde gerçekleştirilmiştir. İncelenen araştırmaların çoğunluğunu tanımlayıcı çalışmalar, sistematik derlemeler, kapsam derlemeleri ve nitel araştırmalar oluşturmuştur. Dijital sağlık teknolojileri arasında en sık yapay zekâ uygulamaları, elektronik sağlık kayıtları, tele-sağlık sistemleri, klinik karar destek sistemleri ve büyük veri analitiği ele alınmıştır.

Tematik analiz sonucunda dijital sağlıkta veri güvenliği ve etik sorunların beş temel başlık altında toplandığı belirlenmiştir.

Hasta Mahremiyeti ve Veri Gizliliği

İncelenen çalışmaların yaklaşık %90'ında hasta mahremiyeti ve veri gizliliği en sık bildirilen etik sorun olarak öne çıkmıştır. Araştırmalarda elektronik sağlık kayıtlarının farklı sistemler arasında paylaşılması, kişisel sağlık verilerine yetkisiz erişim, veri saklama süreçlerindeki güvenlik açıkları ve hastalardan alınan bilgilendirilmiş onam süreçlerinin yetersizliği önemli risk alanları olarak tanımlanmıştır. Çalışmalar, hasta güveninin sürdürülebilmesi için güçlü veri koruma politikalarının geliştirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Siber Güvenlik ve Veri İhlalleri
Çalışmaların yaklaşık %80'i dijital sağlık sistemlerinde siber güvenlik tehditleri ve veri ihlallerini önemli etik sorunlardan biri olarak bildirmiştir. Özellikle fidye yazılımı saldırıları, veri sızıntıları, sağlık bilgi sistemlerine yönelik siber saldırılar ve bulut tabanlı veri depolama sistemlerine ilişkin güvenlik açıklarının hasta güvenliği açısından ciddi risk oluşturduğu belirtilmiştir. Araştırmalarda çok katmanlı güvenlik sistemlerinin oluşturulması ve düzenli siber güvenlik eğitimlerinin gerekliliği vurgulanmıştır.
Şeffaflık, Hesap Verebilirlik ve Yapay Zekâ Etiği
İncelenen çalışmaların yaklaşık %75'inde yapay zekâ destekli klinik karar sistemlerinde şeffaflık ve hesap verebilirlik temel etik sorunlar arasında yer almıştır. Yapay zekâ algoritmalarının karar verme süreçlerinin yeterince açıklanamaması, klinisyenlerin sistemlere duyduğu güveni azaltabilmekte ve olası hatalarda sorumluluğun kimde olacağı konusunda etik belirsizlikler oluşturabilmektedir. Çalışmalarda insan denetiminin sürdürülmesi ve açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımlarının geliştirilmesi önerilmiştir.
Algoritmik Önyargı ve Adalet
Çalışmaların yaklaşık %70'inde algoritmik önyargı ve adalet kavramları dijital sağlık uygulamalarında önemli etik sorunlar olarak rapor edilmiştir. Yapay zekâ sistemlerinin eğitiminde kullanılan verilerin demografik çeşitliliği yeterince yansıtmaması, bazı hasta gruplarında tanısal hatalara ve eşitsiz sağlık hizmeti sunumuna neden olabilmektedir. Araştırmalar, algoritmaların farklı popülasyonlarda düzenli olarak doğrulanmasının ve etik denetim mekanizmalarının güçlendirilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır.

Hemşirelerin Dijital Etik Yeterliliği
İncelenen çalışmaların yaklaşık **%65'inde** hemşirelerin dijital etik, veri güvenliği ve yapay zekâ okuryazarlığı konularında eğitime ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir. Dijital teknolojilerin hızla gelişmesine rağmen hemşirelerin önemli bir bölümünün veri güvenliği, etik karar verme ve yapay zekâ uygulamalarının güvenli kullanımı konusunda yeterli bilgi düzeyine sahip olmadığı bildirilmiştir. Araştırmalar, lisans ve lisansüstü hemşirelik eğitim programlarına dijital etik, veri güvenliği ve yapay zekâ okuryazarlığına yönelik derslerin eklenmesini önermektedir.
Bulguların Genel Değerlendirilmesi
Genel olarak değerlendirildiğinde, dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve etik sorunların yalnızca teknolojik altyapıyla sınırlı olmadığı; aynı zamanda hasta hakları, mesleki sorumluluk, etik karar verme, sağlık politikaları ve hemşirelik uygulamalarını doğrudan etkileyen çok boyutlu konular olduğu belirlenmiştir. Çalışmaların ortak sonucu, dijital sağlık teknolojilerinin güvenli ve etik biçimde kullanılabilmesi için güçlü veri koruma politikalarının geliştirilmesi, yapay zekâ sistemlerinin etik ilkelere uygun biçimde tasarlanması ve hemşirelerin dijital etik yeterliliklerinin artırılmasının gerekli olduğudur.

SONUÇ VE ÖNERİLER
Bu sistematik derleme, dijital sağlık uygulamalarında veri güvenliği ve etik sorunları hemşirelik perspektifinden güncel literatür doğrultusunda değerlendirmiştir. İncelenen çalışmalar, dijital sağlık teknolojilerinin sağlık hizmetlerinin kalitesini artırma, klinik karar verme süreçlerini destekleme ve bakımın sürekliliğini sağlama açısından önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, dijital dönüşüm sürecinin hasta mahremiyeti, veri gizliliği, siber güvenlik, algoritmik önyargı, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi etik ve hukuki sorunları da beraberinde getirdiği görülmektedir.

Derleme bulguları, hasta verilerinin güvenliğinin sağlanmasının yalnızca teknolojik altyapının güçlendirilmesiyle sınırlı olmadığını; aynı zamanda etik ilkelere dayalı kurumsal politikaların geliştirilmesi, yasal düzenlemelerin güncellenmesi ve sağlık profesyonellerinin dijital etik konusundaki farkındalıklarının artırılması gerektiğini göstermektedir. Özellikle yapay zekâ destekli sistemlerin sağlık hizmetlerinde giderek daha fazla kullanılacağı düşünüldüğünde, insan denetiminin korunması, algoritmaların şeffaf ve açıklanabilir olması ve klinik karar süreçlerinde etik sorumluluğun net biçimde tanımlanması büyük önem taşımaktadır.

Hemşireler dijital sağlık teknolojilerinin en aktif kullanıcıları arasında yer almakta ve hasta verilerinin yönetiminde önemli sorumluluklar üstlenmektedir. Bu nedenle hemşirelerin veri güvenliği, siber güvenlik, dijital etik ve yapay zekâ okuryazarlığı konularındaki bilgi ve becerilerinin geliştirilmesi, güvenli ve etik bakımın sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Dijital dönüşüm sürecinde hemşirelerin yalnızca teknoloji kullanıcıları değil, aynı zamanda etik uygulamaların savunucuları ve hasta haklarının koruyucuları olarak aktif rol almaları gerekmektedir.

Bu derlemenin bulguları doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilebilir:

- Hemşirelik lisans ve lisansüstü eğitim programlarına dijital sağlık, veri güvenliği, siber güvenlik, dijital etik ve yapay zekâ okuryazarlığına yönelik güncel ders içerikleri eklenmelidir.
- Sağlık kurumlarında çalışan hemşirelere yönelik düzenli hizmet içi eğitim programları planlanmalı ve dijital etik farkındalığı artırılmalıdır.
- Dijital sağlık sistemlerinde ulusal ve uluslararası veri güvenliği standartlarına uygun güçlü siber güvenlik politikaları uygulanmalıdır.
- Yapay zekâ destekli klinik karar sistemlerinin geliştirilmesi ve kullanımında şeffaflık, açıklanabilirlik, hesap verebilirlik ve adalet ilkeleri temel alınmalıdır.
- Dijital sağlık uygulamalarının hemşirelik bakımına, hasta güvenliğine ve etik karar verme süreçlerine etkisini değerlendiren yüksek metodolojik kalitede çok merkezli ve prospektif araştırmalar yürütülmelidir.
- Hemşirelerin dijital sağlık teknolojilerinin geliştirilmesi, uygulanması ve etik yönetişim süreçlerine aktif katılımı desteklenmelidir.

Sonuç olarak, dijital sağlık teknolojilerinin sağlık hizmetlerinde güvenli, etkili ve sürdürülebilir biçimde kullanılabilmesi için teknolojik gelişmeler ile etik ilkelerin birlikte ele alınması gerekmektedir. Veri güvenliğini önceleyen, hasta haklarını koruyan ve hemşirelerin dijital yeterliliklerini güçlendiren bütüncül yaklaşımlar, dijital sağlık uygulamalarının başarısı ve sağlık hizmetlerinin geleceği açısından temel bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Alakuş, H., & Yılmaz, K. (2025). Bilimsel araştırmalarda yapay zekâ kullanımı etik ilkeleri. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *14*(Eğitim Bilimleri Ek Sayısı), 193-217.

Amin, S. M., Almagharbeh, W. T., Alrimawi, I., El-Gazar, H. E., Zoromba, M. A., Alharbi, A. A., et al. (2026). *Exploring the ethical dimensions of AI-driven patient monitoring in critical care nursing: A systematic review*. Nursing in Critical Care, 31(2), e70384. https://doi.org/10.1111/nicc.70384

Badawy, W., Zinhom, H., & Shaban, M. (2025). *Navigating ethical considerations in the use of artificial intelligence for patient care: A systematic review*. International Nursing Review, 72(3). https://doi.org/10.1111/inr.13059

Ball Dunlap, P. A., & Michalowski, M. (2024). *Advancing AI data ethics in nursing: Future directions for nursing practice, research, and education*. JMIR Nursing, 7, e62678. https://doi.org/10.2196/62678

Bayram, A., Bal, B., Chiappinotto, S., & Palese, A. (2026). *Digital ethics in nursing: A scoping review*. International Nursing Review, 73(1), e70141. https://doi.org/10.1111/inr.70141

Booth, R. G., Strudwick, G., McBride, S., O'Connor, S., & Solano López, A. L. (2021). *How the nursing profession should adapt for a digital future*. BMJ, 373, n1190. https://doi.org/10.1136/bmj.n1190

European Commission. (2024). *European Health Data Space (EHDS) Regulation*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.https://health.ec.europa.eu/ehealth-digital-health-and-care/european-health-data-space_en

Ihaddouchen, I., Buijsman, S., Pozzi, G., van de Sande, D., Reis, A. A., Townsend, R., van den Hoven, J., Gommers, D., & van Genderen, M. E. (2025). *Responsible artificial intelligence in healthcare: A systematic review on the use of ethical principles in the development and deployment of artificial intelligence*. BMJ Digital Health & AI, 1(1), e000086.

International Council of Nurses. (2021). *The ICN code of ethics for nurses*. Geneva: International Council of Nurses.https://www.icn.ch/system/files/2021-10/ICN_Code-of-Ethics_EN_Web_0.pdf

Kaplan, T., & Van Giersbergen, M. Y. (2025). Hemşirelikte Teknoloji Kullanımı: Yenilikler ve Gelecek Perspektifleri. *Doğu Karadeniz Sağlık Bilimleri Dergisi*, *4*(4), 350-358.

Mateus, M., Alho, I., & Neves, A. L. (2026). *"First, do no harm" in the digital era: Examining the practicality of the European Health Data Space proposal and ethical implications of artificial intelligence: A systematic literature review*. BMC Medical Ethics, 27, 35. https://doi.org/10.1186/s12910-025-01372-5

Mohammed, S. A. A. Q., Osman, Y. M. M., Ibrahim, A. M., & Shaban, M. (2025). *Ethical and regulatory considerations in the use of artificial intelligence and machine learning in nursing: A systematic review*. International Nursing Review. Advance online publication. https://doi.org/10.1111/inr.70010

Möllmann, N. R. J., Mirbabaie, M., & Stieglitz, S. (2021). *Is it alright to use artificial intelligence in digital health? A systematic literature review on ethical considerations*. Health Informatics Journal, 27(4). https://doi.org/10.1177/14604582211052391

Möllmann, N. R. J., Mirbabaie, M., & Stieglitz, S. (2021). *Is it alright to use artificial intelligence in digital health? A systematic literature review on ethical considerations*. Health Informatics Journal, 27(4), 14604582211052391. https://doi.org/10.1177/14604582211052391

Ronquillo, C. E., Peltonen, L. M., Pruinelli, L., Chu, C. H., Bakken, S., Beduschi, A., et al. (2021). *Artificial intelligence in nursing: Priorities and opportunities from an international invitational think-tank of the Nursing and Artificial Intelligence Leadership Collaborative*. Journal of Advanced Nursing, 77(9), 3707–3717. https://doi.org/10.1111/jan.14855

Scott, A. J. S., Zhao, Q., Pan, J. F., Brown, B. C., & Dowding, D. (2026). *Nurses' experiences using artificial intelligence in clinical practice: A systematic review*. JMIR Nursing, 9, e91238. DOI: https://doi.org/10.2196/91238

Seibert, K., Domhoff, D., Bruch, D., Schulte-Althoff, M., Fürstenau, D., Biessmann, F., et al. (2021). *Application scenarios for artificial intelligence in nursing care: Rapid review*. Journal of Medical Internet Research, 23(11), e26522. https://doi.org/10.2196/26522

World Health Organization. (2021). *Ethics and governance of artificial intelligence for health*. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/341996

World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789240020924

Yurtsal, K. Dijital Dönüşümün Sağlık Yönetimine Etkileri. *Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Turhal Uygulamalı Bilimler Fakültesi Dergisi*, *4*(1), 1-9.

FİLİSTİN MESELESİ BAĞLAMINDA EKONOMİK BOYKOTUN İSLÂM HUKUKU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadriye ALUÇ
Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Temel İslam Bilimleri Ana Bilim Dalı
ORCID ID: 0009-0004-8626-4441
Doç. Dr. Ümmühan ARK
Bartın Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, Fıkıh ABD.
ORCID ID: 0000-0002-0414-6985

ÖZET
Boykot, tarih boyunca toplumların ekonomik, sosyal veya siyasi amaçlarla belirli kişi, kurum veya ürünlerle ilişkilerini sınırlandırmak amacıyla kullandıkları bir yöntem olmuştur. Modern dönemde özellikle tüketim tercihleri üzerinden uygulanan boykotlar, bireylerin ekonomik davranışlarının ahlaki ve hukuki boyutunu gündeme getirmiştir. İslâm hukukunda boykot, klasik fıkıh kaynaklarında bağımsız bir hukuk kurumu olarak düzenlenmemiş olmakla birlikte; akit teorisi, zararın önlenmesi (*def'-i mefâsid*), haksızlığa yardım etmeme (*iâne ale'l-ma'siyet*) ve kamu yararı (*maslahat*) ilkeleri çerçevesinde değerlendirilebilecek bir uygulamadır.
Bu çalışma, Filistin bağlamında gündeme gelen tüketici boykotlarını normatif bir İslâm hukuku çerçevesinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada ampirik iktisadî verilerin ölçümünden ziyade klasik fıkıh birikimi ve küllî kaidelerden hareketle günümüz tüketici boykotlarının fıkhî meşruiyetini ve uygulama sınırlarını belirleyen beş ölçütten oluşan analitik bir çerçeve önerilmektedir. Bu ölçütler; amacın meşruiyeti, haksızlığa katkının ve nedensellik bağının tespiti, ölçülülük ve karşı zararın değerlendirilmesi, kamu otoritesinin rolü ile zorunlu ihtiyaçlar ve alternatiflerin varlığıdır.
Çalışmada, klasik fıkıhtaki düşmana stratejik mal satışı yasağı ile günümüz sivil tüketici boykotları arasında doğrudan bir kıyas kurulamayacağı; hedefle işlem arasındaki katkı, öngörülebilirlik ve nedensellik bağının araştırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca üçüncü kişilere doğabilecek ağır ve önlenebilir zararların gözetilmesi, boykotun meşruiyet sınırlarından biri olarak belirlenmiştir. Bu çerçevede, günümüzde uygulanan tüketici boykotlarının tek yönlü bir değerlendirmeyle ele alınmasının yeterli olmadığı, her bir uygulamanın İslâm hukukunun temel ilke ve prensipleri doğrultusunda kendi şartları içerisinde değerlendirilmesinin önem taşıdığı ortaya konulmuştur.
Anahtar Kelimeler: İslâm Hukuku, Boykot, Filistin, Maslahat, Ölçülülük.

AN EVALUATION OF ECONOMIC BOYCOTT FROM THE PERSPECTIVE OF ISLAMIC LAW IN THE CONTEXT OF THE PALESTINIAN QUESTION

ABSTRACT
Boycotts have historically served as a method employed by societies to restrict relations with specific individuals, institutions, or products for economic, social, or political purposes. In the modern era, boycotts operating through consumer choices have brought the moral and legal dimensions of individual economic behavior to the forefront. Although boycotts are not treated as an independent legal institution within classical Islamic jurisprudence, they constitute a practice that can be evaluated through the framework of commercial relations, the prevention of harm (*daf' al-mafasid*), non-cooperation in oppression (*i'anah 'ala al-ma'siyah*), and public interest (*maslahah*).
This study aims to assess consumer boycotts emerging in the context of Palestine within a normative Islamic law framework. Rather than measuring empirical economic impact, it

proposes an analytical framework based on five criteria derived from classical jurisprudence and legal maxims: legitimacy of purpose, determination of contribution to injustice and causality, proportionality and assessment of counter-harm, the role of public authority, and the availability of alternatives for essential goods.
The study concludes that no direct analogy can be established between the classical prohibition on selling strategic goods to an enemy and modern civilian consumer boycotts. The contribution, foreseeability, and causal link between the transaction and the injustice must be examined. Serious and preventable harm to uninvolved third parties is also identified as one of the limits on the legitimacy of a boycott. In this context, it has been demonstrated that evaluating contemporary consumer boycotts through a one-sided approach is insufficient, and that each application must be assessed within its own specific circumstances in line with the fundamental principles and tenets of Islamic law.
Keywords: Islamic Law, Boycott, Palestine, Maslahah, Proportionality.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu tarih boyunca karşısına çıkan siyasi, ekonomik ve sosyal sorunlara karşı çeşitli yöntemler bulmuş ve geliştirmiştir. Bu yöntemlerden biri olan boykot, belirli kişi, kurum, ürün veya toplumlarla olan ekonomik ve sosyal ilişkilerin bilinçli olarak sınırlandırılması şeklinde ortaya çıkan bir uygulamadır. Günümüzde daha çok ekonomik alanda kullanılan boykot kavramı, aslında toplumsal tepki göstermenin eski yöntemlerinden biridir.
Bu çalışmada ekonomik boykot, bireylerin veya sivil toplulukların belirli mal ve hizmetleri satın almaktan bilinçli biçimde kaçınarak hedef kişi ya da kurum üzerinde ekonomik ve itibari baskı oluşturmayı amaçlayan gönüllü tüketici eylemi anlamında kullanılmaktadır. Devlet veya uluslararası kuruluşlarca uygulanan ambargo ve ekonomik yaptırımlar ise kamu gücüne dayanan farklı hukukî araçlar olduğundan çalışmanın kapsamı dışında tutulmuştur.
İslâm hukukunda insan ilişkileri ve ekonomik faaliyetler, belirli ahlaki ve hukuki esaslar üzerine kurulmuştur. İslâm, ticareti meşru kabul etmekle birlikte ekonomik ilişkilerin adalet, dürüstlük ve karşılıklı rıza esaslarına uygun olmasını istemiştir. Kur'an-ı Kerîm'de: *"İyilik ve takvâ üzerinde yardımlaşın; günah ve düşmanlık üzerinde yardımlaşmayın"* (el-Mâide 5/2) buyrularak Müslümanların davranışlarında ahlaki sorumluluk taşıdığı ve müminlerin haksızlığa destek teşkil edecek tutumlardan kaçınmaları emredilmektedir.
Söz konusu ilke, ekonomik ilişkilerin sadece maddi kazanç açısından değil, aynı zamanda insanın ahlaki sorumluluğu açısından değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle ekonomik bir faaliyetin veya tüketim tercihinin İslâm hukuku açısından değerlendirilmesinde sadece ticari boyut değil, ortaya çıkan sosyal sonuçların da dikkate alınması gerekir. Benzer şekilde, adaletin gözetilmesine ve zulmün ortadan kaldırılmasına yönelik sorumluluk, İslâm hukukunun temel ilkeleri arasında yer almaktadır. Bu çerçevede günümüzde Filistin'de yaşanan gelişmeler de meselenin yalnızca siyasi yönden değil, insan hakları, adalet ve toplumsal sorumluluk açısından da ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.
İslâm hukuk tarihinde boykot kavramı, sistematik bir başlık altında incelenmemiştir. Ancak klasik fıkıh eserlerinde sosyal ilişkilerden uzak durma, Müslümanlara zarar veren uygulamalara karşı tavır alma ve toplumsal faydayı koruma gibi konular farklı başlıklar altında ele alınmıştır. Literatürde konuyu fıkhî esaslar ve fetvaların analizi bakımından ele alan çalışmalar (el-Ahmed, 2012; Göksün, 2025; Hank, 2024; Özaslan & Yavuz Altıntaş, 2025) bulunmakla birlikte klasik savaş hukuku kısıtlamaları ile sivil tüketici hareketleri arasındaki fıkhî illiyet bağının ve normatif sınırların daha açık biçimde ortaya konulmasına ihtiyaç vardır.
Bu çalışma; İslâm dünyası açısından sahip olduğu dinî ve kültürel değer sebebiyle sıklıkla gündeme gelen Filistin meselesi özelinde ekonomik boykot uygulamalarını normatif ve

doktriner İslâm hukuku ilkeleri doğrultusunda değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, ampirik veri ölçümünden ziyade Kur'an ve Sünnet nassları, klasik fıkıh literatürü, küllî kaideler ve maslahat-mefsedet dengesi çerçevesinde fıkhî bir analiz çerçevesi sunmayı hedeflemektedir. Böylelikle ekonomik boykotun İslâm hukuku bakımından meşruiyet dayanakları, uygulanma şartları ve normatif sınırları belirlenmektedir.

Araştırmanın temel soruları şu şekilde belirlenmiştir: Filistin meselesi bağlamında başvurulan sivil ekonomik boykot, İslâm hukukunun temel kaynakları ve genel ilkeleri bakımından hukukî meşruiyet taşımakta mıdır? Meşru kabul edilmesi hâlinde bu uygulamanın hangi şartlar ve sınırlar çerçevesinde yürütülmesi gerekir?

Bu temel soru doğrultusunda aşağıdaki alt sorulara cevap aranacaktır:

1. Kur'an, Sünnet ve klasik fıkıh literatüründe düşmana veya haksızlığa iktisadî destek sağlanması hangi hükümler çerçevesinde ele alınmıştır?
2. Klasik fıkhın stratejik ticaret kısıtlamaları (siyer hükümleri) ile günümüz sivil tüketici boykotları arasındaki fıkhî nedensellik ve illet bağı nasıl kurulmalıdır?
3. Maslahatın gözetilmesi, zararın giderilmesi ve adaletin gerçekleştirilmesi ilkeleri çerçevesinde ekonomik boykotun meşruiyetini belirleyen hukukî ölçütler nelerdir?
4. Ekonomik boykotun doğrudan hedef alınmayan üçüncü kişiler üzerinde meydana getirebileceği zararlar; gereklilik, ölçülülük ve zararın sınırlandırılması ilkeleri bakımından boykotun hukukî hükmünü nasıl etkilemektedir?

2. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel belge incelemesi ve doktriner hukukî analiz yöntemlerine dayanmaktadır. Kaynaklar; haksızlığa ekonomik yardım, stratejik mal ticareti, işlemin amacı, zarar, maslahat, üçüncü kişilerin hakları ve kamu otoritesinin yetkisi konularıyla ilişkili olmaları esas alınarak seçilmiştir. Bu kapsamda Hanefî mezhebinden Ebû Yûsuf, Serahsî, Zeylaî, Haskafî, İbn Âbidîn ve İbn Nüceym'in; Mâlikî mezhebinden Bâcî, İbn Rüşd el-Cedd, Karâfî ve Şâtıbî'nin; Şâfiî mezhebinden Gazzâlî ve Mâverdî'nin; Hanbelî mezhebinden ise İbn Receb'in ilgili eserleri incelenmiştir. Ayrıca İzzeddîn b. Abdüsselâm'ın açıklamaları ile Mecelle'deki zarar ve maslahat kaidelerinden yararlanılmıştır.

Kaynaklardaki hükümler; amacın meşruiyeti, haksızlığa katkı ve nedensellik, ölçülülük, kamu otoritesinin rolü ve alternatiflerin varlığı başlıkları altında karşılaştırılmıştır. Çalışmada önerilen beş ölçüt, klasik hükümler ve küllî kaidelerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda oluşturulmuştur.

Dünya Müslüman Âlimler Birliğinin kararı çağdaş bir fıkhî değerlendirme, Diyanet İşleri Başkanlığının internet sayfasındaki metin ise Diyanet İşleri Başkanı'nın boykot çağrısını aktaran kurumsal bir haber olarak ele alınmıştır. OHCHR'nin 2025 tarihli veri tabanı, fıkhî hüküm kaynağı olarak değil, belirli şirketlerin yerleşim faaliyetleriyle bağlantısını belirlemede yararlanılan kurumsal bir veri kaynağı olarak kullanılmıştır. Çalışma bireysel ve sivil boykotlarla sınırlıdır; devlet yaptırımları ile boykotun satış, istihdam ve piyasa üzerindeki ekonomik etkilerinin ölçülmesi kapsam dışındadır.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Ekonomik Boykotun Kavramsal ve Fıkhî Niteliği

Genel anlamıyla boykot; belirli bir amaç doğrultusunda bir kimse, kuruluş veya ülkeyle ilişkileri kesme kararıdır (Türk Dil Kurumu [TDK], t.y.). Tüketici odaklı bir kolektif tepki olan ekonomik boykot, klasik İslâm hukuku literatüründe müstakil bir başlık altında incelenmemiştir. Ancak bu uygulama; ticaret hukuku, maslahat prensibi, zararın giderilmesi ve haksızlığa yardım etmeme ilkeleri kapsamında fıkhî bir zemine kavuşturulmaktadır.

Fıkhî niteliği açısından boykot, doğrudan bir ibadet veya özü itibarıyla yasaklanmış bir fiil olmayıp amaçlara ulaşmada kullanılan bir araç niteliğindedir. Araçların hükmü yöneldikleri

amaçlara ve doğurdukları sonuçlara göre belirlenir: "Vesilelerin hükmü, amaçlarının hükmü gibidir" (İbn Abdüsselâm, t.y., C. 2, s. 74). Bu nedenle haksızlığa verilen desteği azaltan ve daha ağır bir zarara yol açmayan boykot, şartlarına göre caiz veya mendup olabilir. Kamu otoritesinin kararı ise boykotun temel meşruiyetinden ayrı olarak hukukî bağlayıcılık kapsamında değerlendirilmelidir (eş-Şâtıbî, 1997, C. 5, ss. 177-178).

Klasik fıkıhta "boykot" terimi bugünkü haliyle kullanılmasa da düşmana güç kazandıracak ticari faaliyetlerin sınırlandırılması ve stratejik ürünlere getirilen kısıtlamalar bu yaklaşımın somut yansımalarıdır. Hanefî ticaret hukukunun kurucu metinlerinden olan *el-Mebsût*'ta İmam Serahsî'nin belirttiği üzere; barış veya anlaşma (*muvâdaa*) döneminde dahi düşman statüsündeki unsurlara (Dârü'l-harp ehline) demir, silah ve binek gibi savaşta kullanılabilecek stratejik malzemelerin satılması yasaklanmıştır (es-Serahsî, 2008, C. 10, s. 164). Buradaki temel fıkhî gerekçe, anlaşma süresi bitiminde Müslümanlara karşı yeniden savaş durumuna geçebilecek bir güce lojistik destek sağlamamak ve *sedd-i zerîa* denilen kötülüğe zemin hazırlayan kanalları kapatmaktır (İbn Nüceym, 1999, s. 124).

İslâm hukukunun genel ilkeleri de boykotun meşruiyet değerlendirmesinde dikkate alınabilir. Hz. Peygamber'in "Zarar vermek ve zarara zararla karşılık vermek yoktur" (İbn Mâce, t.y., Hadis No. 2341) hadisinden hareketle Mecelle'de yer alan "Zarar izale olunur" (md. 20) ve "Def'-i mefâsid celb-i menâfi'den evlâdır" (md. 30) kaideleri, zararın önlenmesini esas almaktadır. Bu kaideler, zararı azaltmayı amaçlayan boykotun hukukî değerlendirmesinde genel bir dayanak oluşturabilir. Ancak boykotun hükmü, hedefle kurulan nedensellik bağı ve doğuracağı karşı zararlar dikkate alınarak belirlenmelidir.

Çağdaş kurumsal açıklamalar da boykotu zulme verilen ekonomik desteğin azaltılması çerçevesinde ele almaktadır. Dünya Müslüman Âlimler Birliği (2023) meseleyi fıkhî bir karar olarak değerlendirirken Diyanet İşleri Başkanlığının internet sayfasındaki metin, Diyanet İşleri Başkanı'nın boykot çağrısını aktaran kurumsal bir haberdir (Diyanet İşleri Başkanlığı, 2023). Bu iki metin aynı hukukî nitelikte değildir ve tek başlarına genel bağlayıcı bir hüküm oluşturmaz.

3.2. Klasik Fıkıhta Haksızlığa Ekonomik Katkının Sınırlandırılması

Klasik fıkıh eserlerinde düşmana savaş gücü kazandıran malların ticareti ile günaha doğrudan yardım oluşturan işlemlere sınırlamalar getirildiği görülmektedir. Bu hükümler, ticaret serbestisinin haksızlığa somut katkı sağladığı durumlarda sınırlandırılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu hükümler bütün ticari ilişkileri kapsayan genel bir yasak şeklinde yorumlanmamalıdır.

İbn Âbidîn (1992, C. 4, ss. 131-133) ve Haskafî'nin (2010, C. 3, s. 245) ilgili açıklamaları, düşmana savaş gücü kazandırabilecek silah ve stratejik malların ticaretine ilişkindir. Bu hükümler günümüz tüketici boykotları hakkında doğrudan bir hüküm içermemektedir. Çalışmada bu açıklamalardan, ekonomik işlemin haksızlığa somut ve öngörülebilir katkısı bulunduğunda sınırlandırılabileceği yönünde genel bir ölçüt çıkarılmaktadır.

Meseleye diğer mezhepler açısından bakıldığında da iktisadi kısıtlamaların ilkesel olarak savunulduğu görülür. Şâfiî fakihlerinden İmam Gazzâlî, *İhyâ*'sında, zalimlere veya haksızlık ehline doğrudan mal satmanın ya da onlardan mal almanın, onların zulmüne rıza gösterme anlamına gelebileceğini ve bu durumun *"Zulmedenlere meyletmeyin"* (Hûd 11/113) ayetinin kapsamına girebileceğini ifade eder (el-Gazzâlî, 1992, C. 2, ss. 156-158). Mâlikî mezhebine göre de riskli dönemlerde karşı tarafa güç kazandırabilecek stratejik emtianın ticareti *sedd-i zerîa* ilkesi kapsamında kısıtlanmıştır (el-Bâcî, 1914, C. 3, ss. 182-184).

Ancak klasik fıkıhtaki bu hükümler ile günümüz sivil tüketici boykotları arasındaki fark doğru kavranmalıdır. Klasik düzenlemeler devletlerarası savaş hukuku ve stratejik ham maddeler üzerinedir. Günümüz boykotları ise sivil bireylerin piyasadaki tüketim mallarına yönelik

tercihleridir. Dolayısıyla klasik öğreti, günümüz sivil boykotlarına doğrudan bir birebir eşleşme değil; "haksızlığa iktisadi katkı sunmama" ve "kötülük kanallarını tıkama" ilkeleri yönüyle dolaylı bir fıkhî dayanak oluşturmaktadır. Ayrıca klasik fıkıh terminolojisinde gayrimüslim kategorisi homojen olmayıp harbî, zimmî, muâhid ve müste'men ayrımları bulunmaktadır. Bu nedenle boykot değerlendirmelerinde kategorik ifadeler yerine, haksızlığa ve işgale somut katkı sağlama kriteri esas alınmalıdır.

Klasik fıkıhta düşmana silah ve stratejik mal satışı, karşı tarafın savaş gücünü doğrudan artırdığı için yasaklanmıştır. Modern boykot ise bireylerin olağan mal ve hizmetlere yönelik tüketim tercihidir. Bu nedenle klasik yasaklarla modern boykot arasında doğrudan bir kıyas kurulamaz. Aralarındaki ilişki, her iki uygulamada bulunan ortak hukukî gerekçe üzerinden kurulmalıdır.

Bu çalışmada söz konusu gerekçe, "bir ekonomik işlemin haksızlığı gerçekleştiren veya sürdüren yapıya doğrudan ya da öngörülebilir biçimde güç kazandırması" olarak belirlenmiştir. Zeylaî'nin (1895, C. 3, s. 296) silah satışına ilişkin açıklaması, ekonomik katkı ile yasak fiil arasındaki yakınlığı; İbn Rüşd el-Cedd'in (1988, C. 8, s. 321) açıklaması ise işlemin amacı ve kullanım biçiminin önemini göstermektedir. Bu hükümler modern boykota doğrudan uygulanmamakta, ortak gerekçenin belirlenmesinde hukukî dayanak olarak kullanılmaktadır. Buna göre sıradan bir alışverişin haksızlığa yardım kapsamında değerlendirilebilmesi için işlemin amacı, katkının doğrudanlığı, sonucun öngörülebilirliği ve nedensellik bağı birlikte incelenmelidir. Şirketin haksızlığa katkısı somut ve güvenilir verilerle ortaya konulamıyorsa boykot hükmüne ulaşılamaz. Dolayısıyla klasik hükümlerden modern boykota geçiş; masiyete yardım etmeme ilkesi, sedd-i zerîa, maslahat-mefsedet dengesi ve fiillerin sonuçlarını gözetme anlayışı birlikte değerlendirilerek kurulmaktadır.

3.3. Boykotun Hükmünü Belirleyen Beş Ölçüt

Ekonomik boykot, kendi başına doğrudan emredilen bir ibadet ya da kesin olarak yasaklanmış bir ticari işlem değildir. Bu nedenle boykotun fıkhi durumu; mübah, haram veya vacip gibi tek bir sabit hükümle açıklanamaz. Günümüzdeki tüketici boykotlarının fıkhi yönden analitik bir zemine oturması ve hukuki bir sorumluluk doğurabilmesi, bu çalışma kapsamında önerilen beş temel ölçütün değerlendirilmesine bağlanmıştır:

3.3.1. Boykotun Amacının Meşruiyeti

İslâm hukukunda araçların hükmü, yöneldikleri amaçlara göre şekillenir. Bir boykotun fıkhen kabul görebilmesi için; zulmü engellemek, haksızlığı zayıflatmak veya mazluma destek olmak gibi şer'an geçerli bir amaca (*makâsıd*) dayanması gerekir. Haksız rekabet oluşturmak, kişisel kin gütmek veya piyasa düzenini sebepsiz yere bozmak amacıyla yapılan boykotlar meşru kabul edilmez (el-Gazzâlî, 1997, C. 1, ss. 412-415).

3.3.2. Haksızlığa Katkının Tespiti ve Nedensellik Bağı

Boykot edilmek istenen yapının haksızlığa katkısı somut ve doğrulanabilir verilerle ortaya konmalıdır. Bu amaçla OHCHR'nin yerleşim faaliyetleriyle bağlantılı belirli şirketlere ilişkin güncel veri tabanından yararlanılabilir. Ancak bu veri tabanı bütün boykot hedeflerini kapsamamakta ve şirketler hakkında kesin bir hukukî hüküm vermemektedir. Bu nedenle OHCHR kaydı, diğer güncel verilerle birlikte değerlendirilmesi gereken kurumsal bir veri niteliğindedir (OHCHR, 2025).

3.3.3. Ölçülü Olma ve Karşı Zararın Değerlendirilmesi

Bir kötülüğü ortadan kaldırmaya çalışırken, daha büyük bir kötülüğe yol açmamak esastır. Boykot eyleminin doğuracağı dolaylı ekonomik etkilerin yerel ekonomiye, iç piyasa istihdamına ve yerli üreticiye vereceği zarar, hedef alınan yapıya verilecek zarardan daha ağır olmamalıdır. *"Zarar kendi misliyle ortadan kaldırılamaz"* kuralı gereğince boykotun ölçülü ve orantılı yürütülmesi gerekir (Karâfî, 1998, C. 2, ss. 118-120).

3.3.4. Kamu Otoritesinin Rolü ve Bağlayıcılık

Bireysel tüketici boykotu, şartlarına göre caiz veya mendup olabilen gönüllü bir sivil tutumdur. Kamu otoritesinin kamu yararına dayanarak ticari bir kısıtlama kararı alması ise boykotun temel meşruiyet şartı değil, kararın hukukî bağlayıcılığını ilgilendiren ayrı bir meseledir.

3.3.5. Zorunlu İhtiyaçlar ve Alternatiflerin Varlığı

Boykot edilen ürün veya hizmetlerin ikame edilebilirliği, uygulamanın fıkhî hükmünü etkiler. Uygun alternatiflerin bulunması tüketicinin boykota katılımını kolaylaştırır. Hayati önem taşıyan ve alternatifi bulunmayan ilaç, tıbbî malzeme ve zorunlu hizmetler ise ihtiyaç ve zaruret derecesine göre boykotun kapsamı dışında tutulabilir. Bu değerlendirme "Zaruretler memnu olan şeyleri mubah kılar" kaidesine dayanır (Mecelle, md. 21).

4. FİLİSTİN MESELESİ BAĞLAMINDA HEDEFLİ EKONOMİK BOYKOT

Filistin meselesi bağlamında boykot edilecek şirketlerin güvenilir ve güncel verilere dayanılarak belirlenmesi gerekir. Bir şirketin millî kimliği, ortaklarının dini veya şirket hakkındaki genel kanaatler tek başına boykot gerekçesi oluşturmaz. Şirketin işgal, yerleşim faaliyetleri veya insan hakları ihlalleriyle olan ekonomik ilişkisinin somut biçimde gösterilmesi gerekir.

OHCHR'nin 2025 tarihli veri tabanı, işgal altındaki Filistin topraklarındaki yerleşim faaliyetleriyle bağlantılı belirli şirketleri kapsamaktadır. Ancak bu veri tabanı bütün boykot hedeflerini içermediği gibi bir şirketin bütün faaliyetlerinin aynı hükme tâbi olduğunu da göstermemektedir (OHCHR, 2025). Örneğin veri tabanında yer alan bir çevrim içi konaklama platformu üzerinden yerleşim bölgesindeki bir işletmeye rezervasyon yapılması, söz konusu faaliyete doğrudan ekonomik katkı sağlayabilir. Buna karşılık aynı platformun yerleşim faaliyetleriyle ilgisi bulunmayan bir işlemde kullanılması hâlinde katkı daha dolaylıdır. Bu nedenle şirketin yalnızca listede bulunması yeterli görülmemeli; yapılan işlem ile haksızlık arasındaki katkı ve nedensellik bağı ayrıca araştırılmalıdır.

Böyle bir boykotun meşruiyeti; amacın haksızlığa verilen desteği azaltması, katkının doğrulanabilir olması, yöntemin ölçülü uygulanması, üçüncü kişilere verilecek zararın gözetilmesi ve uygun alternatiflerin bulunması ölçütlerine göre değerlendirilmelidir. Bireysel boykot gönüllülük esasına dayanmalı; temel ihtiyaçlar ile alternatifi bulunmayan ürün ve hizmetler kapsam dışında tutulabilmelidir.

5. MEŞRUİYET SINIRLARI VE ÜÇÜNCÜ KİŞİLERE ZARAR

Ekonomik boykotun meşru bir amaca yönelmesi, kullanılan her yöntemi kendiliğinden meşru hâle getirmez. Boykotun hedefe etkisi kadar, sürecin doğrudan tarafı olmayan işçiler, yerel tedarikçiler, küçük işletmeler ve tüketiciler üzerindeki sonuçları da dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte üçüncü kişilerin her dolaylı gelir kaybı, tek başına hukuken yasak bir zarar sayılamaz. Değerlendirme; zararın ağırlığı, öngörülebilirliği, hedefle bağlantısı, önlenebilirliği ve boykottan beklenen meşru yararla oranı birlikte gözetilerek yapılmalıdır. Bu yaklaşım, fiillerin doğuracağı sonuçların hesaba katılmasını içtihadın bir parçası sayan Şâtıbî'nin (1997, C. 5, ss. 177-178) yaklaşımıyla uyumludur. İzzeddîn b. Abdüsselâm'ın (t.y., C. 1, ss. 83-84) maslahat ve mefsedetler çatıştığında üstün olanın tercih edilmesine ilişkin açıklamaları da aynı dengeyi destekler. Mecelle'deki "Zarar izale olunur", "Bir zarar kendi misliyle izale olunamaz" ve "Ehven-i şerreyn ihtiyar olunur" kaideleri (md. 20, 25 ve 29), boykotun yalnız amacı bakımından değil, meydana getireceği karşı zararlar bakımından da ölçülmesini gerektirir.

İbn Receb el-Hanbelî'nin (2005, ss. 234-236) hakların kullanımı ile zararın önlenmesini birlikte ele alan kaide açıklamaları, kişinin kendisine tanınan bir tasarruf alanını kullanırken başkasına yönelen haksız zararı gözetmesi gerektiğini gösterir. Bu açıklamalar modern ekonomik boykot hakkında verilmiş doğrudan bir hüküm değildir. Çalışmada bu yaklaşım, tüketicinin satın almama tercihinin ilke olarak meşru olmakla birlikte, boykotun uygulanış biçiminden doğan

ağır ve önlenebilir üçüncü kişi zararlarının ayrıca değerlendirilmesi gerektiği şeklinde yorumlanmaktadır. Zeylaî'ye (1895, C. 3, s. 296) göre fitne ehline silah satışı, satılan malın doğrudan günah fiilinde kullanılması ve böylece o fiile yardım teşkil etmesi sebebiyle sakıncalıdır. Bu hüküm modern tüketici boykotuna ilişkin doğrudan bir açıklama değildir. Ancak klasik metinde yardımın hükmü belirlenirken mal ile yasak fiil arasındaki bağın yakınlığına önem verilmesi, bu çalışmada boykot hedefinin seçimi bakımından yorumlayıcı bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Buna göre bir şirketin haksızlığa katkısı somut ve doğrudan ise boykot gerekçesi güçlenir; uzak, belirsiz veya yalnızca varsayıma dayanan bağlantılarda ise aynı hükme kolayca ulaşılamaz.

İbn Rüşd el-Cedd (1988, C. 8, s. 321), bir câriyenin hizmet amacıyla satın alınması ile şarkı söylemesi amacıyla satın alınmasını farklı değerlendirerek aynı mal üzerindeki işlemin amaç ve kullanım biçimine göre değişen bir hüküm kazanabileceğini aktarır. Bu örnek de günümüz ekonomik boykotları hakkında verilmiş doğrudan bir hüküm değildir. Buradan hareketle yapılan yorum, ticari ilişkinin sırf varlığının değil; işlemin amacı, öngörülen kullanım biçimi ve haksız sonuca katkısının birlikte incelenmesi gerektiğidir. Dolayısıyla hedef tespiti, şirketin kimliğine ilişkin genellemelerden ziyade faaliyet ve katkı verilerine dayanmalıdır.

Mâverdî (1989, ss. 298-300), hisbe bahsinde resmî muhtesib ile gönüllü olarak iyiliği emredip kötülükten sakındıran kişi arasında yetki farkı bulunduğunu; araştırma, yardımcı görevlendirme ve yaptırım uygulama gibi kamusal yetkilerin resmî görevliye ait olduğunu belirtir. Bu açıklama da modern boykotun hükmünü doğrudan belirlemez. Bununla birlikte söz konusu yetki ayrımı, bu çalışmada sivil boykotun sınırlarını açıklayan bir ilke olarak yorumlanmaktadır: Bireyler satın almama, bilgilendirme ve barışçıl çağrıda bulunma hakkına sahip olmakla beraber kamu otoritesine ait cebir ve cezalandırma yetkisini üstlenemez; boykota katılmayanları tehdit edemez, iş yerlerini zorla kapattıramaz ve ticareti fiilen engelleyemez.

Ebû Yûsuf (1999, Mukaddime), Kitâbü'l-Harâc'ın mukaddimesinde kamu yönetiminin zulmü gidermesi, halkın durumunu düzeltmesi ve hakları koruması gerektiğini vurgular. Bu açıklama modern tüketici boykotuna ilişkin doğrudan bir fetva değildir. Bununla birlikte çalışmada, kamu otoritesinin ekonomik bir kısıtlamaya bağlayıcılık kazandırırken hedef üzerindeki etkiyle birlikte masum çalışanlar, yerli üreticiler, tedarikçiler ve temel ihtiyaçlara erişim üzerindeki sonuçları da gözetmesi gerektiği şeklinde yorumlanmaktadır.

Bu çerçevede üçüncü kişilere zarar değerlendirmesi, boykotu bütünüyle geçersiz kılan mutlak bir engel değil, uygulanış biçimini sınırlayan bir ölçülülük şartıdır. Öncelikle hedef şirketin haksızlığa katkısı güvenilir ve güncel verilerle doğrulanmalı; ardından boykotun hedef üzerindeki muhtemel etkisi ile yerel çevrede doğuracağı zarar karşılaştırılmalıdır. Daha dar kapsamlı bir ürün veya şirket listesiyle aynı meşru sonuca ulaşılabiliyorsa, geniş ve genelleyici boykot yerine daha az zarar veren araç tercih edilmelidir. Özellikle franchise, lisans, distribütörlük ve yerel ortaklık ilişkilerinde markanın merkez şirketi ile yerel işletmenin hukukî ve ekonomik bağları ayrı ayrı incelenmelidir. Yerel işletmenin yalnız marka kullanması, merkez şirkete hangi oranda ödeme yaptığı ve hedeflenen faaliyete bu ödemenin nasıl yansıdığı araştırılmadan işletmenin doğrudan haksızlığın tarafı sayılması isabetli değildir. Aynı şekilde çalışanların dinî veya millî kimliği değil, haksız fiile katkılarının bulunup bulunmadığı esas alınmalıdır.

Sonuç olarak meşru boykot; doğrulanmış bilgiye dayanan, hedef ile haksızlık arasındaki nedensellik bağını gösteren, barışçıl yöntemlerle yürütülen ve masum üçüncü kişilere doğacak ağır zararı azaltan hedefli bir tutum olmalıdır. İbn Receb el-Hanbelî'nin kaide açıklamaları hak kullanımı ile zarar arasındaki dengeyi; Zeylaî ve İbn Rüşd'ün muamelâta ilişkin örnekleri katkının yakınlığı ile amaç ve kullanımın önemini; Mâverdî'nin hisbe açıklaması sivil girişim ile kamusal cebir arasındaki sınırı; Ebû Yûsuf'un kamu yönetimine ilişkin yaklaşımı ise

toplumsal sonuçların gözetilmesini destekleyen klasik dayanaklar olarak değerlendirilebilir. Bunların modern boykota uygulanması, klasik müelliflere doğrudan bir boykot hükmü nispeti değil, bu çalışmanın açıkça ortaya koyduğu fıkhî yorum ve uyarlamadır.

6. SONUÇ

İslâm fıkıh doktrini ve temel kaynaklar ışığında yürütülen bu araştırma, Filistin meselesi özelinde gündeme gelen ekonomik boykot eylemlerinin hukuki meşruiyetini ve uygulanma sınırlarını incelemiştir. Çalışma neticesinde şu nihai sonuçlara ulaşılmıştır:

İslâm hukukunda boykot, sabit hükme sahip müstakil bir ibadet değil, hükmü amacı ve sonuçlarına göre değişen bir araçtır. Bu nedenle haksızlığa verilen ekonomik desteği azaltma amacı taşıması tek başına yeterli değildir. Boykotun meşruiyeti; hedefin haksızlığa katkısının doğrulanması, işlemle haksızlık arasındaki nedensellik bağının kurulması, yöntemin ölçülü olması ve üçüncü kişilere doğacak zararın gözetilmesine bağlıdır.

Klasik fıkıhta yer alan *sedd-i zerîa* ve *def'-i mefâsid* ilkeleri ile harbî tarafa stratejik emtia satışı yasağı, günümüz tüketici boykotları için dolaylı bir normatif dayanak oluşturmaktadır. Ancak klasik siyer hükümleri ile modern sivil tüketici eylemleri arasındaki hukuki fark göz önünde bulundurulmalıdır.

Filistin özelinde uygulanan hedefli ekonomik boykotların fıkhî açıdan analitik bir zeminde değerlendirilebilmesi beş temel ölçüte dayanmaktadır: Amacın meşruiyeti, hedeflenen yapının haksızlığa katkısının tespiti ve nedensellik, yerel ekonomiye verilecek karşı zararın kontrolü (ölçülülük), kamu otoritesinin kararlarıyla uyum ve hayati ihtiyaç maddelerinde alternatiflerin varlığıdır. Boykotun üçüncü kişiler üzerinde ekonomik kayıplara yol açması, bu uygulamayı kendiliğinden gayrimeşru hâle getirmez. Bununla birlikte zararın doğrudanlığı, ağırlığı, süresi ve telafi edilebilirliği ile boykotun hedeflenen sonuca muhtemel katkısı birlikte değerlendirilmelidir. Yanlış bilgiye dayanan, hedefle bağlantısı bulunmayan kişi ve işletmeleri kapsayan veya tehdit, baskı ve mala zarar verme gibi hukuka aykırı yöntemler içeren uygulamalar meşru kabul edilemez.

Sonuç olarak Filistin bağlamındaki ekonomik boykot, bütün şirketlere veya ürünlere yönelen genel bir tepki olarak değil; doğrulanmış bilgiye dayanan, hedefle katkı arasındaki bağı gösteren, gönüllü, ölçülü ve alternatifleri gözeten bir sivil tutum olarak uygulanmalıdır.

KAYNAKÇA

Diyanet İşleri Başkanlığı. (2023, 1 Kasım). *Siyonizmi destekleyen firmaların ürünleri kararlı ve devamlı bir şekilde boykot edilmeli* [Haber]. https://www.diyanet.gov.tr/tr-TR/Kurumsal/Detay/35938/siyonizmi-destekleyen-firmalarin-urunleri-kararli-ve-devamli-bir-sekilde-boykot-edilmeli

Dünya Müslüman Âlimler Birliği. (2023, 29 Mart). *Kudüs ve Filistin'deki ihlallere karşı iktisadî boykotun fıkhî hükmü* (Karar No. 6). https://iumsonline.org/archives/97582

Ebû Yûsuf, Y. b. İ. (1999). *Kitâbü'l-Harâc* (T. A. Sa'd, Tah.). Mektebetü'l-Ezheriyye.

el-Ahmed, S. (2012). Medâ meşrûiyyeti'l-mukāta'ati'l-iktisâdiyye fi'l-fıkhi'l-İslâmî. *Hebron University Journal for Research-A (Humanities), 7*(1), 145–176. https://www.hebron.edu/index.php/jour-hum/jour-archive/10-vol-7-no-1/60-2023-05-31-08-55-17.html

el-Bâcî, E. S. (1914). *el-Müntekâ şerhu Muvatta'i'l-İmâm Mâlik*. Matbaatü's-Saâde.

el-Gazzâlî, E. H. M. (1992). *İhyâu ulûmi'd-dîn*. Dârü'l-Hadîs.

el-Gazzâlî, E. H. M. (1997). *el-Mustasfâ fî ilmi'l-usûl* (M. S. el-Eşkar, Tah.). Müessesetü'r-Risâle.

el-Haskafî, A. M. (2010). *ed-Dürrü'l-muhtâr fî şerhi Tenvîri'l-ebsâr* (A. Atâ, Tah.). Dârü'l-Mustafâ.

el-Karâfî, Ş. A. (1998). *Envârü'l-burûk fî envâ'i'l-furûk*. Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.
el-Mâverdî, A. M. (1989). *el-Ahkâmü's-sultâniyye ve'l-velâyâtü'd-dîniyye* (A. M. el-Bağdâdî, Tah.). Mektebetü Dâri't-Turâs.
es-Serahsî, M. A. (2008). *el-Mebsût* (M. C. Akşit, Çev.). Gümüşev Yayıncılık.
eş-Şâtıbî, İ. M. (1997). *el-Muvâfakât* (E. U. M. Âl-i Selmân, Tah.). Dârü İbn Affân.
ez-Zeylaî, F. O. (1895). *Tebyînü'l-hakāik şerhu Kenzü'd-dekâik*. el-Matbaatü'l-Emîriyye.
Göksün, A. F. (2025). Ekonomik boykotun meşruiyet delillerine dair bir deneme. *İslam Hukuku Araştırmaları Dergisi*, (45), 183–218. https://doi.org/10.59777/ihad.1545065
Hank, N. (2024). Economic boycott from the Islamic law perspective: A post-Tūfān al-ʾAqṣā case study. *Trabzon İlahiyat Dergisi, 11*(2), 531–556. https://doi.org/10.33718/tid.1537894
İbn Abdüsselâm, İ. (t.y.). *Kavâidü'l-ahkâm fî mesâlihi'l-enâm*. Dârü'l-Maârif.
İbn Âbidîn, M. A. (1992). *Reddü'l-muhtâr 'alâ ed-Dürri'l-muhtâr*. Dârü'l-Fikr.
İbn Mâce, M. Y. (t.y.). *Sünen* (M. F. Abdülbâkî, Tah.). Dârü'l-Hadîs.
İbn Nüceym, Z. İ. (1999). *el-Eşbâh ve'n-nezâir* (M. M. el-Hâfız, Tah.). Dârü'l-Kütübi'l-İlmiyye.
İbn Receb el-Hanbelî, Z. A. (2005). *el-Kavâid fî fıkhi'l-Hanâbile* (E. U. M. Âl-i Selmân, Tah.). Dârü'l-Hadîs.
İbn Rüşd el-Cedd, E. M. (1988). *el-Beyân ve't-tahsîl* (A. el-Habbâbî, Tah.). Dârü'l-Garbi'l-İslâmî.
Mecelle-i Ahkâm-ı Adliyye. (1293/1876). *Düstur* (1. Tertip, C. 3). Matbaa-i Âmire.
Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights. (2025). *Database of all business enterprises involved in the activities detailed in paragraph 96 of the report of the independent international fact-finding mission* (A/HRC/60/19). United Nations Human Rights Council. https://www.ohchr.org/en/documents/thematic-reports/ahrc6019-database-all-business-enterprises-involved-activities-detailed
Özaslan, F. Z., & Yavuz Altıntaş, M. (2025). İsrail ürünleri ve Siyonist markaların boykotuna dair fetvaların metodolojik ve fıkhî analizi. *Yakın Doğu Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi, 11*(2), 415–446. https://doi.org/10.32955/neu.ilaf.2025.11.2.02
Türk Dil Kurumu. (t.y.). Boykot. *Güncel Türkçe Sözlük* içinde. https://sozluk.gov.tr

YAYGIN MİNE HİPOPLAZİSİNİN DİREKT KOMPOZİT RESTORASYONLARLA ESTETİK REHABİLİTASYONU: BİR YILLIK OLGU TAKİBİ

Uzm. Dt. Kübra BAHAR[96]
ORCID ID : 0000-0002-2201-0416
Öğr. Gör. Tülay Tuğçe GÖKÇE[97]
Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Dentistry, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, 11230, Bilecik, Türkiye
ORCID: 0009-0008-0105-9641

ÖZET

Mine hipoplazisi, mine matriksinin oluşumu sırasında meydana gelen bozukluklar sonucunda diş yüzeyinde niceliksel doku kaybı ve estetik problemlere neden olabilen gelişimsel bir mine defektidir. Bu olgu sunumunda, yaygın mine hipoplazisi bulunan genç bir hastanın direkt kompozit restorasyonlarla gerçekleştirilen estetik rehabilitasyonunun ve bir yıllık klinik takip sonuçlarının sunulması amaçlanmıştır. Sistemik olarak sağlıklı 21 yaşındaki kadın hasta, maksiller anterior dişlerindeki uyumsuz restorasyonlardan duyduğu rahatsızlık nedeniyle kliniğimize başvurdu. Hasta ağzında yapılan klinik ve radyolojik değerlendirme sonucu 12, 11 ve 21 numaralı dişlerde kök kanal tedavisi ve hijyenik olmayan restorasyonlar gözlendi. Ayrıca birçok dişi etkileyen yaygın mine hipoplazisi tespit edildi. Restoratif işlemler öncesinde diş taşı temizliği ve polisaj uygulandı. 12, 11 ve 21 numaralı dişlerde kök kanal tedavileri yenilendi ve ardından iki seans devital beyazlatma gerçekleştirildi. Beyazlatma işleminden iki hafta sonraki randevuda 13–23 numaralı dişler rubber dam ile izole edildi. Eski restorasyonlar uzaklaştırılıp mine yüzeylerinden kalın grenli disk yardımıyla minimal miktarda doku kaldırıldı. Restorasyonlar, kompozit rezinler (Estelite Sigma Quick, Tokuyama Dental, Japonya; OPA2/OA2/A1) kullanılarak serbest el tabakalama tekniğiyle tamamlandı. Bitim ve polisaj işlemlerinde ince grenli elmas frezler, polisaj diskleri (Sof-Lex, 3M ESPE) ve polisaj lastikleri (Enhance PoGo, Dentsply, ABD) kullanıldı. Üçüncü ve on ikinci aylardaki kontrollerde restorasyonların marjinal bütünlüğünün, renk uyumunun ve yüzey parlaklığının korunduğu; kırık, kopma, belirgin renklenme, marjinal renk değişikliği, sekonder çürük veya postoperatif hassasiyet gelişmediği belirlendi. Periodontal dokuların sağlıklı olduğu ve hastanın estetik sonuçtan memnun kaldığı görüldü. Direkt kompozit restorasyonların, mine hipoplazisine bağlı anterior estetik problemlerin minimal invaziv tedavisinde başarılı ve öngörülebilir bir seçenek olduğu sonucuna varıldı.

Anahtar kelimeler: Mine hipoplazisi, direkt kompozit restorasyon, devital beyazlatma, estetik rehabilitasyon, serbest el tekniği

96

97

ESTHETIC REHABILITATION OF GENERALIZED ENAMEL HYPOPLASIA WITH DIRECT COMPOSITE RESTORATIONS: A ONE-YEAR CASE FOLLOW-UP

ABSTRACT

Enamel hypoplasia is a developmental enamel defect resulting from disturbances during enamel matrix formation, leading to quantitative loss of enamel tissue and esthetic problems on the tooth surface. This case report aimed to present the esthetic rehabilitation of a young patient with generalized enamel hypoplasia using direct composite restorations and the one-year clinical follow-up results. A systemically healthy 21-year-old female patient presented to our clinic complaining of incompatible restorations on the maxillary anterior teeth. Clinical and radiographic examination revealed previously root canal-treated teeth with inadequate and unhygienic restorations on teeth 12, 11, and 21. In addition, generalized enamel hypoplasia affecting multiple teeth was diagnosed. Prior to the restorative procedures, supragingival scaling and polishing were performed. Root canal retreatment was carried out for teeth 12, 11, and 21, followed by two sessions of internal bleaching. Two weeks after completion of the bleaching procedure, teeth 13–23 were isolated using a rubber dam. The existing restorations were removed, and a minimal amount of enamel was reduced using coarse-grit abrasive discs. The restorations were completed using the freehand layering technique with composite resins (Estelite Sigma Quick, Tokuyama Dental, Japan; OPA2/OA2/A1). Finishing and polishing procedures were performed using fine-grit diamond burs, polishing discs (Sof-Lex, 3M ESPE), and polishing rubbers (Enhance PoGo, Dentsply, USA). At the 3- and 12-month follow-up examinations, the restorations demonstrated preserved marginal integrity, color match, and surface gloss, with no evidence of fracture, debonding, clinically significant discoloration, marginal staining, secondary caries, or postoperative sensitivity. The periodontal tissues remained healthy, and the patient expressed satisfaction with the esthetic outcome. It was concluded that direct composite restorations represent a successful and predictable minimally invasive treatment option for the management of anterior esthetic problems associated with enamel hypoplasia.

Keywords: Enamel hypoplasia, direct composite restoration, non-vital bleaching, esthetic rehabilitation, freehand technique

INTRODUCTION

Enamel is a highly mineralized tissue produced by ameloblasts and has no regenerative capacity. Local, systemic, or genetic disturbances during amelogenesis may result in different clinical manifestations depending on the timing and duration of the insult. Developmental defects of enamel are generally evaluated as hypoplasia, which represents a quantitative reduction in enamel thickness, or opacities, which represent qualitative changes in enamel translucency and mineralization (*A Review of the Developmental Defects of Enamel Index (DDE Index). Commission on Oral Health, Research & Epidemiology. Report of an FDI Working Group - PubMed*, n.d.) Clinically, enamel hypoplasia may present as pits, grooves, irregular surfaces, localized or generalized loss of enamel, and associated discoloration.

Enamel defects in the anterior region may affect not only dental morphology but also smile esthetics, self-confidence, and social interaction, particularly in young patients. Treatment planning should consider the extent and depth of the defect, the amount of sound tooth structure, pulpal and periapical status, the quality of existing restorations, occlusal relationships, and the patient's esthetic expectations. Although treatment options include microabrasion, bleaching, direct composite restorations, indirect veneers, and full-coverage restorations, adhesive and minimally invasive approaches that preserve sound dental tissue should be prioritized in young

individuals (*Esthetic Rehabilitation of Anterior Teeth Affected by Enamel Hypoplasia: A Case Report - SOARES - 2002 - Journal of Esthetic and Restorative Dentistry - Wiley Online Library*, n.d.) .

Direct composite restorations are an important option for anterior esthetic rehabilitation because they can be completed in a single appointment, allow reproduction of color and optical characteristics by layering materials with different opacities, require limited tooth preparation, and can be repaired when necessary. Nevertheless, long-term success depends on appropriate case selection, effective isolation, proper layering, meticulous finishing and polishing, and regular clinical follow-up (Demarco et al., 2015). This case report presents the clinical procedure and one-year outcomes of freehand direct composite restorations placed after endodontic retreatment and internal bleaching in a young patient with generalized enamel hypoplasia and incompatible maxillary anterior restorations.

CASE PRESENTATION

A systemically healthy 21-year-old female patient presented to our clinic because she was dissatisfied with the appearance of incompatible restorations in the maxillary anterior region. A detailed medical and dental history was obtained, followed by clinical and radiographic examinations. Intraoral examination revealed generalized enamel hypoplasia affecting multiple teeth and esthetically and hygienically inadequate restorations in the maxillary anterior region. Radiographic examination showed that teeth 12, 11, and 21 had previously undergone root canal treatment. The clinical findings, treatment alternatives, and planned procedures were explained to the patient. Written informed consent was obtained for the scientific use of clinical photographs and publication of the case.

Before restorative treatment, supragingival scaling and polishing were performed to remove surface deposits and support periodontal health. Following endodontic evaluation, root canal retreatment was performed on teeth 12, 11, and 21. After completion of endodontic treatment, two sessions of internal bleaching were performed on these teeth. Because intracoronal bleaching may temporarily impair bonding of resin-based materials to dental tissues, definitive restorative procedures were performed two weeks after completion of bleaching (Kılınç et al., 2016) .

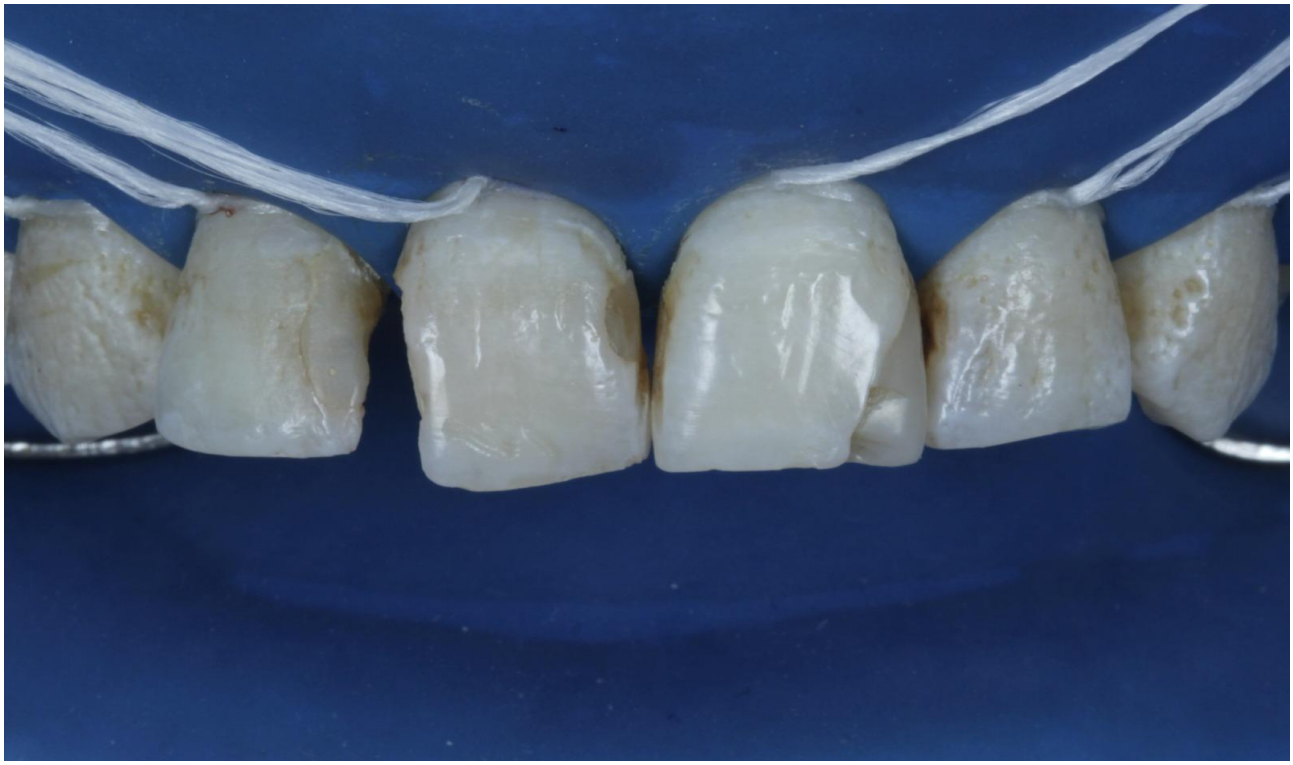
At the restorative appointment, teeth 13–23 were isolated with a rubber dam. The old and incompatible restorations in the maxillary anterior region were carefully removed. A coarse-grit abrasive disc was used to remove only the minimum amount of tissue required from the hypoplastic and irregular enamel surfaces, thereby providing conservative surface refinement. The aim was to harmonize the form, color, and optical transitions of the restorations with the adjacent teeth. The direct restorations were completed using a freehand layering technique with OPA2, OA2, and A1 shades of Estelite Sigma Quick composite resin (Tokuyama Dental, Japan). After the anatomical form and surface characteristics had been established, finishing was performed with fine-grit diamond burs. Proximal and facial surfaces were refined using polishing discs (Sof-Lex, 3M ESPE), and final surface gloss was achieved using polishing rubbers (Enhance PoGo, Dentsply, USA). The contours, surface smoothness, color match, marginal adaptation, and relationship of the restorations with the periodontal tissues were evaluated clinically. Esthetic integration of the maxillary anterior region was achieved, and the patient was satisfied with the immediate outcome.

The patient attended follow-up visits at 3 and 12 months. At both examinations, marginal integrity, color match, surface gloss, fracture or debonding, marginal discoloration, secondary caries, postoperative sensitivity, and periodontal tissue health were evaluated. Marginal integrity, color match, and surface gloss were maintained at both follow-up visits. No fracture,

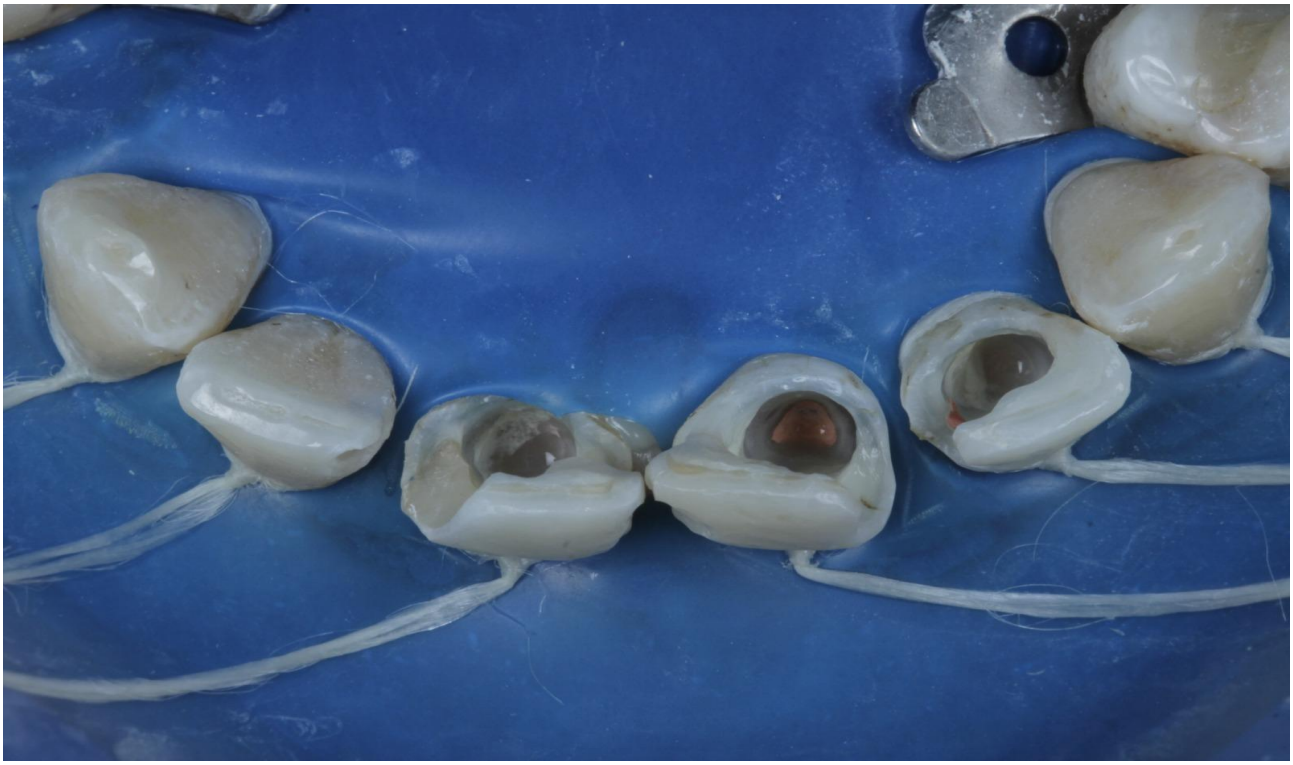
debonding, clinically significant discoloration, marginal staining, secondary caries, or postoperative sensitivity was detected. The periodontal tissues remained healthy, and the patient's satisfaction with the esthetic outcome was maintained.



Figure 1. *Preoperative intraoral clinical appearance of the maxillary anterior teeth, showing generalized enamel hypoplasia and the existing incompatible restorations.*







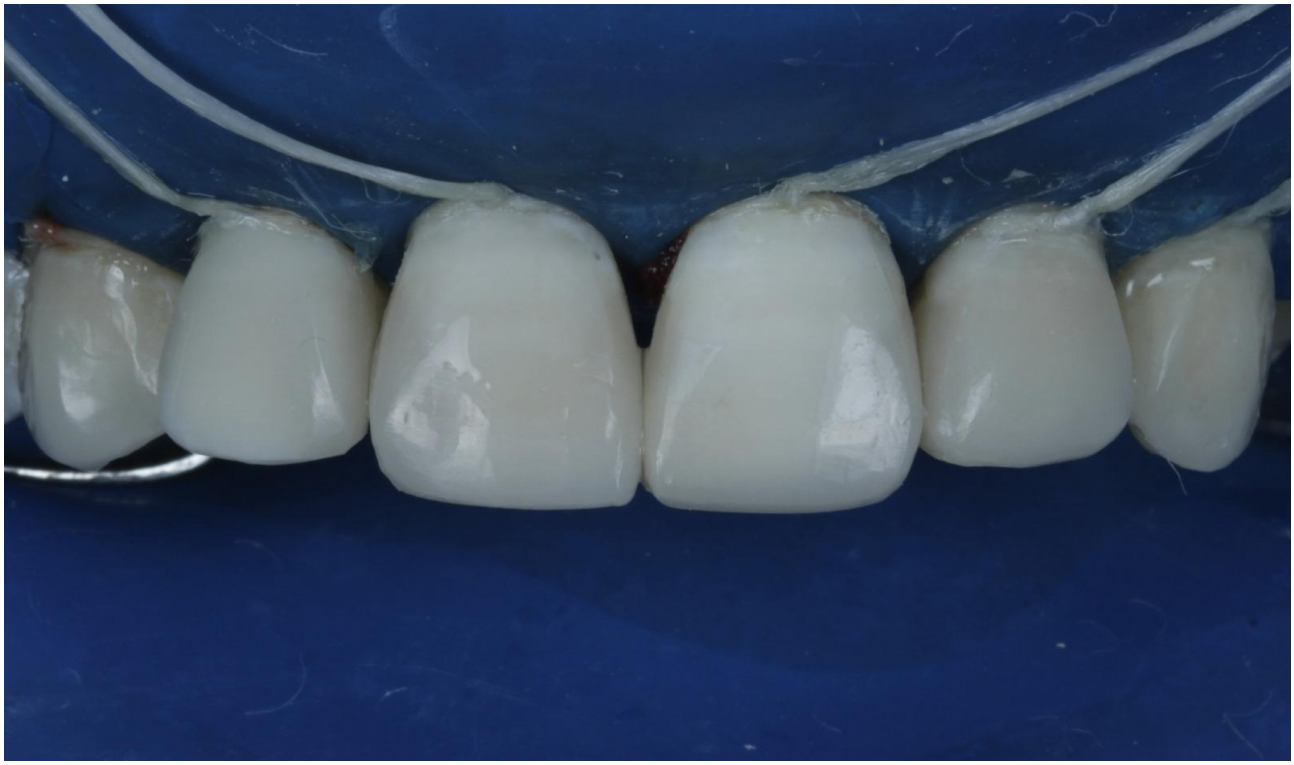


Figure 2. Clinical stages of the restorative treatment performed under rubber dam isolation: (A) appearance before removal of the existing restorations and carious tissues, (B) frontal view of the tooth surfaces prepared for direct composite restoration following removal of the existing restorations and carious tissues, (C) pre-restorative incisal view of the maxillary

anterior teeth following completion of cavity preparation, and (D) immediate appearance after completion of the direct composite restorations using a freehand layering technique.



Figure 3. *Postoperative intraoral clinical appearance of the maxillary anterior teeth photographed against a black background, demonstrating the anatomical form, color match, and optical characteristics of the direct composite restorations.*



Figure 4. *Intraoral clinical appearance of the direct composite restorations at the 12-month follow-up, demonstrating preserved marginal integrity, color match, and surface gloss.*

DISCUSSION

Because the severity and distribution of enamel hypoplasia vary considerably, treatment must be individualized. Superficial and limited defects may be managed with less invasive procedures, whereas areas with substantial tissue loss or morphological alteration may require restorative reconstruction of contour and color. In the anterior region, treatment should meet the patient's esthetic expectations while preserving as much sound tissue as possible. (*Esthetic Rehabilitation of Anterior Teeth Affected by Enamel Hypoplasia: A Case Report - SOARES - 2002 - Journal of Esthetic and Restorative Dentistry - Wiley Online Library*, n.d.) reported that anterior teeth affected by hypoplasia can be conservatively rehabilitated with composite resins. Similarly, (Ruschel et al., 2016)and (Souza et al., 2020) demonstrated that satisfactory esthetic and functional outcomes can be achieved through appropriate case selection and a carefully executed adhesive-restorative protocol.

Direct composite restorations were selected in the present case because of the patient's young age, the generalized esthetic concern in the anterior region, and the objective of preserving the maximum amount of sound dental tissue. Only a minimal amount of tissue was removed from the hypoplastic and irregular surfaces, and the restorations were shaped using a freehand layering technique. The ability to complete treatment directly, layer different shades and opacities, and repair the restorations in the future are major advantages of this approach. Five-year case reports of direct composite veneers in anterior teeth affected by enamel hypoplasia also support this conservative treatment concept (Zorba et al., 2010)

Retreatment of the root canals in teeth 12, 11, and 21 and two sessions of internal bleaching improved the biological and esthetic foundation before definitive restoration. Internal bleaching is a conservative method for improving color in discolored, endodontically treated teeth before

considering more invasive prosthetic alternatives. However, the adequacy of root canal treatment, placement of an appropriate cervical barrier, and awareness of potential complications are essential for safe treatment (Amer, 2023) (Plotino et al., 2008)

Residual oxygen-derived species following bleaching may temporarily interfere with polymerization and reduce the bonding effectiveness of resin materials to enamel and dentin. Therefore, adhesive restorative procedures should not be performed immediately after bleaching.(Kılınç et al., 2016) demonstrated that delaying enamel bonding for 14 days after internal bleaching restored bond strength to values comparable with those of the control group. Accordingly, placement of the definitive direct composite restorations two weeks after internal bleaching in the present case was consistent with the available evidence.

The clinical performance of anterior composite restorations is influenced by isolation, restoration size, mechanical and optical properties of the material, surface finishing, patient-related risk factors, and follow-up duration. In their systematic review, (Demarco et al., 2015) identified fracture, discoloration, and marginal deterioration among the main reasons for failure of anterior composite restorations. (Heintze et al., 2015) supported the long-term clinical effectiveness of direct anterior restorations while emphasizing that restoration class and operative procedures may influence outcomes. (Dietschi et al., 2019)also reported generally favorable clinical performance for direct anterior composites but highlighted the importance of material- and operator-related variables.

In the present case, rubber dam isolation and meticulous finishing and polishing may have contributed to surface quality and periodontal compatibility. The absence of fracture, debonding, clinically significant discoloration, marginal staining, secondary caries, or sensitivity at 3 and 12 months, together with preserved marginal integrity, color match, and surface gloss, supports short-term clinical success. Nevertheless, failures of direct anterior composites may emerge over time, and fracture has been identified as an important failure mode; therefore, continued clinical review remains necessary(Shah et al., 2021) .

The principal limitation of this report is that it describes the one-year outcome of a single patient. Furthermore, clinical performance was not quantified using a standardized rating system. The findings therefore cannot be generalized; however, the availability of baseline, immediate postoperative, and follow-up records enables longitudinal assessment of the treatment. Longer follow-up is required to evaluate color stability, surface characteristics, marginal adaptation, and the possible need for repair.

CONCLUSION

With appropriate case selection and multidisciplinary planning, direct composite restorations may provide a conservative, repairable, and predictable option for anterior esthetic problems associated with generalized enamel hypoplasia. In this case, following endodontic retreatment, two sessions of internal bleaching, and a two-week waiting period, freehand direct composite restorations placed under rubber dam isolation achieved esthetic integration and maintained their clinical characteristics at the 3- and 12-month follow-up visits. Regular clinical monitoring is necessary to maintain long-term success.

PATIENT CONSENT

Written informed consent was obtained from the patient for the scientific use of clinical photographs and publication of the case information without disclosure of her identity.

REFERENCES

A review of the developmental defects of enamel index (DDE Index). Commission on Oral Health, Research & Epidemiology. Report of an FDI Working Group—PubMed. (n.d.). Retrieved 31 July 2026, from https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1286924/

Amer, M. (2023). Intracoronal tooth bleaching—A review and treatment guidelines. *Australian Dental Journal*, *68 Suppl 1*, S141–S152. https://doi.org/10.1111/adj.13000

Demarco, F. F., Collares, K., Coelho-de-Souza, F. H., Correa, M. B., Cenci, M. S., Moraes, R. R., & Opdam, N. J. M. (2015). Anterior composite restorations: A systematic review on long-term survival and reasons for failure. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *31*(10), 1214–1224. https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.07.005

Dietschi, D., Shahidi, C., & Krejci, I. (2019). Clinical performance of direct anterior composite restorations: A systematic literature review and critical appraisal. *The International Journal of Esthetic Dentistry*, *14*(3), 252–270.

Esthetic Rehabilitation of Anterior Teeth Affected by Enamel Hypoplasia: A Case Report—SOARES - 2002—Journal of Esthetic and Restorative Dentistry—Wiley Online Library. (n.d.). Retrieved 31 July 2026, from https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1708-8240.2002.tb00176.x?utm_source=chatgpt.com

Heintze, S. D., Rousson, V., & Hickel, R. (2015). Clinical effectiveness of direct anterior restorations—A meta-analysis. *Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials*, *31*(5), 481–495. https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.01.015

Kılınç, H. İ., Aslan, T., Kılıç, K., Er, Ö., & Kurt, G. (2016). Effect of Delayed Bonding and Antioxidant Application on the Bond Strength to Enamel after Internal Bleaching. *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*, *25*(5), 386–391. https://doi.org/10.1111/jopr.12303

Plotino, G., Buono, L., Grande, N. M., Pameijer, C. H., & Somma, F. (2008). Nonvital tooth bleaching: A review of the literature and clinical procedures. *Journal of Endodontics*, *34*(4), 394–407. https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.12.020

Ruschel, V. C., Araújo, É., Bernardon, J. K., & Lopes, G. C. (2016). Enamel hypoplasia: Challenges of esthetic restorative treatment. *General Dentistry*, *64*(5), 75–78.

Shah, Y. R., Shiraguppi, V. L., Deosarkar, B. A., & Shelke, U. R. (2021). Long-term survival and reasons for failure in direct anterior composite restorations: A systematic review. *Journal of Conservative Dentistry : JCD*, *24*(5), 415–420. https://doi.org/10.4103/jcd.jcd_527_21

Souza, M. I. A. V., Cavalheiro, J. P., Bussaneli, D. G., Jeremias, F., & Zuanon, Â. C. C. (2020). Esthetic reconstruction of teeth with enamel hypoplasia. *General Dentistry*, *68*(2), 56–59.

Zorba, Y. O., Bayindir, Y. Z., & Barutcugil, C. (2010). Direct laminate veneers with resin composites: Two case reports with five-year follow-ups. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, *11*(4), E056-062.

HARİCİ KRİPTO İŞLEMCİSİ DESTEKLİ GÖMÜLÜ SİSTEMLERDE TLS 1.2 EL SIKIŞMA VE MQTT GÜVENLİ HABERLEŞME SÜRELERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Yük. Müh. Erkan EGELİ
Bursa Uludağ Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye
EMKO Elektronik A.Ş., AR-GE, Bursa, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3381-0416
Dr. Oğuzhan COŞKUN
EMKO Elektronik A.Ş., AR-GE, Bursa, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1197-6565
Yük. Müh. Gökhan MUTLU
EMKO Elektronik A.Ş., AR-GE, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7906-5637

ÖZET
İnternete bağlanan cihazların CE belgelendirme sürecinde siber güvenlik testlerinden başarıyla geçmesi zorunlu hale gelmektedir. Ancak, güvenli haberleşmenin temelini oluşturan el sıkışma ve sonrasındaki şifreli veri iletimi süreçleri, özellikle işlem kapasitesi ve bellek kaynakları sınırlı mikrodenetleyicilerde haberleşme gecikmelerinin artmasına ve RAM/Flash gereksinimlerinin yükselmesine neden olabilmektedir. Bu çalışmada, ARM Cortex-M4 çekirdeğine sahip STM32F4XX mikrodenetleyicisi üzerinde Taşıma Katmanı Güvenliği (TLS) 1.2 protokolünün performans üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Analiz kapsamında, TLS protokolünün şifresiz haberleşme ile karşılaştırmalı zaman maliyeti; saf yazılımsal kriptografi ve harici bir güvenlik elemanı olan Microchip ATECC608C destekli donanımsal kriptografi yaklaşımları altında değerlendirilmiştir. Ölçümler, MQTT tabanlı bir haberleşme altyapısı üzerinde gerçekleştirilmiş; el sıkışma süresi, veri gönderme ve alma gecikmeleri ile bellek kaynak gereksinimleri nicel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, saf yazılımsal TLS 1.2 gerçekleştiriminde el sıkışma süresinin yaklaşık 1,25 s mertebesine ulaştığını ve şifresiz haberleşmeye kıyasla kabul edilemez düzeyde yüksek bir zaman ek yükü oluşturduğunu göstermiştir. Buna karşılık, ATECC608C kullanımıyla el sıkışma süresi yaklaşık %94 oranında azaltılarak onlarca milisaniye seviyesine düşürülmüştür. Toplam güvenli haberleşme süresi açısından değerlendirildiğinde, ATECC608C destekli TLS 1.2 yaklaşımının, saf yazılımsal TLS'e kıyasla küçük veri paketlerinde yaklaşık 7,4 kat (%86,6 azalma), büyük veri paketlerinde ise yaklaşık 1,6 kat (%38,9 azalma) daha kısa sürelerde güvenli iletişim sağladığı belirlenmiştir. Bellek kullanımı analizleri, donanımsal güvenlik elemanı entegrasyonunun yazılımsal TLS'e kıyasla sınırlı bir ek Flash ve RAM ihtiyacı oluşturduğunu; buna karşın sağlanan performans kazanımı ve özel anahtarların güvenli donanım içerisinde tutulması avantajları göz önüne alındığında bu ek maliyetin kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuştur.
Anahtar Kelimeler: TLS 1.2, ATECC608C, Gömülü Sistemler, IoT Güvenliği, MQTT

PERFORMANCE ANALYSIS OF TLS 1.2 HANDSHAKE AND MQTT SECURE COMMUNICATION TIMES IN EMBEDDED SYSTEMS WITH AN EXTERNAL CRYPTOGRAPHIC COPROCESSOR

ABSTRACT

Passing cybersecurity tests is becoming a mandatory requirement in the CE certification process for internet-connected devices. However, the handshake (key establishment) and subsequent encrypted data transmission processes, which form the basis of secure communication, may lead to increased communication latency and higher RAM/Flash requirements, particularly in microcontrollers with limited processing capability and memory resources. In this study, the performance impact of the Transport Layer Security (TLS) 1.2 protocol is experimentally investigated on an ARM Cortex-M4–based STM32F4XX microcontroller. Within the scope of the analysis, the time overhead introduced by TLS is evaluated comparatively against unencrypted communication under two different cryptographic approaches: purely software-based cryptography and hardware-assisted cryptography using the Microchip ATECC608C secure element. Measurements are conducted over an MQTT-based communication infrastructure, and handshake duration, data transmission and reception latencies, as well as memory resource requirements are quantitatively analyzed. The results indicate that, in the purely software-based TLS 1.2 implementation, the handshake duration reaches approximately 1.25 s, introducing an unacceptably high time overhead compared to unencrypted communication. In contrast, the use of the ATECC608C reduces the handshake duration by approximately 94%, lowering it to the order of tens of milliseconds. When the total secure communication time is considered, the ATECC608C-assisted TLS 1.2 approach achieves communication times approximately 7.4 times shorter (an 86.6% reduction) for small payloads and about 1.6 times shorter (a 38.9% reduction) for larger payloads compared to the software-only TLS implementation. Memory usage analysis further shows that the integration of the hardware security element introduces only a limited additional Flash and RAM overhead compared to software-based TLS. Considering the significant performance gains and the advantage of securely storing private keys within tamper-resistant hardware, this additional memory cost is deemed acceptable.

Keywords: TLS 1.2, ATECC608C, Embedded Systems, IoT Security, MQTT

1. GİRİŞ

Günümüzde nesnelerin interneti (IoT) ekosisteminin hızla genişlemesi, uç cihazların güvenliğini küresel ölçekte stratejik bir öncelik haline getirmiştir. Bu bağlamda, Avrupa Birliği'nin (EU) 2024/2847 sayılı Siber Dayanıklılık Yasası (CRA) Aralık 2024'te yürürlüğe girmiş olup, endüstride kritik bir dönüşümün başlangıcını temsil etmektedir. Bu tüzük uyarınca, üreticiler için zorunlu güvenlik olayı raporlama yükümlülükleri Eylül 2026'da uygulanmaya başlayacak; dijital öge içeren ürünlerin CE uygunluk işareti alabilmesi için temel siber güvenlik gereksinimlerini karşılaması zorunluluğu ise Aralık 2027'de bağlayıcı hale gelecektir (Avrupa Birliği, 2024).

Ancak bu regülasyonlar, özellikle düşük saat frekansına sahip ve kısıtlı kaynaklara (RAM/FLASH) sahip gömülü sistemler için önemli mühendislik zorluklarını beraberinde getirmektedir. Güvenli haberleşmenin temelini oluşturan Taşıma Katmanı Güvenliği (TLS) protokolü; kimlik doğrulama, anahtar değişimi ve veri şifreleme süreçlerinde yoğun hesaplama gücü gerektirmektedir. Kısıtlı donanım kaynaklarına sahip işlemcilerde bu süreçler el sıkışma sürelerinin kabul edilemez düzeylere çıkmasına ve kısıtlı FLASH ve RAM kapasitelerinin büyük bir kısmının kriptografik kütüphaneler tarafından işgal edilmesine yol açmaktadır.

Bu kronik performans ve güvenlik sorunlarını aşmak amacıyla, hesaplama yoğun işlemlerin ana işlemciden alınarak özel bir donanımsal güvenlik elemanına devredilmesi modern gömülü sistem mimarisinde temel bir zorunluluk haline gelmiştir. Harici kripto işlemcilerin kullanımı, hem asimetrik işlemlerin donanımsal olarak hızlandırılarak sistemin performans hedeflerine ulaşmasını sağlar, hem de hassas anahtarların fiziksel olarak yalıtılmış bir ortamda saklanmasına olanak tanıyarak CRA yasasının talep ettiği yüksek güvenlik standartlarını karşılar.

1.1. IoT Güvenlik Alanındaki Kısıtlamalar ve Kriptografik Yük

Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) cihazları, genellikle sınırlı RAM ve düşük saat hızlarına sahip ARM Cortex-M4 mimarili mikrodenetleyicilerle (MCU) donatılmıştır (Göppert vd., 2023). Bu kısıtlı donanım kaynakları, cihazların internet üzerinden güvenli iletişim kurmasını sağlayan TLS protokollerinin uygulanmasında ciddi zorluklar yaratır.

TLS protokolünün gerektirdiği anahtar değişimi ve kimlik doğrulama işlemleri, özellikle Eliptik Eğri Dijital İmza Algoritması (ECDSA) ve Eliptik Eğri Diffie-Hellman (ECDHE) gibi asimetrik kriptografi algoritmalarına dayanır. Bu algoritmalar, ana işlemci üzerinde yüz binlerce Merkezi İşlem Birimi (CPU) döngüsü tüketerek yoğun hesaplama yükü oluşturmakta ve el sıkışma sürelerinin yüzlerce milisaniyeye çıkmasına neden olmaktadır (Göppert vd., 2023; Noseda vd., 2022). Saf yazılımsal çözümlerde karşılaşılan bu zaman ek yükü, gerçek zamanlı veri iletimi gerektiren endüstriyel uygulamalarda sistem performansını kritik düzeyde olumsuz etkilemektedir.

1.2. Harici Kripto İşlemcisi Kullanımının Motivasyonu ve Güvenlik Avantajları

Söz konusu performans ve kaynak kısıtlamalarını aşmak amacıyla, kriptografik işlemlerin yükünü MCU'dan alarak özel bir donanıma devreden ATECC608C gibi güvenlik elemanları kullanımı temel bir çözüm olarak kabul görmüştür (Microchip Technology Inc., 2023). Harici bir kripto işlemcisi entegrasyonu, sisteme iki ana boyutta avantaj sağlamaktadır:

1. **Donanımsal İvmelenme:** Hesaplama yükü yüksek olan ECDSA imzalama ve ECDHE anahtar anlaşması gibi işlemler, ATECC608C'nin özel donanım hızlandırıcıları üzerinde ana işlemciye kıyasla çok daha kısa sürede tamamlanmaktadır. Bu durum, toplam el sıkışma süresini minimize ederek güvenli haberleşmeyi kabul edilebilir performans sınırlarına çeker (Microchip Technology Inc., 2023).
2. **Fiziksel ve Mantıksal Güvenlik:** TLS istemci özel anahtarları, yazılım katmanından tamamen yalıtılarak fiziksel müdahalelere ve kurcalamaya dayanıklı çip içerisinde depolanmaktadır. Bu mimari, anahtarların "Format String" veya "Buffer Overflow" gibi yazılımsal saldırılarla ele geçirilme riskini ortadan kaldırırken, anahtarın CPU bellek alanına hiç çıkmamasını sağlayarak en üst düzey koruma sunar (Pearson vd., 2020).

Bu donanım tabanlı yaklaşım, kısıtlı kaynaklara sahip sistemlerde güvenlik ve performans gereksinimlerini dengelemek adına kritik bir rol oynamaktadır.

1.3. Çalışmanın Amaçları ve Özgün Katkısı

Bu çalışmada, kaynakları sınırlı gömülü sistemlerde TLS kullanımının performans etkilerinin nicel olarak ortaya konması amaçlanmaktadır. Özellikle, TLS'in hesaplama yükü ve zaman gecikmesi üzerindeki etkileri, yazılımsal ve donanımsal kriptografik yaklaşımlar bağlamında karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu doğrultuda, TLS uygulamasının getirdiği ek maliyetin, aynı donanım platformu üzerinde tanımlı referans bir senaryo ile ilişkilendirilerek değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma, TLS performansını, TLS'siz temel haberleşme durumu, tamamen yazılımsal kriptografi kullanan TLS yapılandırması ve donanımsal kriptografik hızlandırma (ATECC608C) destekli TLS yapılandırması olmak üzere üç farklı senaryo altında ele almaktadır. Bu yaklaşım sayesinde, güvenli haberleşmenin sisteme getirdiği performans

etkileri, platform bağımlı değişkenlerden arındırılarak doğrudan karşılaştırılabilir duruma getirilmiştir.

Bu çalışmada, TLS'in performans maliyetinin yalnızca farklı donanımlar veya farklı yazılım yığınları üzerinden değil, aynı mikrodenetleyici mimarisi üzerinde tanımlı, kontrollü ve karşılaştırılabilir senaryolar aracılığıyla analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda çalışmanın başlıca hedefleri şu şekilde özetlenebilir:

1. **TLS Kaynak Maliyetinin Nicel Olarak Ortaya Konması:** Güvenli haberleşmeye ait zaman gecikmeleri, TLS'siz haberleşme süreleri ile doğrudan karşılaştırılarak, TLS protokolünün getirdiği mutlak zaman ek yükünün nicel olarak belirlenmesi hedeflenmektedir.
2. **TLS El Sıkışma Sürelerinin Detaylı Analizi:** TLS el sıkışma sürecinde kritik rol oynayan ECDSA imzalama ve ECDHE anahtar anlaşma işlemleri, yazılımsal gerçekleştirim ve güvenlik çipi tabanlı donanımsal hızlandırma senaryoları için ayrı ayrı ölçülerek bu işlemlerin toplam el sıkışma gecikmesine olan etkilerinin analiz edilmesi hedeflenmektedir.
3. **Yazılımsal ve Donanımsal Kriptografinin Karşılaştırmalı Analizi:** Saf yazılımsal kriptografik işlemler ile ATECC608C destekli donanımsal kriptografik işlemler arasındaki performans farkının deneysel olarak değerlendirilmesi ve donanımsal hızlandırmanın özellikle TLS el sıkışma aşamasındaki etkisinin ortaya konması hedeflenmektedir.

1.4. İlgili Çalışmalar

Literatürde, kısıtlı kaynaklara sahip gömülü sistemlerde TLS kullanımına ilişkin çalışmalar ağırlıklı olarak performans ve kaynak kullanımı ekseninde ele alınmaktadır. Bu çalışmaların bir bölümü, TLS oturum kuruluş sürecini oluşturan kriptografik işlemlerin yürütme sürelerini ve bellek ayak izlerini nicel olarak analiz etmeye odaklanırken; diğer bir bölüm ise bu maliyetleri azaltmaya yönelik donanımsal kriptografik hızlandırma yaklaşımlarını incelemektedir. Özellikle el sıkışma sürecindeki asimetrik kriptografik işlemlerin zaman ve bellek üzerindeki etkileri ile güvenlik elemanlarının bu sürece katkısı, mevcut çalışmaların ortak inceleme alanlarını oluşturmaktadır.

Pearson vd. (2020), yazılımsal TLS'in bellek ve gecikme maliyetlerini pratik bir uygulama senaryosu üzerinden tartışmış; el sıkışma süresinin gerçek zamanlı uygulamalarda darboğaz oluşturabileceğini ve kriptografik işlemlerin donanımsal olarak desteklenmesi gerektiğini vurgulamış, ancak el sıkışma bileşenlerini ayrı ayrı ayrıştırmamıştır.

Van (2020), ATECC608A kullanılan bir gömülü sistemde güvenlik modülünün anahtar üretimi, saklama ve asimetrik işlemlerdeki rolünü incelemiş; ECDH ve ECDSA'nın donanımsal yürütülmesinin MCU yükünü azalttığını göstermiş, ancak el sıkışma süresini yazılımsal senaryolarla nicel olarak karşılaştırmamıştır.

Noseda vd. (2022), farklı üreticilerin güvenlik elemanlarını DTLS (Datagram TLS) el sıkışma süresi ve enerji tüketimi açısından karşılaştırmış; ECDSA/ECDHE tabanlı senaryolarda anlamlı kazanımlar raporlamış, ancak Flash ve RAM ayak izini sınırlı düzeyde ele almıştır.

Göppert vd. (2023), ARM Cortex-M4 üzerinde TLS 1.2 el sıkışmasını mesaj adımları seviyesinde zamanlamış; ECDHE ve ECDSA işlemlerinin baskın bileşenler olduğunu, eğri parametreleri ile sertifika zinciri uzunluğunun gecikmeyi doğrudan etkilediğini göstermiş, ancak donanımsal hızlandırma senaryolarını kapsam dışı bırakmıştır.

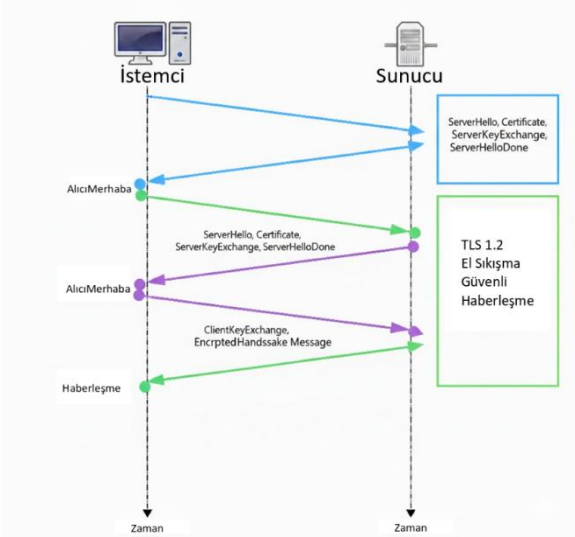
2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. TLS 1.2 El Sıkışma Süreci ve ATECC608C'nin Fonksiyonel Rolü

TLS 1.2 protokolü, istemci ve sunucu arasında kimlik doğrulama, veri bütünlüğü ve gizlilik hedeflerini sağlayan, oturum tabanlı bir güvenli haberleşme mekanizmasıdır. Endüstriyel ve gömülü sistemlerde yaygın olarak kullanılan TLS 1.2, bu güvenlik özelliklerini el sıkışma süreci sırasında kurulan kriptografik bağlam üzerinden gerçekleştirmektedir. El sıkışma aşaması, tarafların kimlik doğrulamasını ve ortak oturum anahtarlarının güvenli şekilde

türetilmesini kapsamakta olup, protokolün toplam hesaplama maliyetinin büyük bölümünü oluşturmaktadır (Kietzmann vd., 2021).

TLS 1.2 el sıkışma süreci, Şekil 1'de gösterildiği gibi, istemci ve sunucu arasında gerçekleşen dört temel aşamadan oluşmaktadır (Dierks ve Rescorla, 2008). Bu aşamalar, protokol akışının mantıksal yapısını tanımlamakta olup, çalışmanın deneysel değerlendirmelerinde referans alınan işlem adımlarını da oluşturmaktadır.



Şekil 1. TLS 1.2 el sıkışma süreci işlem adımları

1. **Hello Aşaması:** İstemci; desteklediği TLS sürümünü, şifreleme takımı listesini (Cipher Suites) ve ClientRandom değerini ClientHello mesajıyla sunucuya iletir. Sunucu, seçtiği şifreleme takımını, ServerRandom değerini ve kullanılacak TLS sürümünü ServerHello mesajıyla bildirir; bu aşamanın hesaplama maliyeti düşüktür.
2. **Sunucu Kimlik Doğrulama ve Anahtar Değişim Aşaması:** Sunucu, dijital sertifikasını göndererek kimliğini kanıtlar; istemci, sertifika zincirini sistemine gömülü Kök Sertifika Otoritesi (CA) sertifikası üzerinden ECDSA ile doğrular. Sunucu ayrıca ürettiği geçici ECDHE anahtar çiftinin genel anahtarını, sertifikasına karşılık gelen özel anahtarla imzalayarak ServerKeyExchange mesajıyla iletir. ECDSA imzalama/doğrulama ve ECDHE anahtar üretimi nedeniyle bu aşama, el sıkışma sürecinin en yüksek hesaplama maliyetli adımlarından biridir.
3. **İstemci Anahtar Değişimi ve Doğrulama Aşaması:** İstemci, kendi geçici ECDHE anahtar çiftini üreterek genel anahtarını ClientKeyExchange mesajıyla gönderir; taraflar, değiş tokuş edilen genel anahtarlar ile ClientRandom ve ServerRandom değerleri üzerinden ortak gizli sırrı hesaplayarak oturum anahtarlarını türetir. İstemci tarafındaki ECDHE hesaplamaları el sıkışma süresine anlamlı katkı sağlar.
4. **Şifreleme Spesifikasyonunun Değiştirilmesi Aşaması:** Taraflar, ChangeCipherSpec mesajlarıyla şifreli iletişime geçtiklerini bildirir; önceki tüm el sıkışma mesajlarının özetini yeni oturum anahtarlarıyla şifreleyen Finished mesajlarının karşılıklı doğrulanmasıyla TLS oturumu güvenli veri iletimine hazır hale gelir.

ATECC608C'nin Rolü:

Bu çalışmada kullanılan mimaride, TLS 1.2 el sıkışma sürecinde gerçekleştirilen asimetrik kriptografik işlemler, saf yazılımsal gerçekleştirim ve ATECC608C destekli donanımsal hızlandırma olmak üzere iki farklı yaklaşım altında ele alınmıştır. ATECC608C güvenlik elemanı, TLS el sıkışma sürecinde en yüksek hesaplama maliyetine sahip adımlar olan ECDSA tabanlı dijital imzalama/doğrulama ve ECDHE anahtar anlaşması kapsamında yürütülen

anahtar üretimi ve ortak sır hesaplama işlemlerini donanımsal olarak gerçekleştirmektedir (Microchip Technology Inc., 2023).

Bu kapsamda eliptik eğri aritmetiği ve büyük tam sayılı modüler işlemler gibi hesaplama açısından yoğun adımlar ATECC608C'nin dahili kriptografik motorlarında yürütülmekte; ana mikrodenetleyici yalnızca yüksek seviyeli komutları I2C (Inter-Integrated Circuit) arayüzü üzerinden güvenlik elemanına iletmektedir (Restuccia vd., 2020).

Tipik uygulamalarda, TLS protokol akışının kontrolü, el sıkışma mesajlarının oluşturulması ve ayrıştırılması ile *Record Protocol* aşamasında kullanılan simetrik şifreleme işlemleri ana mikrodenetleyici üzerinde yürütülmekte, ATECC608C yalnızca asimetrik kriptografik işlemlere odaklanmaktadır (Gentile vd., 2024). Bu çalışmadaki donanım destekli senaryoda ise, güvenlik elemanının yeteneklerinin ve sınırlarının uçtan uca ortaya konabilmesi amacıyla simetrik şifreleme ve şifre çözme işlemleri de I2C arayüzü üzerinden ATECC608C'ye devredilmiş; bu tasarım tercihinin veri iletim performansına etkisi Bölüm 2.7'de nicel olarak analiz edilmiştir.

Bu yaklaşım sayesinde, asimetrik kriptografik işlemler sırasında ana mikrodenetleyicinin CPU çevrimleri ve bellek kaynakları tüketilmemekte, özel anahtarlar güvenli eleman dışına hiçbir aşamada çıkarılmamakta ve işlem süreleri yazılımsal gerçekleştirimlere kıyasla daha öngörülebilir hale gelmektedir.

2.2. Simetrik Kriptografi Yükü ve I2C Kısıtlaması

TLS 1.2 el sıkışma sürecinin tamamlanmasının ardından, istemci ve sunucu arasında gerçekleştirilen veri iletimi, *Record Protocol* aşamasında simetrik kriptografik mekanizmalar kullanılarak yürütülmektedir. Simetrik kriptografik işlemler, asimetrik kriptografiye kıyasla hesaplama açısından daha düşük maliyetli olmakla birlikte, şifrelenen veri miktarı arttıkça toplam gecikme üzerindeki etkileri belirgin hale gelmektedir (Bühler vd., 2022).

ATECC608C güvenlik elemanı, simetrik kriptografi için AES-128 (Advanced Encryption Standard) donanım desteği sunmasına rağmen, bu desteğin veri iletim aşamasında sağladığı performans kazanımı sınırlıdır. Bunun temel nedeni, şifrelenecek veri bloklarının ana mikrodenetleyiciden güvenlik elemanına I2C arayüzü üzerinden aktarılması gerekliliğidir. Bu arayüzün sınırlı bant genişliği ve işlemci–çip arasındaki ardışık veri transfer modeli, büyük veri bloklarının işlenmesi sırasında ek iletişim gecikmelerine yol açmaktadır.

Literatürde de vurgulandığı üzere, simetrik işlemlerin harici güvenlik elemanında yürütülmesi küçük veri boyutlarında kabul edilebilirken, veri miktarı arttıkça dahili hızlandırıcılara veya optimize yazılımsal kütüphanelere kıyasla belirgin performans dezavantajı oluşturmaktadır (Kietzmann vd., 2021); bu nedenle simetrik kriptografinin hangi platformda çalıştırıldığı, uçtan uca gecikmeyi doğrudan etkileyen kritik bir tasarım parametresidir.

Bu bağlamda, çalışmanın deneysel bölümünde simetrik kriptografik işlemler için ATECC608C ve ana mikrodenetleyici tabanlı gerçekleştirimler ayrı senaryolar altında değerlendirilmiş olup, I2C tabanlı veri aktarımının toplam gecikmeye olan etkisi nicel olarak analiz edilmiştir.

2.3. Donanım ve Yazılım Mimarisi

Güvenli haberleşme sürecinde el sıkışma ve veri iletim aşamalarında oluşan gecikmelerin nicel olarak belirlenebilmesi amacıyla, yazılımsal ve donanımsal kriptografi yaklaşımlarını karşılaştırmaya olanak veren kontrollü bir deneysel kurulum oluşturulmuştur.

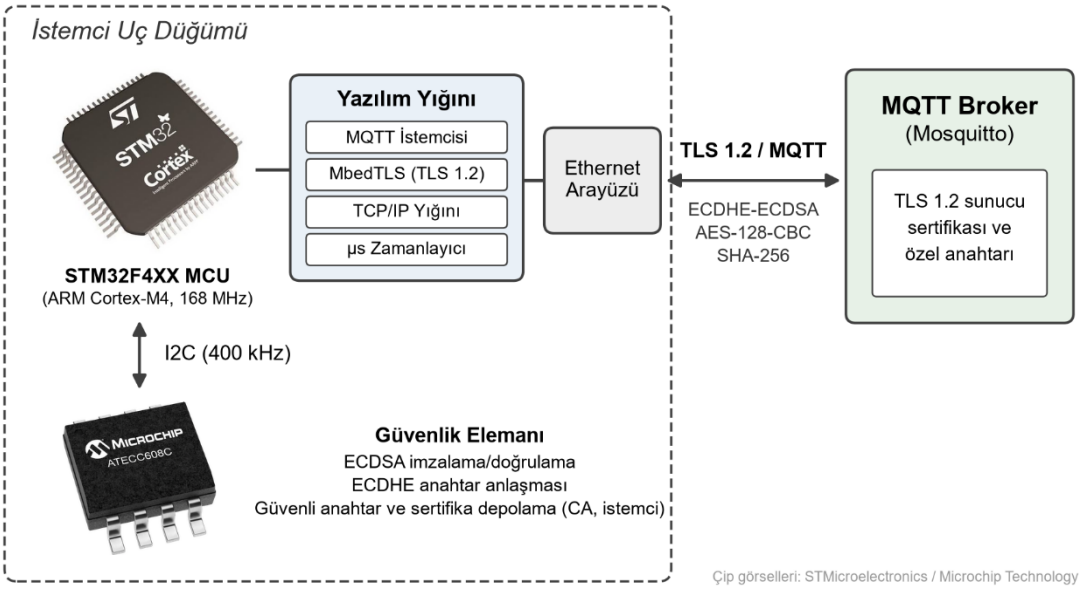
Deneysel çalışmalarda istemci tarafı, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan ve ARM Cortex-M4 çekirdeğine sahip STM32F4XX serisi bir mikrodenetleyici üzerinde gerçekleştirilmiştir. Mikrodenetleyici, 168 MHz saat frekansında çalıştırılmış ve TLS istemci uygulaması bu platform üzerinde koşturulmuştur. Asimetrik kriptografik işlemleri donanımsal olarak hızlandırmak ve özel anahtarların güvenli bir ortamda saklanmasını sağlamak amacıyla,

ATECC608C Güvenlik Elemanı, mikrodenetleyiciye 400 kHz hızında çalışan standart bir I2C arayüzü üzerinden bağlanmıştır.

Yazılım mimarisi, mikrodenetleyici üzerinde çalışan TCP/IP yığını ve bunun üzerine entegre edilmiş MbedTLS kriptografik kütüphanesinden oluşmaktadır. MbedTLS, hem saf yazılımsal kriptografik gerçekleştirimleri hem de ATECC608C'ye özgü donanım sürücüleri aracılığıyla güvenlik elemanı entegrasyonunu desteklemektedir. Bu yapı sayesinde, TLS protokolü aynı donanım üzerinde iki farklı kriptografik yaklaşım altında çalıştırılabilmiş ve karşılaştırılabilir ölçümler elde edilmiştir (Pearson vd., 2019).

TLS 1.2 yapılandırmasında, el sıkışma aşamasında ECDHE anahtar değişim mekanizması ve ECDSA tabanlı kimlik doğrulama kullanılmıştır. El sıkışmanın tamamlanmasının ardından, *Record Protocol* aşamasında veri gizliliği için AES-128-CBC (Cipher Block Chaining) algoritması ve bütünlük kontrolü için SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256) özetleme fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu seçim, hem gömülü sistemlerde yaygın kullanım hem de donanımsal ve yazılımsal gerçekleştirimlerin karşılaştırılabilirliği açısından uygun bir yapı sunmaktadır.

İletişim altyapısı olarak, istemci cihaz Ethernet arayüzü üzerinden bir MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) Broker'a bağlanmıştır. Broker tarafında TLS sertifikaları yapılandırılmış olup, istemci ile sunucu arasındaki haberleşme TLS 1.2 üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, deneysel kurulumun gerçekçi bir endüstriyel IoT senaryosunu temsil etmesini sağlamış ve ölçülen performans değerlerinin pratik uygulamalara aktarılabilirliğini artırmıştır. Oluşturulan deneysel kurulumun donanım ve haberleşme mimarisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneysel kurulumun donanım ve haberleşme mimarisi

2.3.1. ATECC608C Ön Hazırlığı ve Sertifika Yönetimi

Deneysel ölçümlere başlanmadan önce, ATECC608C güvenlik elemanı, TLS 1.2 protokolünün kimlik doğrulama ve anahtar yönetimi gereksinimlerini karşılayacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu ön hazırlık süreci, Microchip tarafından sağlanan Trust Platform Design Suite yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılandırma aşamasının amacı, TLS el sıkışma sürecinde kullanılacak sertifikaların ve kriptografik anahtarların güvenli bir şekilde oluşturulması, saklanması ve kullanılmasını sağlamaktır.

İlk olarak, TLS tabanlı kimlik doğrulama mekanizması için gerekli olan CA, istemci ve sunucu sertifikaları oluşturulmuştur. Sertifika altyapısı, TLS el sıkışma sürecinde karşılıklı kimlik doğrulamanın sağlanabilmesi amacıyla tasarlanmıştır.
Oluşturulan sertifikaların ardından, ATECC608C çipinin güvenli bellek alanları aşağıdaki şekilde programlanmıştır.

- Sunucu sertifikasının doğrulanmasında kullanılacak olan CA sertifikası, istemci tarafında ATECC608C içerisine gömülmüştür. Bu sayede, sunucunun kimlik doğrulama süreci sırasında sertifika zinciri doğrulaması güvenli donanım içerisinde gerçekleştirilebilmiştir.
- İstemciye ait dijital sertifika ve özellikle ECDSA imzalama işlemlerinde kullanılan gizli özel anahtar, ATECC608C'nin kurcalamaya dayanıklı güvenli bellek alanlarından birine yüklenmiştir. Bu yapılandırma ile özel anahtar, hiçbir aşamada ana mikrodenetleyici belleğine veya yazılım alanına aktarılmadan, yalnızca güvenlik elemanı içerisinde kullanılmak üzere saklanmıştır. Böylece, özel anahtarın yazılımsal saldırılara ve yetkisiz erişimlere karşı korunması sağlanmıştır.

Sunucu tarafında ise, oluşturulan sunucu sertifikası MQTT broker olarak kullanılan Mosquitto yazılımına yüklenmiştir. Bu yapılandırma, istemci ve sunucu arasında TLS 1.2 tabanlı güvenli haberleşmenin kurulabilmesi için gerekli sertifika altyapısını tamamlamıştır.
Gerçekleştirilen bu ön hazırlık ve sertifika yönetimi adımları sayesinde, TLS el sıkışma sürecinde kimlik doğrulama işlemleri güvenli ve tutarlı bir biçimde gerçekleştirilmiş; ATECC608C'nin asimetrik kriptografi işlemlerindeki rolü deneysel ölçümler için hazır duruma getirilmiştir.

2.4. Performans Ölçüm Metotları ve Senaryolar

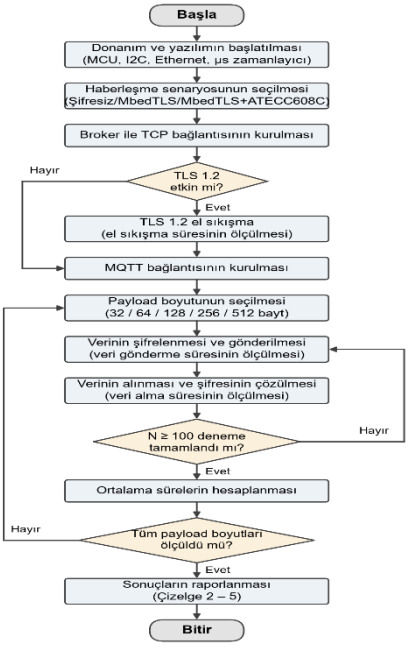
Bu çalışmada TLS 1.2 protokolünün farklı kriptografik gerçekleştirimler altındaki performans maliyetini nicel olarak belirlemek amacıyla, süre ölçümleri mikrodenetleyici çekirdeği içerisinde gerçekleştirilmiştir. Zaman ölçümleri, MCU üzerinde çalışan yüksek çözünürlüklü bir donanım zamanlayıcısı kullanılarak mikro saniye (µs) hassasiyetinde alınan zaman damgaları aracılığıyla yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarının istatistiksel güvenilirliğini sağlamak amacıyla, her bir test senaryosu için en az $N \geq 100$ başarılı deneme gerçekleştirilmiş ve raporlanan değerler bu denemelerin aritmetik ortalamaları üzerinden elde edilmiştir.
Süre ölçümlerine ek olarak, her bir senaryonun bellek kaynak gereksinimleri de değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, şifresiz haberleşme, saf yazılımsal TLS 1.2 ve ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryoları için FLASH ve RAM kullanım değerleri, uygulamanın derlenmesi sırasında oluşan derleyici çıktı raporları üzerinden belirlenmiştir. Ölçüm yapılan senaryolara ait detaylar aşağıda verilmiştir.

1. **Şifresiz Haberleşme:** Bu senaryoda TLS protokolü tamamen devre dışı bırakılmıştır. Haberleşme başlangıcında herhangi bir anahtar değişimi veya kriptografik müzakere gerçekleştirilmemekte; istemci ve sunucu arasındaki tüm veri paketleri şifresiz olarak iletilmektedir. Bu yapı, ölçülen süreler açısından sistemin ulaşabileceği en düşük gecikme sınırını temsil eden referans senaryo olarak ele alınmıştır. Ancak bu haberleşme modelinde, ağa bağlı üçüncü tarafların iletilen verileri okuyabilmesi veya taraflardan birini taklit ederek haberleşmeye müdahale edebilmesi mümkündür.
2. **Yazılımsal TLS 1.2 (MbedTLS – Saf Yazılımsal Kriptografi):** Bu senaryoda TLS 1.2 protokolü etkinleştirilmiş olup, anahtar değişimi ve kimlik doğrulama için ECDHE/ECDSA, veri gizliliği için ise AES-128-CBC algoritmaları kullanılmıştır. Tüm kriptografik işlemler, MbedTLS kütüphanesinin saf yazılımsal işlemleri kullanılarak ana mikrodenetleyicinin CPU'su üzerinde yürütülmüştür. Bu yapılandırmada, oturum anahtarları simetrik şifreleme ve şifre çözme işlemleri sırasında mikrodenetleyici belleğinde tutulduğundan, fiziksel erişim veya yazılımsal saldırılar yoluyla ele geçirilme riski

bulunmaktadır. Dolayısıyla, bu senaryo performans açısından donanımsal hızlandırma içermemekte ve güvenlik seviyesi yazılımsal koruma ile sınırlı kalmaktadır.

3. **Donanımsal Destekli TLS 1.2 (MbedTLS + ATECC608C)**: Bu senaryoda TLS 1.2 protokolü yine ECDHE/ECDSA ve AES-128-CBC algoritmaları ile yapılandırılmıştır. Ancak bu kez, TLS el sıkışma sürecinde yer alan asimetrik kriptografik işlemler (ECDSA imzalama/doğrulama ve ECDHE anahtar hesaplamaları) ATECC608C güvenlik elemanı tarafından donanımsal olarak gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, gerekli kriptografik veriler byte seviyesinde I2C haberleşme arayüzü üzerinden ATECC608C'ye iletilmiş ve hesaplama sonuçları yine aynı arayüz üzerinden mikrodenetleyiciye geri alınmıştır. Bu yapılandırmada özel anahtarlar hiçbir aşamada MCU belleğine çıkarılmadan, yalnızca güvenli donanım içerisinde kullanılmıştır. Böylece hem güvenlik seviyesi artırılmış hem de asimetrik kriptografinin ana işlemci üzerindeki hesaplama yükü azaltılmıştır. Veri paketlerinin şifreli olarak iletilmesi sayesinde, haberleşme içeriğinin dışsal olarak anlaşılması mümkün değildir.

Tanımlanan üç haberleşme senaryosu için izlenen ölçüm ve değerlendirme sürecinin algoritmik akışı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Performans ölçüm sürecinin algoritmik akış diyagramı

2.5. Kaynak İhtiyacı Analizi

Çizelge 1'de MbedTLS kütüphanesi kullanılarak internet haberleşmesi yapılması durumunda kullanılan STM32F4XX serisi işlemcinin gereksinim duyduğu ilave FLASH ve RAM kaynakları gösterilmiştir. FLASH kullanımı, derlenmiş ikili dosyanın kod ve sabit veri bölümlerini; RAM kullanımı ise statik ve global veri alanlarını kapsayacak şekilde hesaplanmıştır. Bu ölçümler, çalışma zamanındaki dinamik bellek kullanımından bağımsız olup, her bir kriptografik yaklaşımın sistem üzerinde oluşturduğu statik bellek ayak izini karşılaştırmalı olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır.

***Çizelge 1**: Üç senaryo için kaynak ihtiyacı*

İşlem	FLASH kullanımı (byte)	RAM kullanımı (byte)
Şifresiz haberleşme	58.477	58.866
(MbedTLS)-TLS1.2 şifreli haberleşme	160.181	118.136
(MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2 şifreli haberleşme	170.677	123.265

Şifresiz haberleşme senaryosunda, yalnızca temel internet haberleşme yeteneklerinin sağlanması amacıyla MbedTLS kütüphanesinin eklenmesi durumunda yaklaşık 58 kB FLASH ve yaklaşık 58 kB RAM ilave bellek kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yapılandırma, herhangi bir kriptografik koruma içermediğinden, ağ üzerinden iletilen veri paketlerinin üçüncü taraflar tarafından gözlemlenebilmesine ve içeriklerinin analiz edilebilmesine açıktır. Bu nedenle, sağladığı düşük kaynak kullanımı avantajına rağmen, güvenlik gereksinimleri olan uygulamalar için uygun değildir.

Saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda (MbedTLS–TLS 1.2), ECDHE/ECDSA tabanlı el sıkışma ve AES-128-CBC tabanlı veri şifreleme mekanizmalarının etkinleştirilmesiyle birlikte, FLASH kullanımının yaklaşık 160 kB, RAM kullanımının ise yaklaşık 118 kB seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir. Bu artış, TLS protokol yığınına ait kodların, sertifika işleme mekanizmalarının ve kriptografik algoritmaların yazılımsal gerçekleştirimlerinden kaynaklanmaktadır. Bu yapılandırmada, ağ üzerinden iletilen veriler şifreli olduğundan, pasif ağ dinleme saldırılarına karşı gizlilik sağlanmaktadır. Ancak kriptografik anahtarların mikrodenetleyici belleğinde bulunması, fiziksel erişim veya gelişmiş yan kanal saldırıları altında potansiyel bir risk oluşturmaktadır.

ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda (MbedTLS + ATECC608C), FLASH ve RAM kullanımının sırasıyla yaklaşık 170 kB ve 123 kB seviyelerine yükseldiği görülmektedir. Saf yazılımsal TLS senaryosuna kıyasla gözlenen bu ek bellek ihtiyacı, güvenlik elemanı entegrasyonu için gerekli sürücüler, donanım soyutlama katmanı ve ek yapılandırma kodlarından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, bu yapılandırmada özel anahtarlar mikrodenetleyici belleğine hiçbir aşamada taşınmamakta; ECDSA ve ECDHE işlemleri kurcalamaya dayanıklı ATECC608C güvenlik elemanı içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu durum, fiziksel saldırılara karşı daha yüksek bir güvenlik seviyesi sunmaktadır.

Kaynak ihtiyacı açısından değerlendirildiğinde, sağlanan güvenlik seviyesinin artmasıyla birlikte FLASH ve RAM gereksinimlerinin de arttığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte, ATECC608C destekli yapılandırmada gözlenen ek bellek maliyeti, sağlanan donanımsal anahtar koruması ve geliştirilmiş güvenlik özellikleri dikkate alındığında, endüstriyel IoT ve güvenlik kritik gömülü sistemler için kabul edilebilir bir tasarım değiş tokuşu olarak değerlendirilmektedir.

2.6. TLS 1.2 El Sıkışma Süreleri Bulguları ve Donanımsal Hızlandırmanın Etkisi

Bu bölümde, kurulan deneysel haberleşme sistemi kullanılarak TLS 1.2 el sıkışma sürecine ait süre ölçümleri değerlendirilmiştir. Ölçümler, daha önce tanımlanan üç farklı haberleşme senaryosu için gerçekleştirilmiş; her bir senaryoda el sıkışma süresi 100 başarılı deneme üzerinden ölçülerek ortalama değerler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 2'de sunulmaktadır.

***Çizelge 2**: TLS el sıkışma Süreleri*

İşlem	Süre (µs)
Şifresiz haberleşme el sıkışma	0
(MbedTLS)-TLS1.2 el sıkışma	1.249.354
(MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2 el sıkışma	67.965

Şifresiz haberleşme senaryosunda TLS protokolü devre dışı bırakıldığından, herhangi bir anahtar değişimi veya kimlik doğrulama adımı gerçekleştirilmemekte; dolayısıyla bu yapılandırma için el sıkışma süresi sıfır olarak kabul edilmektedir. Bu senaryo, güvenlik mekanizmalarının sisteme eklenmesiyle ortaya çıkan zaman maliyetinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi için referans bir durum oluşturmaktadır.

TLS 1.2 kullanılan senaryolarda ise el sıkışma süresi, istemci ve sunucu arasında el sıkışma işleminin başlatıldığı andan itibaren güvenli bağlantının başarıyla kurulduğu ana kadar geçen toplam süre olarak tanımlanmıştır. Bu süre, el sıkışma sürecinde yer alan tüm mesaj alışverişlerini ve kriptografik hesaplamaları kapsamaktadır.

Çizelge 2'de sunulan sonuçlar, TLS 1.2 el sıkışma süresinin kullanılan kriptografik gerçekleştirim yaklaşımına son derece duyarlı olduğunu göstermektedir. Saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda (MbedTLS), el sıkışma süresinin yaklaşık 1.249 ms (≈1.25 s) mertebesinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu değer, TLS'in devre dışı bırakıldığı şifresiz haberleşme senaryosuna kıyasla çok yüksek bir mutlak zaman ek yüküne karşılık gelmektedir. Elde edilen bu sonuç, ARM Cortex-M4 tabanlı bir mikrodenetleyicinin, ECDSA imzalama/doğrulama ve ECDHE anahtar anlaşması gibi hesaplama yoğun asimetrik kriptografik işlemlerini saf yazılımsal olarak yürütürken ciddi gecikmeler oluştuğunu açıkça ortaya koymaktadır.

ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda (MbedTLS + ATECC608C) ise el sıkışma süresinin yaklaşık 68 ms seviyesine düştüğü belirlenmiştir. Bu değer, saf yazılımsal TLS senaryosuna kıyasla el sıkışma süresinde yaklaşık 18 katlık bir azalmaya karşılık gelmektedir. Söz konusu iyileşme, TLS el sıkışma sürecindeki baskın zaman bileşenleri olan ECDSA imzalama/doğrulama ve ECDHE anahtar hesaplama işlemlerinin ATECC608C tarafından donanımsal olarak gerçekleştirilmesi sayesinde elde edilmiştir. Böylece, asimetrik kriptografi yükü ana mikrodenetleyicinin CPU'sundan alınmış ve el sıkışma süresi gömülü sistemler için daha kabul edilebilir bir zaman aralığına çekilmiştir.

Mutlak süreler birlikte değerlendirildiğinde, donanımsal güvenlik elemanı kullanımının el sıkışma süresini saniye mertebesinden onlarca milisaniye mertebesine indirdiği görülmektedir. Bu sonuç, TLS tabanlı güvenli haberleşmenin kısıtlı kaynaklara sahip endüstriyel IoT ve gömülü uç cihazlarda uygulanabilir hale gelmesi açısından donanımsal kriptografi desteğinin kritik bir rol oynadığını nicel olarak ortaya koymaktadır.

2.7. Güvenli Haberleşme Ek Yükü Analizi

Bu bölümde, TLS 1.2 tabanlı güvenli haberleşmenin veri iletim aşamasında oluşturduğu zamansal ek yük deneysel olarak incelenmiştir. Analiz kapsamında, el sıkışma süreci tamamlandıktan sonra gerçekleşen veri alma ve veri gönderme işlemleri sırasında ortaya çıkan kriptografik işlem maliyetleri değerlendirilmiştir. Böylece, güvenlik mekanizmalarının yalnızca bağlantı kurulumunda değil, sürekli veri iletimi sırasında sistem performansı üzerindeki etkileri nicel olarak ortaya konulmuştur.

Ölçümler, daha önce tanımlanan üç farklı haberleşme senaryosu (şifresiz, yazılımsal TLS 1.2 ve ATECC608C destekli TLS 1.2) için gerçekleştirilmiştir. Her bir senaryoda, farklı payload boyutlarına sahip MQTT mesajlarının (32, 64, 128, 256 ve 512 bayt) işlenmesi sırasında geçen

süreler ayrı ayrı ölçülmüştür. Süre ölçümleri, mesajın mikrodenetleyici RAM'ine alınmasının ardından şifre çözme veya şifreleme işlemlerinin başlatılması ve bu işlemlerin tamamlanması arasındaki zaman aralığını kapsamaktadır.

Bu kapsamda, güvenli haberleşme süreleri üç temel bileşen altında değerlendirilmiştir:

- **Veri Alma Gecikmesi:** Farklı payload boyutlarındaki MQTT mesajlarının alınmasının ardından, şifre çözme işleminin başlangıcı ile tamamlanması arasında geçen süre.
- **Veri Gönderme Gecikmesi:** Farklı payload boyutlarındaki MQTT mesajlarının gönderim öncesinde, şifreleme işleminin başlangıcı ile tamamlanması arasında geçen süre.
- **Kriptografik Ek Yük:** Şifreli haberleşme senaryolarında ölçülen süreler ile şifrelemesiz haberleşme süreleri arasındaki fark üzerinden hesaplanan saf güvenlik maliyeti.

Tanımlanan ölçüm metodolojisi doğrultusunda, her bir payload boyutu ve haberleşme senaryosu için süreler 100'er başarılı deneme üzerinden ölçülerek ortalama değerler elde edilmiştir. Bu bölümde ilk olarak veri alma (şifre çözme) süreleri ele alınmış olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te sunulmaktadır.

***Çizelge 3**: TLS 1.2 Veri Alma Süreleri*

İşlem	32 byte süre (µs)	64 byte süre (µs)	128 byte süre (µs)	256 byte süre (µs)	512 byte süre (µs)
Şifresiz haberleşme	107	113	133	141	150
(MbedTLS)-TLS1.2 şifreli haberleşme	287	309	391	532	937
(MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2 şifreli haberleşme	30.154	50.198	89.768	169.031	328.506

Sonuçlar incelendiğinde, en düşük veri alma süresinin beklenildiği üzere şifresiz haberleşme senaryosunda elde edildiği görülmektedir. Bu yapılandırmada herhangi bir kriptografik işlem uygulanmadığından, ölçülen süreler yalnızca ağ yığını ve uygulama katmanı işlemlerini yansıtmaktadır.

Saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda ((MbedTLS)-TLS1.2), veri alma sürelerinin şifresiz haberleşmeye kıyasla yaklaşık 3 ila 6 kat arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu artış, TLS veri alma sürecinde kullanılan AES ve SHA tabanlı kriptografik işlemlerin tamamen mikrodenetleyici üzerinde yazılımsal olarak gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca payload boyutu arttıkça, işlenen veri miktarına bağlı olarak kriptografik hesaplama yükü de artmakta ve bu durum süre farkının daha belirgin hale gelmesine neden olmaktadır.

ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda ((MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2) ise veri alma sürelerinin şifresiz haberleşmeye kıyasla yaklaşık 280 ila 2190 kat arasında arttığı görülmektedir. Bu yüksek gecikmenin temel nedeni, şifre çözme işlemlerinin ATECC608C güvenlik elemanı üzerinde gerçekleştirilmesi sırasında, verinin byte seviyesinde I2C arayüzü üzerinden çipe aktarılması ve şifresi çözülmüş verinin tekrar mikrodenetleyiciye geri alınmasıdır. Payload boyutu arttıkça I2C hattı üzerinden taşınan veri miktarı doğrusal olarak arttığından, iletişim gecikmesi toplam süre üzerinde baskın hale gelmektedir.

Bu sonuçlar, ATECC608C'nin asimetrik kriptografik işlemler için önemli bir hızlandırma sağlarken, yüksek hacimli simetrik veri işlemlerinde I2C arayüzünün bant genişliği ve gecikme karakteristiklerinin toplam performansı sınırlayıcı bir faktör haline geldiğini açık biçimde ortaya koymaktadır.

Veri gönderme gecikmeleri; verinin mikrodenetleyici RAM'inde hazırlanmasının ardından, şifreleme işleminin başlangıcından verinin MQTT paketi haline getirilmesine kadar geçen süre

olarak ölçülmüştür. Üç senaryoda 100'er başarılı deneme üzerinden elde edilen ortalama değerler Çizelge 4'te sunulmaktadır.

***Çizelge 4**: TLS 1.2 Veri Gönderme Süreleri*

İşlem	32 byte süre (µs)	64 byte süre (µs)	128 byte süre (µs)	256 byte süre (µs)	512 byte süre (µs)
Şifresiz haberleşme	42	44	50	60	80
(MbedTLS)-TLS1.2 şifreli haberleşme	279	307	381	531	840
(MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2 şifreli haberleşme	69.887	89.740	129.549	208.605	368.250

Çizelge 4'te en kısa süreler, kriptografik işlem içermeyen şifresiz senaryoda ölçülmüştür. Yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda gönderme süreleri, simetrik şifreleme ve bütünlük denetiminin mikrodenetleyici üzerinde yürütülmesi nedeniyle şifresiz haberleşmeye kıyasla yaklaşık 7–11 kat artmıştır.

ATECC608C destekli senaryoda ise artış, veri alma sürecindekiyle aynı I2C aktarım mekanizması nedeniyle yaklaşık 1660–4600 kat düzeyindedir.

Çizelge 3 ve Çizelge 4 birlikte değerlendirildiğinde, şifresiz ve yazılımsal TLS 1.2 senaryolarında veri alma ve gönderme sürelerinin tüm payload boyutları için 1 ms'nin altında kaldığı; ATECC608C destekli senaryoda ise simetrik şifreleme ve şifre çözme işlemlerinin I2C arayüzü üzerinden yürütülmesi nedeniyle sürelerin payload boyutuyla birlikte belirgin biçimde artarak yüzlerce milisaniye mertebesine ulaştığı görülmektedir. Bu karşılaştırma, veri iletim aşamasında belirleyici olan unsurun kriptografik hesaplamanın kendisinden çok, I2C arayüzü üzerinden gerçekleştirilen veri aktarımı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Üç farklı haberleşme senaryosu için TLS 1.2 el sıkışma süreci ile birlikte, aynı payload boyutuna sahip verinin gönderilmesi ve alınması sırasında oluşan toplam kriptografik işlem süreleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda ölçülen toplam süre; el sıkışma işleminin gerçekleştirilmesi, belirlenen byte büyüklüğündeki verinin şifrelenerek gönderilmesi ve karşı taraftan alınan verinin şifre çözme işlemlerinin tamamlanmasını içermektedir. Farklı payload boyutları için elde edilen toplam süreler Çizelge 5'te sunulmaktadır.

***Çizelge 5**: TLS 1.2 El sıkışma, Veri Gönderme ve Alma Süreleri*

İşlem	32 byte süre (µs)	64 byte süre (µs)	128 byte süre (µs)	256 byte süre (µs)	512 byte süre (µs)
Şifresiz haberleşme	149	157	183	201	230
(MbedTLS)-TLS1.2 şifreli haberleşme	1.249.920	1.249.970	1.250.126	1.250.417	1.251.131
(MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2 şifreli haberleşme	168.006	207.903	287.282	445.601	764.721

Çizelge 5 incelendiğinde, en kısa toplam haberleşme süresinin şifresiz haberleşme senaryosunda elde edildiği görülmektedir. Bu yapılandırmada el sıkışma, şifreleme ve şifre çözme işlemleri bulunmadığından, ölçülen süreler yalnızca veri gönderme ve alma işlemlerine ait temel iletişim sürelerini yansıtmaktadır.

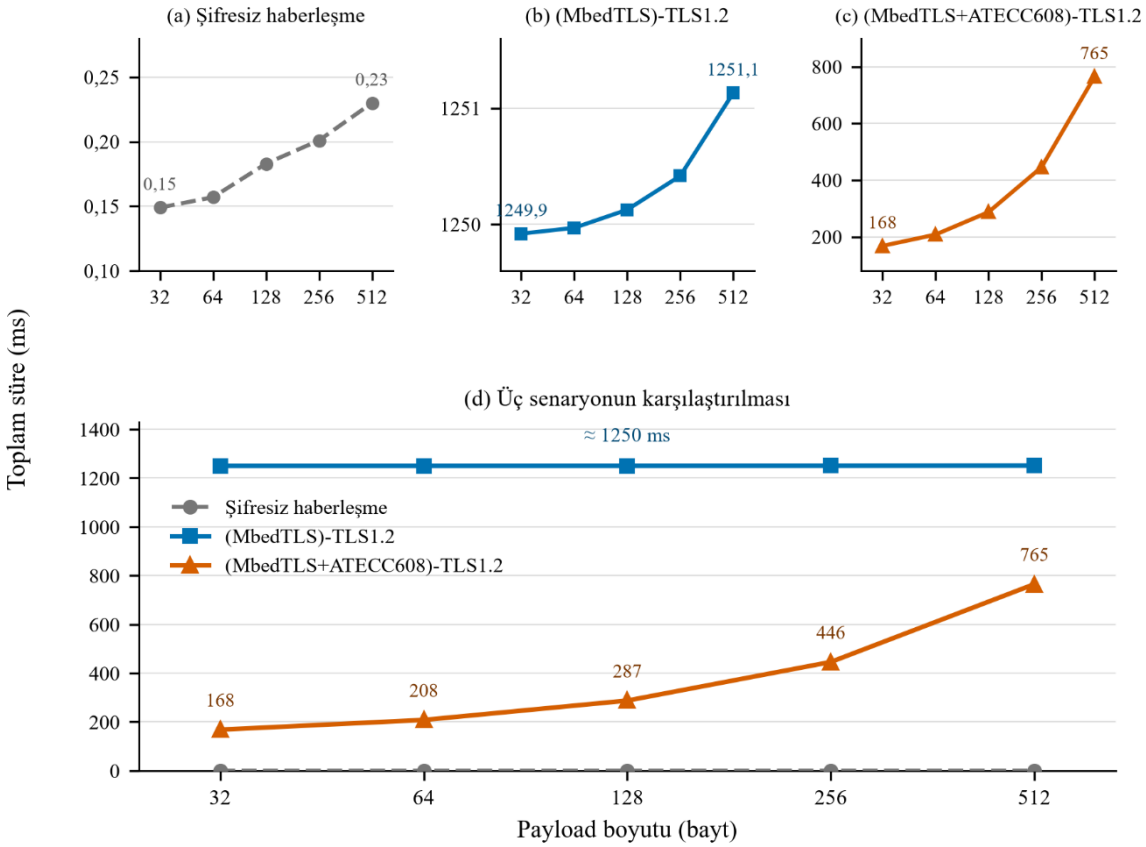
Saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda ((MbedTLS)-TLS1.2), toplam haberleşme sürelerinin şifresiz haberleşmeye kıyasla yaklaşık 5440 ila 8388 kat arasında arttığı gözlemlenmiştir. Bu yüksek zaman maliyetinin temel nedeni, TLS el sıkışma sürecinde yer alan ECDSA ve ECDHE gibi hesaplama yoğun asimetrik kriptografik işlemlerin tamamen mikrodenetleyici üzerinde yazılımsal olarak gerçekleştirilmesidir. El sıkışma süresinin toplam süre içerisindeki baskın bileşen olması nedeniyle, payload boyutundaki artışın toplam haberleşme süresi üzerindeki etkisi sınırlı kalmakta; farklı veri boyutları için ölçülen sürelerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda ((MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2) ise toplam haberleşme sürelerinin şifresiz haberleşmeye kıyasla yaklaşık 1128 ila 3325 kat arasında arttığı belirlenmiştir. Bu senaryoda, el sıkışma sürecinin donanımsal olarak hızlandırılması sayesinde başlangıçtaki gecikme önemli ölçüde azaltılmıştır. Ancak veri gönderme ve alma aşamalarında, simetrik kriptografik işlemler için verinin byte seviyesinde I2C arayüzü üzerinden ATECC608C güvenlik elemanına aktarılması ve işlem sonucunun tekrar mikrodenetleyiciye geri alınması gerekmektedir. Bu durum, payload boyutu arttıkça toplam işlem süresinin belirgin biçimde artmasına neden olmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda toplam haberleşme süresinin büyük ölçüde el sıkışma süresi tarafından belirlendiğini ve veri boyutundan görece bağımsız kaldığını; ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda ise el sıkışma süresinin kısalmasına karşın, veri boyutuna bağlı simetrik kriptografi yükünün toplam süre üzerinde baskın hale geldiğini göstermektedir. Nitekim 512 bayt payload için ölçülen toplam haberleşme süresi, ATECC608C destekli senaryoda, yazılımsal TLS 1.2 senaryosundaki toplam sürenin yaklaşık üçte ikisi seviyesine ulaşmaktadır.

2.8. Bütüncül Performans Karşılaştırması

Şifresiz, yazılımsal TLS 1.2 ve ATECC608C destekli TLS 1.2 haberleşme senaryoları için; el sıkışma, veri gönderme ve veri alma aşamalarını kapsayan toplam güvenli haberleşme sürelerinin paket boyutuna bağlı değişimi Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4(a)–(c) panelleri her senaryoyu kendi zaman ölçeğinde ayrı ayrı sunarken, Şekil 4(d) üç senaryoyu ortak eksende karşılaştırmalı olarak göstermektedir.



Şekil 4. Üç haberleşme senaryosu için toplam güvenli haberleşme sürelerinin senaryo bazında (a–c) ve karşılaştırmalı olarak (d) payload boyutuna bağlı değişimi

Sonuçlar incelendiğinde, yazılımsal TLS 1.2 ((MbedTLS)-TLS1.2) ve ATECC608C destekli TLS 1.2 ((MbedTLS+ATECC608)-TLS1.2) senaryoları arasındaki toplam güvenli haberleşme süresi farkının, paket boyutuna bağlı olarak belirgin biçimde değiştiği görülmektedir. Yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda, özellikle el sıkışma sürecinin yazılımsal ECDSA ve ECDHE işlemleri nedeniyle yüksek gecikmeye sahip olması, toplam haberleşme süresini baskın şekilde belirlemektedir.

Elde edilen sonuçlara göre, toplam güvenli haberleşme süresi 32 baytlık paketlerde yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda yaklaşık 1250 ms iken ATECC608C destekli senaryoda yaklaşık 168 ms; 512 baytlık paketlerde ise sırasıyla yaklaşık 1251 ms ve 765 ms olarak ölçülmüştür. Küçük paket boyutlarında el sıkışma süresinin toplam süre içerisindeki baskın etkisi nedeniyle bu fark daha belirgin iken, paket boyutu arttıkça veri iletimine bağlı kriptografik yükün artması sonucu farkın göreceli olarak azaldığı görülmektedir. Oransal olarak ifade edildiğinde, yazılımsal TLS 1.2 senaryosundaki toplam güvenli haberleşme süresi, ATECC608C destekli senaryoya kıyasla 32 baytlık paketlerde yaklaşık 7,4 kat, 512 baytlık paketlerde ise yaklaşık 1,6 kat daha uzundur; bu oranın paket boyutu büyüdükçe azalması, Şekil 4(d)'de görülen iki TLS eğrisi arasındaki makasın kapanmasıyla da açıkça izlenmektedir.

ATECC608C entegrasyonu, TLS el sıkışma sürecinde yer alan hesaplama yoğun asimetrik kriptografik işlemleri ana işlemciden alarak bu kritik gecikme bileşenini önemli ölçüde azaltmıştır. Böylece, güvenlik seviyesinden ödün vermeden toplam haberleşme süresinin kabul edilebilir seviyelere indirilebildiği ampirik olarak gösterilmiştir. Nitekim, ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda, 32 baytlık çift yönlü veri iletimi için toplam güvenli haberleşme süresinin yaklaşık 170 ms mertebesinde olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar, kısıtlı kaynaklara sahip IoT ve endüstriyel uç cihazlarda, donanımsal güvenlik elemanlarının özellikle bağlantı kurulumu gecikmesini azaltmada kritik bir rol oynadığını; buna karşılık yüksek hacimli veri aktarım senaryolarında iletişim arayüzünün (I2C) performans üzerindeki belirleyici etkisinin devam ettiğini ortaya koymaktadır.

Öte yandan, Çizelge 2 ile Çizelge 3 ve Çizelge 4'teki ölçümler birlikte değerlendirildiğinde, pratikte yaygın olarak tercih edilen hibrit yapılandırmanın (el sıkışmadaki asimetrik işlemlerin ATECC608C üzerinde, veri iletim aşamasındaki simetrik işlemlerin ise ana mikrodenetleyici üzerinde yürütülmesi) performansı mevcut verilerden türetilebilmektedir. Yaklaşık 68 ms'lik donanım destekli el sıkışma süresi ile 1 ms'nin altında kalan yazılımsal şifreleme ve şifre çözme süreleri birleştirildiğinde, toplam güvenli haberleşme süresi tüm payload boyutları için yaklaşık 69 ms mertebesinde kalmaktadır. Bu değer, hem saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosuna (yaklaşık 18 kat) hem de simetrik işlemlerin güvenlik elemanına devredildiği ölçülen senaryoya kıyasla belirgin biçimde kısadır. Dolayısıyla kaynak kısıtlı sistemler için en uygun tasarım; asimetrik işlemlerin güvenlik elemanına devredilmesi, simetrik işlemlerin ise ana mikrodenetleyici üzerinde yürütülmesidir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, kısıtlı donanım kaynaklarına sahip bir gömülü uç cihaz üzerinde TLS 1.2 protokolünün oluşturduğu performans maliyeti deneysel olarak incelenmiştir. ARM Cortex-M4 tabanlı bir mikrodenetleyici üzerinde, şifresiz haberleşme, saf yazılımsal TLS 1.2 ve ATECC608C destekli TLS 1.2 olmak üzere üç farklı haberleşme senaryosu karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analizler; el sıkışma süresi, veri alma ve gönderme gecikmeleri ile Flash ve RAM kaynak gereksinimleri açısından gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, TLS 1.2'nin asıl zaman maliyetinin el sıkışma aşamasında oluştuğunu göstermiştir: saf yazılımsal senaryoda el sıkışma süresi, ECDSA ve ECDHE işlemlerinin mikrodenetleyici üzerinde yürütülmesi nedeniyle yaklaşık 1,25 s'ye ulaşmış; ATECC608C kullanımıyla bu süre yaklaşık %94 oranında azaltılmıştır.

Veri iletim aşamasında elde edilen bulgular, farklı kriptografik gerçekleştirimlerin sistem davranışını belirgin biçimde etkilediğini göstermektedir. Saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosunda toplam haberleşme süresinin büyük ölçüde el sıkışma süresi tarafından belirlendiği ve payload boyutundan görece bağımsız kaldığı görülmüştür. Buna karşın, ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda el sıkışma gecikmesi önemli ölçüde azaltılmış; ancak simetrik kriptografik işlemler sırasında verinin I2C arayüzü üzerinden güvenlik elemanına aktarılması gerekliliği nedeniyle, veri boyutu arttıkça toplam haberleşme süresinin belirgin biçimde yükseldiği tespit edilmiştir. Nitekim, yazılımsal TLS 1.2 senaryosu ile karşılaştırıldığında, ATECC608C destekli TLS 1.2 haberleşme süresinin 32 baytlık paketlerde yaklaşık 7,4 kat (%86,6), 512 baytlık paketlerde ise yaklaşık 1,6 kat (%38,9) daha kısa olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen, küçük veri paketleri için toplam güvenli haberleşme süresinin yaklaşık 170 ms seviyesinde tutulabildiği deneysel olarak gösterilmiştir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kaynak kısıtlı gömülü sistemler için en uygun yapılandırmanın; el sıkışma aşamasındaki asimetrik işlemlerin ATECC608C üzerinde, veri iletim aşamasındaki simetrik işlemlerin ise ana mikrodenetleyici üzerinde yürütüldüğü hibrit mimari olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynak kullanımı açısından yapılan analizler, güvenlik seviyesi arttıkça Flash ve RAM gereksinimlerinde de artış meydana geldiğini göstermektedir. ATECC608C destekli TLS 1.2 senaryosunda, saf yazılımsal TLS 1.2 senaryosuna kıyasla Flash kullanımında yaklaşık %6, RAM kullanımında ise yaklaşık %4 oranında ek bellek ihtiyacı oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu artış, güvenlik elemanının entegrasyonu için gerekli sürücüler, donanım soyutlama katmanı ve ek yapılandırma kodlarından kaynaklanmaktadır. Buna karşılık, el sıkışma süresinde elde edilen yaklaşık %94 oranındaki azalma dikkate alındığında, ortaya çıkan sınırlı bellek ek

yükünün kısıtlı kaynaklara sahip IoT ve endüstriyel uç cihazlar için performans–güvenlik dengesi açısından kabul edilebilir olduğu değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın özgün katkısı, TLS 1.2 protokolünün gömülü sistemler üzerindeki performans maliyetini şifresiz, yazılımsal ve donanımsal destekli senaryoları aynı deneysel altyapı üzerinde karşılaştırarak nicel biçimde ortaya koymasıdır. Özellikle, ATECC608C gibi bir güvenlik elemanının TLS el sıkışma ve veri iletim aşamalarına olan etkisi, mutlak süreler ve oranlar üzerinden detaylı olarak analiz edilmiş; donanımsal hızlandırmanın avantajları ve I2C arayüzüne bağlı sınırlamaları birlikte değerlendirilmiştir.

Gelecek çalışmalarda, TLS el sıkışma süresini daha da azaltmayı hedefleyen TLS 1.3 protokolünün gömülü sistemler üzerindeki etkileri incelenecektir. Özellikle, daha az gidiş dönüş gerektiren el sıkışma yapısı, oturum yeniden kurma mekanizmaları ve Sıfır Gidiş-Dönüş Süresi özelliğinin performans üzerindeki katkıları nicel olarak değerlendirilecektir. Bunun yanı sıra, üç farklı haberleşme senaryosu için birim veri başına harcanan enerji miktarının ölçülmesiyle, donanımsal kriptografik hızlandırmanın enerji verimliliği üzerindeki etkisi analiz edilecektir. Ayrıca, AES-128-CBC yerine modern İlişkili Verilerle Kimliği Doğrulanmış Şifreleme (AEAD) modları olan AES-128-GCM ve ChaCha20-Poly1305 gibi algoritmaların hem yazılımsal hem de donanımsal çözümler üzerindeki performans etkilerinin karşılaştırılması, güvenlik ve performans açısından daha dengeli mimarilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Avrupa Birliği. (2024). Regulation (EU) 2024/2847 of the European Parliament and of the Council on horizontal cybersecurity requirements for products with digital elements (Cyber Resilience Act). *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/2847

Bühler, H., Walz, A. ve Sikora, A. (2022). Benchmarking of symmetric cryptographic algorithms on a deeply embedded system. *IFAC-PapersOnLine, 55*(4), 266-271.

Dierks, T. ve Rescorla, E. (2008). *The transport layer security (TLS) protocol version 1.2* (RFC 5246). IETF. https://doi.org/10.17487/RFC5246

Gentile, A. F., Macrì, D., Carnì, D. L., Greco, E. ve Lamonaca, F. (2024). A performance analysis of security protocols for distributed measurement systems based on internet of things with constrained hardware and open source infrastructures. *Sensors, 24*(9), 2781.

Göppert, J., Chomel, A., Elayanithottathil, J. S. ve Sikora, A. (2023). Performance evaluation of TLS session establishments on an ARM Cortex-M4 platform. *2023 IEEE 12th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS)* içinde (s. 1205-1210). IEEE. https://doi.org/10.1109/IDAACS58523.2023.10348947

Kietzmann, P., Boeckmann, L., Lanzieri, L., Schmidt, T. C. ve Wählisch, M. (2021). A performance study of crypto-hardware in the low-end IoT. *Proceedings of the 18th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (EWSN)* içinde.

Microchip Technology Inc. (2023). *ATECC608C CryptoAuthentication™ device summary data sheet* (DS40002513B). https://www.microchip.com

Noseda, M., Zimmerli, L., Schläpfer, T. ve Rüst, A. (2022). Performance analysis of secure elements for IoT. *IoT, 3*(1), 1-28.

Pearson, B., Luo, L., Zhang, Y., Dey, R., Ling, Z., Bassiouni, M. ve Fu, X. (2019). On misconception of hardware and cost in IoT security and privacy. *2019 IEEE International Conference on Communications (ICC)* içinde. IEEE.

Pearson, B., Zou, C., Zhang, Y., Ling, Z. ve Fu, X. (2020). SIC2: Securing microcontroller based IoT devices with low-cost crypto coprocessors. *2020 IEEE 26th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS)* içinde (s. 367-374). IEEE.

Restuccia, G., Tschofenig, H. ve Baccelli, E. (2020). Low-power IoT communication security: On the performance of DTLS and TLS 1.3. *9th IFIP/IEEE International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wireless and Nanoscale Networks (PEMWN)* içinde. IEEE.

Van, D. (2020). *Secure CAN logging and data analysis* [Yüksek lisans tezi, Colorado State University].

LEADERSHIP EXPERIENCES OF FEMALE MANAGERS IN THE TOURISM AND HOSPITALITY INDUSTRY: A META-ETHNOGRAPHIC SYNTHESIS

Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK
Adıyaman University, Faculty of Pharmacy, 02040 Merkez, Adıyaman
ORCID ID: 0000-0003-4785-9624
Assoc. Prof. Dr. Eda Rukiye DÖNBAK
Adıyaman University, Faculty of Tourism, 02040 Merkez, Adıyaman
ORCID ID: 0000-0002-1752-0390

ABSTRACT
This study presents a meta-ethnographic synthesis of 12 qualitative and mixed-methods research papers to understand the leadership experiences of female managers in the tourism and hospitality industry. Conducted based on Noblit and Hare's (1988) meta-ethnographic approach, the study comparatively analyzed the selected papers, applied a reciprocal translation process, and developed a holistic synthesis. The findings indicate that the leadership experiences of female managers are shaped not only by organizational glass ceiling barriers, but also by gender roles, family expectations, invisible labor, flexibility policies, and how individuals internalize these structures. In conclusion, this study reveals that female leadership is a multidimensional process shaped jointly by organizational and societal dynamics, rather than being solely about individual competence. These findings suggest that policies aimed at supporting the career development of female managers must focus not only on organizational practices, but also on transforming gender-based structural inequalities.
Keywords: Female managers, tourism, hospitality, meta-ethnography, glass ceiling.

TURİZM VE KONAKLAMA SEKTÖRÜNDE KADIN YÖNETİCİLERİN LİDERLİK DENEYİMLERİ: META-ETNOGRAFİK BİR SENTEZ

ÖZET
Bu çalışma, turizm ve konaklama sektöründe görev yapan kadın yöneticilerin liderlik deneyimlerini anlamak amacıyla 12 nitel ve karma yöntemli araştırmayı meta-etnografik yaklaşımla sentezlemektedir. Noblit ve Hare'in (1988) meta-etnografi yaklaşımı temel alınarak yürütülen çalışmada, seçilen araştırmalar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiş, karşılıklı çeviri (reciprocal translation) süreci uygulanmış ve bütüncül bir sentez geliştirilmiştir. Bulgular, kadın yöneticilerin liderlik deneyimlerinin yalnızca örgütsel cam tavan engelleri tarafından değil; aynı zamanda toplumsal cinsiyet rolleri, aile beklentileri, görünmeyen emek, esneklik politikaları ve bireylerin bu yapıları nasıl içselleştirdiği tarafından da şekillendiğini göstermektedir. Sonuç olarak bu çalışma, kadın liderliğinin yalnızca bireysel yeterlilikle açıklanabilecek bir olgu olmadığını; aksine örgütsel ve toplumsal dinamiklerin ortak etkisiyle şekillenen çok boyutlu bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, kadın yöneticilerin kariyer gelişimini desteklemeye yönelik politikaların yalnızca örgütsel uygulamalara değil, aynı zamanda toplumsal cinsiyete dayalı yapısal eşitsizliklerin dönüştürülmesine de odaklanması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Kadın yöneticiler, turizm, konaklama, meta-etnografi, cam tavan.

1. INTRODUCTION
The tourism and hospitality industry is one of the sectors where gender inequalities are most pronounced due to its labor-intensive nature, hierarchical organization, and long working hours. Research in this field reveals that female managers encounter various structural and cultural

challenges in their career trajectories, such as glass ceiling barriers (Mooney & Ryan, 2009), work-family conflicts (Carvalho, 2021), the burden of invisible labor (Atan, Özgit, & Silman, 2023), and leadership stereotypes (Costa et al., 2017). However, the vast majority of existing studies address these issues independently and fall short of explaining the female leadership experience from a holistic perspective. Similarly, key structural mechanisms affecting career development, such as flexible working regimes, are often examined within a limited context (Tomlinson, 2004).

By synthesizing 12 qualitative and mixed-methods studies through meta-ethnography, this study aims to re-interpret the leadership experiences of female managers in the tourism and hospitality industry from a holistic perspective. In this regard, it illustrates how the female managerial experience is shaped within the interaction of gender norms, organizational practices, and career processes, and develops a more comprehensive conceptual framework to explain this experience.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

Understanding the leadership experiences of female managers in the tourism and hospitality sector requires more than just focusing on their individual career journeys; it demands a joint evaluation of the structural, cultural, and organizational dynamics that shape these experiences. Women's advancement into managerial ranks is forged under the combined weight of several interacting elements, including organizational power dynamics, gender-based expectations, domestic responsibilities, and institutional practices (Eagly & Karau, 2002; Acker, 1990;). To capture these leadership experiences through a holistic lens, the conceptual framework of this study is structured around five core axes: the glass ceiling and structural inequalities, gender roles and perceptions of leadership, invisible labor and organizational citizenship behavior, work-family conflict and family ideology, and internalized inequality and adaptation strategies. Rather than reducing women's leadership opportunities and barriers to mere personal traits or individual performance, these themes allow for an evaluation framed by the surrounding organizational culture, societal norms, and institutional frameworks (Ridgeway, 2011; Ely & Meyerson, 2000).

2.1. Glass ceiling and structural inequalities

The phenomenon of the glass ceiling, which limits the advancement of women to senior management positions, is one of the most frequently addressed structural issues in tourism and hospitality research (Mooney & Ryan, 2009). Research indicates that this barrier cannot be explained solely by individual career choices or competencies; rather, it is closely related to the hierarchical structure of organizations, male-dominated social networks, and institutional practices operating within promotion processes. In particular, organizational cultures that normalize long working hours, promote inflexible career paths, and rely on informal networks such as the "old boys' network" continue to limit women's opportunities for advancement into managerial positions. From this perspective, the glass ceiling should be understood not merely as an invisible barrier to women's career progression but as a manifestation of structural inequality that is sustained and reinforced through everyday organizational norms and practices.

2.2. Gender roles and the perception of leadership

Gender roles are among the fundamental elements shaping how leadership is perceived and evaluated. Research by Costa et al. (2017) reveals that leadership traits in the tourism sector continue to be largely identified with masculinity, whereas traits attributed to women—such as empathy, emotionality, and care-orientation—are often associated with supportive roles rather than managerial competence. This situation demonstrates that gender-based stereotypes continue to exert an influence on the evaluation of women's leadership capacities.

On the other hand, several recent studies show that traits associated with women, such as empathy, strong communication skills, and emotional intelligence, are gaining increasing importance in contemporary management approaches. Despite this, it cannot be said that this positive shift has created a fully equal evaluation environment between female and male leaders. In many organizational contexts, female leaders are still viewed as managers who are evaluated outside the conventional understanding of leadership, who must constantly prove themselves, or who are expected to adapt to the existing system.

2.3. Invisible labor and organizational citizenship behavior

One of the key concepts for understanding what female managers actually go through in their professional lives is invisible labor. Often discussed under the umbrella of organizational citizenship behavior (OCB), this type of labor covers those extra responsibilities and emotional efforts that go far beyond official job descriptions—tasks that usually go unnoticed but are absolutely vital for keeping the organization running smoothly (Atan, Özgit & Silman, 2023).

In the tourism and hospitality sector, female managers do much more than just run their departments. They find themselves taking on invisible roles like keeping team relations harmonious, managing employees' emotional needs, and maintaining workplace morale. This shows us that being a female leader isn't just about formal managerial duties; it is deeply shaped by these invisible and mostly uncompensated layers of effort. Ultimately, rather than being just a matter of personal sacrifice, this invisible labor is a systemic role expectation that organizations quietly place on female managers and continue to reinforce (Atan et al., 2023).

2.4. Work-family conflict and family ideology

One of the defining factors shaping female managers' career paths is the constant struggle to balance work and family life. Carvalho (2021) argues that balancing career advancement with the responsibilities of motherhood places women under a "double burden," as they are expected to succeed both professionally and within the family. This weight is not just a daily time-management challenge; it is the result of a much deeper role conflict driven by what society expects from women and mothers.

Along similar lines, Tomlinson (2004) highlights that flexible working policies do not always serve as a helpful tool for women's career advancement. On the contrary, she stresses that these policies can sometimes backfire, funneling women into part-time, lower-status positions with very limited room for growth. Seen from this angle, family ideology turns women's career decisions into something far more complex than just "personal choices," making them, instead, a compromise forced upon them by societal and institutional structures.

2.5. Internalized inequality and coping strategies

Recent studies show that female managers don't just deal with external career barriers; they also go through a complex internal process of making sense of, normalizing, and eventually accepting these hurdles. In many cases, women end up seeing discriminatory practices as 'natural,' 'hard to change,' or just an inevitable part of organizational life.

This tells us that gender inequality isn't just an institutional or structural issue. It has a deeply cognitive and psychological side that shapes how individuals think, perceive, and behave. Instead of looking for solutions through organizational or systemic change, female managers often focus on developing personal coping and adaptation strategies. However, by trying to adapt individually rather than push for broader change, they can inadvertently help sustain and reproduce the very inequalities they are trying to navigate.

2.6. Conceptual Integration

When you look at the literature reviewed in this study as a whole, it becomes clear that what female managers go through is shaped within a four-layered structure:

- Structural layer: The glass ceiling and organizational hierarchies

- Socio-cultural layer: Gender roles and family ideology
- Micro-organizational layer: Invisible labor and emotional workload
- Psychological layer: Internalization of inequality and coping strategies

By forming the backbone of this meta-ethnographic synthesis, this conceptual framework allows us to see the female managerial experience not just as a collection of individual career stories, but as a deeply embedded, multi-layered regime of inequality.

3. RESEARCH

3.1 Research Design

This study is built on a meta-ethnographic synthesis of 12 qualitative and mixed-method studies that explore the leadership experiences of female managers in the tourism and hospitality sector. Our methodological framework is rooted in the meta-ethnographic approach developed by Noblit and Hare (1988). Rather than simply aggregating existing qualitative research, meta-ethnography goes a step further; it is an interpretive qualitative synthesis method designed to build a more holistic understanding by comparing, translating, and re-conceptualizing the meanings uncovered across different studies.

The primary goal of this approach is to compare qualitative findings from diverse studies to arrive at higher-level conceptual explanations and offer an interpretive synthesis (Thomas & Harden, 2008; Dixon-Woods et al., 2005). With this in mind, we evaluated common themes, overlapping concepts, and differing patterns of meaning across the selected papers through a process of "reciprocal translation." We then merged these findings into a holistic lines-of-argument synthesis to construct a broader, more explanatory framework.

The meta-ethnographic analysis process involves systematically identifying the papers to be included, diving deeply into each selected study, comparing their findings, translating their conceptual structures into one another, and ultimately generating a thematic synthesis (Noblit & Hare, 1988). We carried out these steps across the 12 selected studies through an iterative and cyclical process.

To ensure methodological transparency and rigor in our reporting, we followed the PRISMA guidelines and relevant reporting standards for qualitative evidence syntheses (Page et al., 2021). Because this research relies entirely on analyzing secondary data from previously published studies, it did not involve any primary data collection and therefore did not require institutional ethics board approval.

3.2 Data Set and Search Strategy

To identify the relevant literature for this meta-ethnographic study, we carried out a systematic search process. On July 1, 2026, we searched the Scopus database using the following keyword query: "("women manager" OR "female manager*") AND (tourism OR hospitality OR hotel*) AND (qualitative OR interview* OR phenomenolog*) AND (experience* OR perception*)"*. This initial search yielded a total of 15 studies (URL-1).

Our search focused exclusively on qualitative and mixed-method research designs that directly investigate the experiences of female managers in the tourism and hospitality sector. The specific inclusion criteria were defined as studies that: (i) focus on female managers, (ii) are set in the tourism/hospitality industry, (iii) utilize qualitative or mixed-method methodologies, and (iv) address experiences, perceptions, or leadership practices. Applying these criteria to the initial 15 results left us with 12 studies to include in our final analysis. The publication years of the analyzed papers span from 2004 to 2026, representing a diverse range of geographical contexts, including Turkey, Portugal, Spain, India, Iran, Egypt, and Australia/New Zealand. The descriptive characteristics and methodological breakdowns of these studies are presented in Table 1.

Table 1: Descriptive characteristics of the studies included in the meta-ethnographic synthesis

Author (Year)	Country	Sector	Research Method	Research Design / Theoretical Framework	Data Collection Technique
Mooney & Ryan (2009)	Australia / New Zealand	Hospitality	Qualitative	Glass ceiling and career barriers	Semi-structured interview
Tomlinson (2004)	United Kingdom	Hospitality	Qualitative	Flexible careers and work-life balance	In-depth interview
Costa et al. (2017)	Portugal	Tourism	Qualitative	Gender and management discourse	Focus group interview
Carvalho (2021)	Portugal	Tourism	Qualitative	Family ideology and work-family conflict	Semi-structured interview
Carvalho (2023)	Portugal	Tourism	Qualitative	Gender, body, and micro power relations	In-depth interview
Atan et al. (2023)	Northern Cyprus	Hospitality	Qualitative	Organizational citizenship behavior (OCB)	Interview
Mete (2026)	Turkey	Hospitality	Qualitative	Role incongruity and leadership identity	In-depth interview
Moghaddam et al. (2025)	Iran	Tourism	Qualitative	Identity construction and social change	Life history interview
Naguib et al. (2025)	Egypt	Tourism	Qualitative	Glass ceiling and intersectionality	Semi-structured interview
Martín-Duque & Romero-Padilla (2023)	Spain	Hospitality	Qualitative	Women leadership in times of crisis	Interview
Patwardhan et al. (2017)	India	Hospitality	Mixed method	Career development and advancement barriers	Survey + interview
Nagar (2021)	Maldives	Hospitality	Mixed method	Representation of women in media analysis	Content analysis

In Table 1, the 12 studies included in the meta-ethnographic synthesis are described in terms of author, country, sector, research method, and data collection techniques. The general characteristics of these studies indicate that female managerial experiences have been addressed across highly diverse cultural and sectoral contexts. The methodological process of this study is based on a multi-stage analysis spanning from the literature review to the selection, coding, and development of meta-themes. In order to present this process in a transparent and traceable manner, the key phases of the research design are summarized in Figure 1.

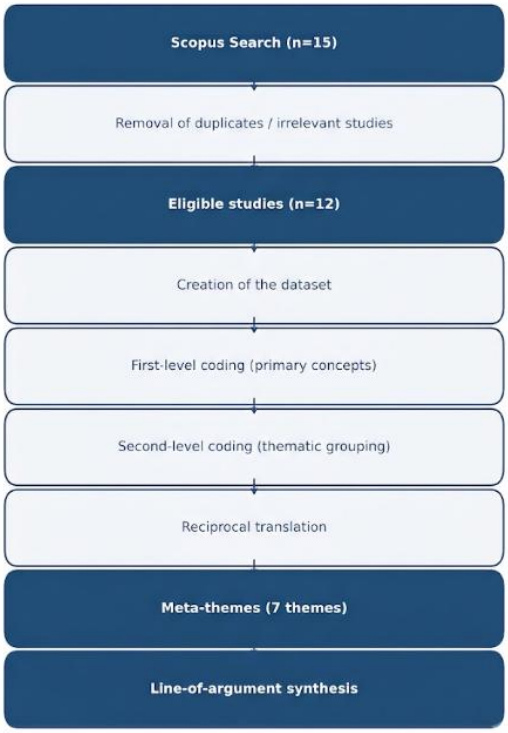


Figure 1: Meta-ethnographic study selection and analysis process

Figure 1 illustrates the study selection and interpretive synthesis phases followed throughout the meta-ethnographic analysis process.

3.3 Inclusion and Exclusion Criteria

In this meta-ethnographic study, we evaluated existing research on the leadership experiences of female managers in the tourism and hospitality sector using a tailored set of inclusion and exclusion criteria. When deciding which studies to include, we looked for a few essential benchmarks: (i) the research had to directly explore the lived experiences of female managers, (ii) it had to be situated within the tourism, hotel, or hospitality industry, (iii) it needed to rely on qualitative or mixed-method designs, (iv) it had to delve into themes like leadership, career progression, work-family balance, or gendered organizational dynamics, and (v) we required access to the full text. We also focused our timeline on papers published between 2004 and 2026.

Naturally, we had to draw clear boundaries for what to leave out. We excluded studies that did not directly capture the perspective of female managers, those that grouped their findings under general employee views, and purely quantitative designs that lacked qualitative depth. Likewise, papers with a research setting outside tourism and hospitality were set aside. We also chose not to include purely theoretical papers that did not offer empirical data or fieldwork.

By filtering our initial pool of 15 studies through these specific criteria, we narrowed the selection down to the 12 eligible papers that formed the core of our meta-ethnographic synthesis.

3.4 Quality Assessment and Study Selection Process

In this study, the methodological reliability of the included research was evaluated independently by two researchers. To enhance the reporting and appraisal quality of the qualitative studies, we relied on the ENTREQ guidelines (Tong et al., 2012) alongside established quality assurance principles in qualitative synthesis literature (Sandelowski & Barroso, 2007; Lincoln & Guba, 1985).

When deciding which papers to include, we carefully weighed criteria such as research design, data collection methods, clarity of analysis, and the coherence of the findings. Any disagreements between the researchers were resolved through constructive discussion and mutual consensus. Throughout this process, we used quality assessment not as a tool for outright exclusion, but rather as a guide to strengthen the interpretive depth of our synthesis.

The study selection process followed the PRISMA 2020 guidelines (Page et al., 2021). After screening the initial search results and removing duplicates or irrelevant entries, we narrowed the focus down to 12 studies that explore the experiences of female managers in the tourism and hospitality sector. To ensure the reliability of our analysis, the codes and themes developed during this stage were cross-checked by the second researcher, and differing interpretations were refined through collaborative discussion until we reached a final consensus.

3.5. The Analysis Process

During the reciprocal translation phase of the meta-ethnography, the core concepts and interpretive themes identified in each study were examined comparatively. Concepts that shared similar meanings were reinterpreted under overarching categories; for example, terms like 'glass ceiling,' 'career barriers,' and 'organizational exclusion' were translated into the meta-theme of 'structural inequality.' Similarly, notions such as 'family ideology,' 'work-family conflict,' and 'double burden' were integrated under the meta-theme of 'work-family conflict and family ideology.' This process allowed us to develop shared patterns of meaning while preserving the unique context of each individual study.

The analysis followed the seven-stage framework proposed by Noblit and Hare (1988). In the initial stage, the studies were read repeatedly to identify first-level concepts. In the next stage, the interpretive concepts defined across the papers were compared, and reciprocal translation was applied to rephrase and group similar meanings under common overarching concepts. Finally, a line-of-argument synthesis was developed to provide a comprehensive, overarching explanation that connects all the studied research.

Table 2: The Meta-Ethnographic Reciprocal Translation Process

Study	Original Concept(s)	Translation Logic	Meta-theme
Mooney & Ryan (2009)	Glass ceiling, career barriers	Organizational barriers limiting career advancement were reinterpreted under a shared meaning.	Structural inequality
Tomlinson (2004)	Flexible careers, work–life balance	The career impacts of flexible working practices were consolidated.	Flexibility and career segmentation
Costa et al. (2017)	Gendered leadership discourse, emotional female manager	The association of leadership with gender stereotypes was grouped under a shared meaning.	Leadership identity conflict
Carvalho (2021)	Family ideology, work–family conflict, double burden	Family-based role expectations and work-family tension were interpreted together.	Work-family conflict and family ideology
Carvalho (2023)	Sexuality, micro-power, body politics	Daily sexist interactions and power relations established through the body were consolidated.	Micro-power and embodied relations
Atan et al. (2023)	Organizational citizenship behaviour (OCB), emotional labour	Forms of voluntary and emotional labor outside the formal job description were evaluated together.	Invisible labor regime
Mete (2026)	Role incongruity, androgynous leadership, legitimacy	The incongruity between leadership roles and gender expectations was interpreted under a shared meaning.	Leadership identity conflict

Moghaddam et al. (2025)	Identity construction, self-perception, social change	The processes through which female managers construct their leadership identities were consolidated.	Leadership identity conflict
Naguib et al. (2025)	Glass ceiling, intersectionality, discrimination	Multiple forms of inequality were reinterpreted within the context of organizational barriers.	Structural inequality
Martín-Duque & Romero-Padilla (2023)	Crisis leadership, working conditions	Organizational challenges faced by female managers during periods of crisis were consolidated.	Structural inequality
Patwardhan et al. (2017)	Career challenges, coping strategies, promotion barriers	Barriers limiting career advancement and the individual responses to them were evaluated together.	Structural inequality / Psychological internalisation
Nagar (2021)	Representation of women managers, gender visibility	The visibility and representation forms of female managers were reinterpreted within the context of leadership legitimacy.	Psychological internalisation and gender norms

Table 2 illustrates the meta-ethnographic reciprocal translation process. Phenomena expressed through different concepts across the studies were reinterpreted under common meta-themes, taking their semantic similarities into account. Thus, while preserving the unique context of each individual study, a conceptual coherence was established across the body of research. This coherence subsequently formed the foundation of the line-of-argument synthesis developed in the following stage.

4. FINDINGS

4.1 Thematic Structure

1. Structural inequality (12/12 studies)

Across all 12 studies reviewed, structural inequalities consistently emerge as a defining factor shaping the career trajectories of female managers. Mooney and Ryan (2009), for instance, draw on concepts like the 'glass ceiling' and career barriers to explain the institutional obstacles that block women's advancement. Similarly, Naguib et al. (2025) demonstrate that these hurdles are rarely just about gender alone; rather, they intersect with multiple other forms of inequality, shifting into a much more complex, multi-layered reality.

During the meta-ethnographic reciprocal translation process, we mapped these disparate concepts into a shared pattern of meaning, bringing them together under the meta-theme of 'structural inequality' to capture how organizational frameworks dictate women's managerial experiences. The findings highlight that deeply entrenched, male-dominated views of leadership and traditional organizational norms remain powerful systemic forces that cap women's mobility and limit their access to executive roles.

Seen this way, structural inequality is far more than a collection of individual biases; it is interpreted as a pervasive systemic issue embedded within the very fabric of how organizations operate, how leadership is defined, and how career opportunities are distributed.

2. Leadership identity conflict (9/12)

Costa et al. (2017) point out that the very concept of leadership has long been constructed around masculine norms. This entrenched approach confronts female managers with a distinct set of expectations as they strive to both embody leadership roles and gain acceptance within them. Similarly, Mete (2026) employs a role incongruity framework to demonstrate how female managers must navigate the clash between societal expectations of femininity and traditional perceptions of leadership, forcing them to continuously reconstruct their leadership legitimacy. Taking an identity construction perspective, Moghaddam et al. (2025) build on this by

highlighting the negotiations and conflicts women face while carving out their professional identities.

During the meta-ethnographic reciprocal translation process, we synthesized these distinct conceptual lenses into a shared meaningful framework, anchoring them under the meta-theme of 'leadership identity conflict.' The findings illustrate that when stepping into leadership roles, female managers do not just contend with organizational demands; they constantly grapple with the deep-seated tension between traditional gender norms and professional expectations. This conflict stands out as a pivotal area of experience, forcing female managers to continuously redefine and reposition their identities just to be recognized and accepted as leaders.

3. The regime of invisible labor (7/12)

Female managers are often expected to go well beyond their formal managerial responsibilities; they frequently take on the invisible, added work of nurturing workplace relationships, supporting employees, and maintaining organizational harmony. Atan et al. (2023) highlight that this type of emotional labor and organizational citizenship behavior tends to be disproportionately expected from women in leadership. Crucially, because these efforts are so heavily socialized, they are often taken for granted as natural obligations rather than recognized as distinct professional contributions, leaving this substantial expenditure of energy largely invisible and unappreciated.

4. Family ideology and work-family conflict (8/12)

Carvalho (2021) draws on the concepts of 'family ideology' and the 'double burden' to explain the distinct challenges female managers face as they juggle professional and domestic responsibilities. Tomlinson (2004) builds on this discussion by examining the impact of flexible working arrangements on women's career trajectories, pointing out that such practices do not always offer an egalitarian fix and can, in some instances, actually restrict women's advancement opportunities.

During the meta-ethnographic reciprocal translation process, we integrated these varying conceptual lenses under the meta-theme of 'work-family conflict and family ideology' to capture the shared structural tension female managers experience while balancing their professional and domestic roles. The findings demonstrate that work-family conflict is far more than a simple matter of personal time management; rather, it is a comprehensive domain of experience shaped by broader societal expectations, entrenched norms surrounding family roles, and institutional arrangements. In this context, work-family conflict stands out as a persistent source of strain throughout women's leadership careers, directly impacting their career decisions, leadership experiences, and organizational positioning.

5. Micro-power and embodied relations (3/12)

The workplace experiences of female leaders are shaped not only by overt and visible inequalities but also by micro-scale power dynamics that play out in everyday interactions. Carvalho (2023) demonstrates that gender-based micro-labeling, subtle discrimination, experiences of harassment, and the silence strategies developed to cope with them have profound effects on female leaders' organizational lives. In this context, these micro-level interactions directly influence how female managers position themselves, how they experience their leadership roles, and how they gain acceptance within the organization. While seemingly small and routine, these everyday practices aggregate over time, becoming part of broader power relations that ultimately mold the organizational identities and career trajectories of female leaders.

6. Psychological internalization (10/12)

At times, female managers may perceive the inequalities they face as an ordinary part of professional life, often seeking solutions through individual adaptation and personal coping

strategies. Carvalho et al. (2021) demonstrate that rather than questioning organizational inequalities, women sometimes accept them as 'normal' or inevitable, an approach that reinforces the tendency to adapt to existing conditions. This process can lead to the individual internalization and adoption of inequalities that actually exist at broader social and organizational levels. Consequently, instead of pushing to change structural issues, female managers often shift toward modifying their own behaviors, expectations, and career strategies to fit current conditions, inadvertently playing a role in the perpetuation of these very inequalities.

7. Flexibility and career segmentation (1/12)

Tomlinson (2004) demonstrates that while flexible working policies offer significant opportunities to boost women's labor force participation, they can have a dual impact on career trajectories. Flexible arrangements—particularly part-time work—make it easier for women to remain in the workforce, yet they can also lead to a distinct bifurcation in career advancement pathways. On one hand, traditional career tracks offer uninterrupted growth and promotion opportunities, whereas on the other, flexible formats often result in restricted upward mobility and hindered access to executive-level positions.

This reality highlights that flexible working is far from a mere technical adjustment to working conditions; it is a structural element that directly shapes women's career opportunities, their access to leadership roles, and their organizational positioning. Within the scope of this meta-ethnographic synthesis, the concept of flexibility emerges as a powerful mechanism that channels and differentiates career paths for female managers.

From a line-of-argument synthesis perspective, flexible working can function as an invisible screening or filtering process in women's leadership journeys, capping their advancement opportunities within the organization to a certain degree (Tomlinson, 2004). Although this theme is directly and comprehensively conceptualized by Tomlinson (2004), it implicitly intersects with narratives of career barriers and structural inequalities found in the other reviewed studies, thereby gaining a broader and richer meaning.

5. DISCUSSION, CONCLUSION, AND RECOMMENDATIONS

This meta-ethnographic study demonstrates that the career experiences of female managers cannot be explained merely by individual hurdles or a single-dimensional 'glass ceiling.' Instead, the findings reveal that the female managerial experience is forged within a multi-layered system of inequality, where structural disparities, gender norms, invisible labor, career arrangements, and individual internalization processes continuously reinforce one another.

The meta-ethnographic synthesis underlines that structural inequalities form the bedrock of this entire process. The glass ceiling, male-dominated networks, and organizational hierarchies emerge as powerful mechanisms that cap women's access to leadership positions (Mooney & Ryan, 2009; Naguib et al., 2025). Crucially, these structural impediments do not just remain external barriers; they directly shape how women construct their leadership identities and strive to gain organizational legitimacy (Mete, 2026; Costa et al., 2017).

While sustaining their leadership roles, female managers confront not only performance expectations but also societal pressures surrounding both leadership and femininity. This clash forces a continuous negotiation of their professional identities. Simultaneously, the emotional labor, team support, and organizational citizenship behaviors expected of female managers constitute the invisible burdens of their leadership experience (Atan et al., 2023).

A pivotal finding of this study is the paradoxical impact of flexible working policies. As highlighted by Tomlinson (2004), while flexible arrangements make it easier for women to remain in the workforce, they can inadvertently lead to bifurcated career paths, hindering women's advancement into executive-level positions. Flexibility must therefore be evaluated

not simply as a supportive perk, but as a structural mechanism that fundamentally alters career opportunities.

Family ideology and work-family conflict represent another major source of tension in female managers' career trajectories. Carvalho (2021) and Tomlinson (2004) demonstrate that the expectation to simultaneously manage professional duties and family roles heavily dictates career experiences. Over time, this dynamic can lead to the individual internalization of inequality. As observed in the work of Carvalho et al. (2021) and Costa et al. (2017), female managers may occasionally perceive the obstacles they face as natural or inevitable, choosing to seek solutions through individual adaptation strategies.

Executed within Noblit and Hare's (1988) meta-ethnographic framework, the line-of-argument synthesis shows that these themes are not isolated phenomena; rather, they are interlocking components of an integrated cycle of inequality that shapes the female managerial experience. Accordingly, female leadership is best understood not as a linear career path, but as a dynamic structure defined by the continuous interplay of structural barriers, identity negotiations, invisible labor, family responsibilities, and internalizations.

Based on these findings, supporting the career advancement of female managers requires moving beyond individual development programs. At the organizational level, it is essential to mitigate subtle discrimination in promotion processes, bring male-dominated informal networks to light, and redesign flexible working policies so they do not restrict career progression. At the sectoral level, expanding mentorship initiatives, leadership development programs, and equity-focused human resource policies is vital. Finally, at the policy level, social regulations must be advanced to ensure a more balanced distribution of caregiving responsibilities, while work-family balance initiatives should be framed not just around maintaining employment, but around achieving genuine career equity.

In conclusion, this study explains the experience of female managers in the tourism and hospitality sector not merely through the lens of underrepresentation, but as a product of a multi-layered system of inequality that actively shapes women's career trajectories.

REFERENCES

Acker, J. (1990). Hierarchies, jobs, bodies: A theory of gendered organizations. *Gender & Society, 4*(2), 139–158. https://doi.org/10.1177/089124390004002002

Atan, A., Özgit, H., & Silman, F. (2023). Women managers' perceptions of organizational citizenship behaviors in the North Cyprus hospitality industry. In *Service Sectors Role for Economic Development at Local and National Level*. Peter Lang.

Carvalho, I. (2021). Traditional family ideology and women managers in tourism. *Journal of Tourism and Development*. https://doi.org/10.34624/rtd.v36i2.4638

Carvalho, I. (2023). The role of sexuality in tourism businesses from the perspective of women managers. *Journal of Human Resources in Hospitality and Tourism*. https://doi.org/10.1080/15332845.2022.2127052

Carvalho, I., Costa, C., & Torres, A. (2021). Gender awareness and women managers in tourism: Perceptions of inequality and what could be done. In *Research Anthology on Cross-Industry Challenges of Industry 4.0*. IGI Global. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-2405-6.ch052

Costa, C., Bakas, F. E., Breda, Z., & Durão, M. (2017). 'Emotional' female managers: How gendered roles influence tourism management discourse. *Journal of Hospitality and Tourism Management*. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2017.09.011

Dixon-Woods, M., Agarwal, S., Jones, D., Young, B., & Sutton, A. (2005). *Synthesising qualitative and quantitative evidence: A review of possible methods*. Journal of Health Services Research & Policy, 10(1), 45–53. https://doi.org/10.1258/1355819052801804

Eagly, A. H., & Karau, S. J. (2002). Role congruity theory of prejudice toward female leaders. *Psychological Review, 109*(3), 573–598. https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.3.573
Ely, R. J., & Meyerson, D. E. (2000). Theories of gender in organizations: A new approach to organizational analysis and change. *Research in Organizational Behavior, 22*, 103–151.
Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage Publications.
Martín-Duque, C., & Romero-Padilla, Y. (2023). Hotel working conditions and challenges in a time of crisis. *Tourism Management Perspectives*, 48, 101153. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2023.101153
Mete, B. (2026). From role incongruity to androgynous leadership: Women managers' experiences in Türkiye's hospitality industry. *Gender in Management*, 41(4), 585–604. https://doi.org/10.1108/GM-10-2025-0650
Mooney, S., & Ryan, I. (2009). A woman's place in hotel management: Upstairs or downstairs? *Gender in Management*. https://doi.org/10.1108/17542410910950877
Moghaddam, P., Blasco Franch, D., & Ferrer-Roca, N. (2025). Management self-perception of Iranian women managers in tourism. *Tourism Management Perspectives*, 55, 101335. https://doi.org/10.1016/j.tmp.2024.101335
Naguib, S. M., Sobaih, A. E. E., & Edrees, H. N. E. (2025). Empowering voices: Confronting the glass ceiling for Egyptian women in the tourism and heritage sector. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, 62(4), 2076–2085. https://doi.org/10.30892/gtg.62407-1573
Noblit, G. W., & Hare, R. D. (1988). *Meta-ethnography: Synthesizing qualitative studies*. Sage Publications.
Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71
Patwardhan, V., Mayya, S., & Joshi, H. (2017). Perceived career challenges and response strategies of women managers in Indian five-star hotels. *International Journal of Management Practice*. https://doi.org/10.1504/IJMP.2017.086884
Ridgeway, C. L. (2011). *Framed by Gender: How Gender Inequality Persists in the Modern World*. Oxford University Press.
Sandelowski, M., & Barroso, J. (2007). *Handbook for synthesizing qualitative research*. Springer.
Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology, 8*, 45. https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45
Tomlinson, J. (2004). Perceptions and negotiations of the "business case" for flexible careers. *Women in Management Review*. https://doi.org/10.1108/09649420410570225
Tong, A., Flemming, K., McInnes, E., Oliver, S., & Craig, J. (2012). Enhancing transparency in reporting the synthesis of qualitative research: ENTREQ. *BMC Medical Research Methodology, 12*, 181. https://doi.org/10.1186/1471-2288-12-181
URL-1: https://www.scopus.com/pages/search/publications?searchId=63ff2cea-d5cc-4621-9cee-3ebe68819251 (01.07.2026).

ADOPTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BACKED DECISION SUPPORT SYSTEMS: A META-ETHNOGRAPHIC SYNTHESIS OF QUALITATIVE RESEARCH

Asst. Prof. Dr. Berkant DULKADİR
Adıyaman University, Gölbaşı Vocational School, 02500 Gölbaşı, Adıyaman
ORCID ID: 0000-0002-6074-9473
Assoc. Prof. Dr. Gülşen KIRPIK
Adıyaman University, Faculty of Pharmacy, 02040 Merkez, Adıyaman
ORCID ID: 0000-0003-4785-9624

ABSTRACT
Artificial intelligence (AI)-backed decision support systems (DSS) make decision-making processes faster and more effective across various fields such as healthcare, business, supply chain, and public administration. However, the success of these systems does not solely depend on technical capacity; factors like user trust, explainability, organizational support, and human-technology alignment also play a critical role in the adoption process. The purpose of this research is to synthesize qualitative studies addressing the adoption of AI-backed decision support systems using the meta-ethnographic method to reveal common conceptual patterns. The study was conducted based on the meta-ethnography approach developed by Noblit and Hare (1988). Following a systematic search carried out in the Scopus database on July 9, 2026, 136 studies were evaluated, and 56 qualitative empirical studies meeting the inclusion criteria were included in the synthesis. During the analysis process conducted in line with the PRISMA 2020 guidelines, the findings of the studies were compared to construct common themes. The obtained findings demonstrate that six key elements stand out in the adoption of AI-backed decision support systems: the human-AI trust relationship, explainability, socio-technical alignment, organizational readiness, hybrid decision-making preserving human oversight, and ethics/transparency. The results reveal that the adoption of these systems is a multidimensional process shaped not only by technological competence but also by the combined effect of individual, organizational, and societal factors.
Keywords: Artificial intelligence, decision support systems, technology adoption, meta-ethnography, qualitative synthesis, socio-technical alignment.

1. INTRODUCTION
Rapid advancements in artificial intelligence (AI) technologies have not only increased the data processing capacity of decision support systems (DSS) but have also transformed the quality of decision-making processes across various sectors. AI-backed decision support systems utilized particularly in knowledge-intensive fields such as healthcare, business management, supply chain, project management, and public administration contribute to making more accurate, rapid, and personalized decisions through technologies like big data analysis, machine learning, and natural language processing (Calof & Viviers, 2024; Wijnhoven, 2022; Ahmed et al., 2013). However, it is observed that many technically successful AI-based decision support systems fail to achieve the expected level of adoption in real working environments, and their utilization is not sustainable. This situation demonstrates that technological success alone is insufficient; user trust, organizational structure, workflow alignment, ethical concerns, and socio-technical factors play a decisive role in the adoption of AI systems (Goud et al., 2010; Workman, 2012; Geisler & Rubenstein, 1993).

Qualitative research conducted in recent years indicates that the adoption process of AI-backed decision support systems cannot be explained solely by individual technology acceptance. Specifically, studies on clinical decision support systems reveal that healthcare professionals evaluate elements such as trust, explainability, professional autonomy, user experience, and workload (Schaffernak et al., 2025; Farič et al., 2024; Huang et al., 2023; Nair et al., 2023; Petitgand et al., 2020). Similarly, research in the field of business and management emphasizes that organizational readiness, leadership support, governance mechanisms, and employees' digital competencies are of critical importance in the adoption of AI-based decision systems (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Wang et al., 2026). These studies show that the factors influencing AI adoption exhibit similar patterns across different disciplines; however, these patterns have not yet been sufficiently synthesized into a holistic theoretical framework.

This study aims to synthesize qualitative research examining AI adoption in decision support systems using the meta-ethnographic method. By analyzing 56 primary studies systematically identified from the Scopus database that meet the inclusion criteria, this research will uncover common themes influencing the adoption of AI-backed decision support systems across various sectors. Through this synthesis, conducted in line with the meta-ethnography approach of Noblit and Hare (1988), concepts such as trust, explainability, socio-technical alignment, organizational support, ethical concerns, and user experience will be reinterpreted from an interdisciplinary perspective. Consequently, this study aims to develop theoretical and practical implications for the successful implementation of AI-based decision support systems.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

2.1. Artificial Intelligence-Backed Decision Support Systems

Decision support systems (DSS) are defined as information systems developed to assist managers and expert users in solving complex decision problems. While early-generation decision support systems primarily offered alternative decision options by analyzing structured datasets, the advancement of artificial intelligence technologies has transformed these systems into intelligent ones capable of learning, generating predictions, and interacting with the user. Particularly, the integration of machine learning, deep learning, and natural language processing techniques into decision support systems has enabled more accurate and rapid decision-making in many fields, ranging from healthcare to finance, and from production to public administration (Wijnhoven, 2022; Arshad et al., 2014; Ahmed et al., 2013). Early studies in the field of decision support systems focused on how intelligent support systems affect user decisions and demonstrated that adoption issues cannot be explained solely by technical competence (Geisler & Rubenstein, 1993). Today, with the integration of artificial intelligence technologies into decision support systems, these discussions have expanded to include new dimensions such as trust, explainability, ethics, and socio-technical alignment.

AI-backed decision support systems are not merely tools that offer recommendations to decision-makers, but are socio-technical systems that enhance decision quality by extracting meaningful patterns from large datasets. However, technological competence alone is insufficient for successful implementation. Designing systems in accordance with user expectations, ensuring their compatibility with existing business processes, and achieving acceptance within the organizational structure are among the fundamental determinants of successful utilization (Calof & Viviers, 2024; Beneki & Papastathopoulos, 2009; Hanelt et al., 2014).

2.2. Artificial Intelligence Adoption and Technology Acceptance

The proliferation of artificial intelligence-based systems in organizations has brought theories of technology acceptance and innovation adoption back to the forefront. While traditional technology acceptance models explain individuals' intentions to use a new technology through

variables such as perceived usefulness and perceived ease of use, new dimensions including trust, explainability, ethical concerns, and human control are observed to gain importance in AI applications. Particularly in AI applications that directly influence decision-making processes, users evaluate not only system performance but also how the system generates its decisions and to what extent they can trust these decisions (Tokgöz et al., 2025; Petitgand et al., 2020; Workman, 2012).

Research conducted in recent years indicates that AI adoption occurs as a result of the interaction among individual, technological, and organizational factors. Users' level of digital competence, AI literacy, managerial support, training opportunities, and institutional culture are among the variables that directly influence the adoption process. Additionally, the system's ease of use, the explainability of its decisions, and the ability of users to maintain control over decision-making processes facilitate the acceptance of the technology (Saup et al., 2026; Wang et al., 2026; Goldberg et al., 2025).

2.3. Factors Influencing the Adoption of AI-Backed Decision Support Systems

In the literature, the factors influencing the adoption of AI-backed decision support systems are addressed within a multidimensional structure that extends beyond technical specifications. When qualitative studies are examined, trust, usability, explainability, workflow alignment, organizational support, and ethical issues emerge as the most frequently emphasized themes.

The first of these factors, trust, is one of the fundamental determinants of users' acceptance of AI-generated recommendations. Particularly, studies conducted in the healthcare sector indicate that for clinicians to adopt system recommendations, they require an explanation of how decisions are generated as much as they need algorithmic accuracy. Explainable artificial intelligence approaches are considered a key element supporting system utilization by increasing user trust (Behrens et al., 2026; Jung et al., 2026; Schaffernak et al., 2025).

The second critical factor is socio-technical alignment. The integration of AI-backed decision systems with existing business processes, ensuring they do not disrupt users' daily work routines, and maintaining compatibility with organizational processes are among the primary conditions for successful implementation. Research, especially in healthcare, reveals that systems that do not align with the workflow may eventually be abandoned by users, even if they are technically successful (Farič et al., 2024; Finkelstein et al., 2024; Nair et al., 2023).

Thirdly, organizational readiness and governance mechanisms come to the forefront. The support provided by institutional management for technology, the provision of adequate infrastructure, employee training, and the establishment of data governance policies facilitate the sustainable use of AI systems. Studies in the field of business demonstrate that managerial leadership and change management practices directly influence the success of AI projects (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Varouchas, 2026).

Ethics and professional autonomy are also frequently addressed, particularly in healthcare research. Users do not want AI systems to completely replace human expertise in decision-making processes; instead, they are more inclined to adopt systems that support their decisions while leaving the ultimate control to the user. For this reason, the "human-in-the-loop" approach is now accepted as one of the fundamental principles in the design of AI-backed decision systems (Foresman et al., 2025; Ly et al., 2025; Huang et al., 2024).

2.4. Conceptual Significance of the Meta-Ethnographic Approach

Studies examining AI adoption in decision support systems are conducted across various disciplines such as healthcare, business, project management, supply chain, construction, and water management (Okwori et al., 2026; Willimowski & Schneider, 2026; Calof & Viviers, 2024; Hanelt et al., 2014). These studies reveal that AI-backed decision support systems exhibit

similar adoption dynamics across different application fields, yet they are also influenced by context-specific organizational and technological factors.

A significant portion of the research in the literature investigates user experiences through qualitative research methods. Particularly, by utilizing methods such as semi-structured interviews, focus group discussions, case studies, the Delphi technique, and observation, the perceptions, experiences, and expectations of healthcare professionals, managers, and other stakeholders regarding AI-backed decision support systems are analyzed in detail (Behrens et al., 2026; Goldberg et al., 2025; Ly et al., 2025; Tokgöz et al., 2025; Schaffernak et al., 2025; Farič et al., 2024; Nair et al., 2023; Petitgand et al., 2020). Furthermore, focus group studies deeply examine user trust and acceptance (Foresman et al., 2025), while case studies based on managerial interviews explain organizational adoption processes (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Varouchas, 2026).

These qualitative studies evaluate why users adopt AI technologies or for what reasons they exhibit resistance, not merely in terms of technology performance, but within the framework of socio-technical dimensions such as trust, explainability, workflow alignment, professional autonomy, ethical concerns, training requirements, and organizational support (Ferry et al., 2026; Schaffernak et al., 2025; Finkelstein et al., 2024; Huang et al., 2024; Huang et al., 2023). However, since the vast majority of these investigations are primary studies conducted on specific institutions, sectors, or countries, research that holistically synthesizes the obtained findings across disciplines remains limited (Wijnhoven, 2022; Miller et al., 2015;).

Therefore, rather than just summarizing the findings of qualitative studies conducted in different contexts, the meta-ethnography approach aims to develop higher-level conceptual explanations by reinterpreting the concepts, metaphors, and meaning patterns present across studies. Syntheses carried out in line with this approach developed by Noblit and Hare (1988) allow for more comprehensive theoretical implications by bringing together user experiences obtained from different sectors under common themes. Accordingly, this study aims to reveal the common themes, relationships, and explanatory concepts influencing the adoption of AI-backed decision support systems by comparatively analyzing the findings of 56 qualitative studies conducted in healthcare, business, project management, supply chain, and other application fields.

3. METHODOLOGY

This study is designed to address the following primary research question:

What are the common socio-technical themes, relationships, and concepts that influence the user adoption, acceptance, or resistance of AI-backed decision support systems across different disciplines?

3.1. Research Design

This study was conducted using a meta-ethnographic design to holistically interpret the findings of qualitative research on AI adoption in decision support systems. Meta-ethnography is an interpretive synthesis approach that enables not merely the summarization of qualitative findings obtained from different studies, but the development of new interpretations by establishing conceptual relationships across research. In this study, qualitative investigations conducted in various sectors were reinterpreted in line with common concepts and themes to construct a higher-level conceptual framework explaining the adoption of AI-backed decision support systems.

International peer-reviewed academic publications constitute the primary data source of the research. Only primary empirical studies were evaluated in the study, and investigations reporting user experiences, adoption processes, and qualitative findings regarding the

implementation of AI-backed decision support systems were included in the meta-ethnographic synthesis.

3.2. Data Collection Process

The data collection process of the study was conducted based on a systematic literature review. The literature search was carried out in the Scopus database on July 9, 2026. Scopus was preferred as the data source for the study due to its broad indexing structure covering various disciplines and its high academic comprehensiveness. While developing the search strategy, English keywords representing the core concepts of the research—artificial intelligence, decision support systems, adoption/acceptance, and qualitative research—were utilized. The search process was executed within the fields of article title, abstract, and keywords. The search query used is as follows:

("Artificial Intelligence" OR "AI")
AND
("Decision Support System*" OR "DSS")
AND
("adoption" OR "acceptance")
AND
("qualitative" OR "meta-ethnograph*").

A total of 136 academic documents were retrieved through this systematic search query (Elsevier, 2026). The studies retrieved as a result of the search were limited based on specific criteria using the Scopus filtering tools. Accordingly, only studies published in English were evaluated, and publications in the form of articles, conference proceedings, and book chapters were examined. Only primary empirical research was evaluated in the study; regardless of the publication type, only studies providing qualitative data, exploring user experiences, and investigating the adoption processes of AI-backed decision support systems were included in the meta-ethnographic synthesis. Furthermore, since this research was conducted using secondary data from previously published academic studies, it did not involve a direct data collection process from participants. Therefore, no procedure requiring ethics committee approval was performed within the scope of this research.

3.3. Selection of Studies

A total of 136 publications were retrieved through the systematic search. The obtained records were first checked for duplicate studies, followed by a title and abstract screening. In this initial evaluation phase, the studies were examined regarding their relevance to the research topic, their focus on AI-backed decision support systems, and whether they addressed user adoption.Studies that passed the title and abstract screening were evaluated as full texts in the second phase. In this evaluation, the research methodology, data collection techniques, participant profiles, and obtained findings were examined in detail. Specifically, studies that qualitatively investigated user experiences, trust, usability, organizational readiness, workflow alignment, ethical dimensions, explainability, and individual or institutional factors influencing adoption were included in the research scope. Conversely, technical studies evaluating solely algorithmic performance, simulation research, quantitative modeling studies, statistical prediction models, publications focused on system architecture, and research providing no qualitative data regarding user experience were excluded from the scope of the study.

3.4. Inclusion and Exclusion Criteria

The inclusion criteria applied in the study were determined as follows:

- Focusing on AI-backed decision support systems,
- Investigating user adoption, acceptance, or usage experience,
- Being an empirical study using qualitative or mixed methods that include qualitative data,

- Containing data from interviews, focus groups, observations, case studies, or ethnographic methods,
- Having full-text accessibility,
- Being published in English.

Studies excluded from the scope of the research carry at least one of the following characteristics:

- Focusing solely on algorithm or model performance,
- Providing no qualitative findings regarding user experience,
- Consisting exclusively of quantitative surveys or statistical analyses,
- Center-staging system architecture, software development, or technical infrastructure,
- Lacking a direct relationship with the research question.

3.5. PRISMA Process

The study selection process was conducted in accordance with the PRISMA 2020 guidelines, which aim to ensure transparent and reproducible reporting of systematic reviews and meta-syntheses (Page et al., 2021). Within this scope, the systematic search performed in the Scopus database yielded 136 records. Following the title and abstract screening, 80 studies that were not directly related to the research scope, were technically focused, used exclusively quantitative methods, or provided no qualitative data were excluded. The remaining 56 studies were subjected to full-text examination and included in the meta-ethnographic synthesis. The study selection process is illustrated in Figure 1, in line with the PRISMA 2020 flow diagram.

Figure 1. PRISMA 2020 Flow Diagram: The Study Selection Process

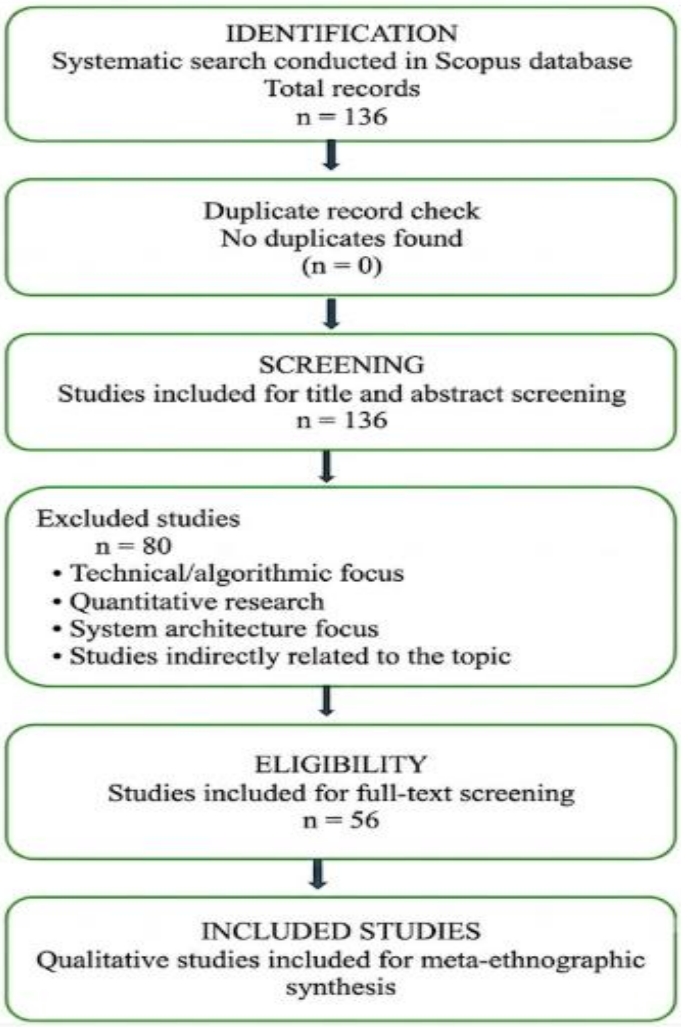


Figure 1 illustrates that the literature search, evaluation, and study selection stages conducted within the scope of the research were structured in accordance with the PRISMA 2020 guidelines. The flow diagram systematically and transparently presents the processes of study identification, screening, eligibility assessment, and inclusion (Page et al., 2021).

3.6. The Meta-Ethnographic Analysis Process

The studies selected for the research were analyzed in accordance with the meta-ethnography approach developed by Noblit and Hare (1988). In the first stage, the studies were read repeatedly to identify key concepts, followed by the separate coding of participant expressions and researcher interpretations. Subsequently, the similarities and differences among the studies were compared to establish common themes.

During the analysis process, first-order constructs represent participant expressions, second-order constructs denote researcher interpretations, and third-order constructs signify the meta-ethnographic synthesis developed by the researchers. Consequently, user experiences reported across different studies were reinterpreted under common conceptual structures, and a holistic model explaining the adoption of AI-backed decision support systems was developed.

Furthermore, to enhance the trustworthiness of the meta-ethnographic synthesis, the generated codes, conceptual categories, and overarching themes were independently reviewed by a second researcher. Interpretive discrepancies emerging between the researchers were resolved through

mutual discussion and consensus, and the final thematic structure was established by joint decision. This process was conducted in accordance with an inter-rater analytical assessment approach.

3.7. Research Dataset

The 56 studies included in the meta-ethnographic synthesis encompass diverse application areas such as healthcare, business, supply chain management, engineering, public administration, project management, agriculture, and information systems. The studies predominantly utilized semi-structured interviews, focus group discussions, case studies, observation, and mixed-method designs containing qualitative data. Through these studies, themes such as user experiences, perceived trust, usability, organizational readiness, and socio-technical alignment regarding the adoption of AI-backed decision support systems were comparatively analyzed to identify common interdisciplinary concepts.

A total of 136 records were obtained as a result of the systematic literature review conducted in the Scopus database. Following title, abstract, and full-text evaluations, 80 studies that focused on technical and algorithmic performance, lacked qualitative data, were heavily centered on system architecture, or were not directly related to the research objective were excluded from the scope. Consecutively, 56 studies meeting the research criteria and examining the adoption of AI-backed decision support systems within the context of user experiences were included in the meta-ethnographic synthesis.

Table 1: Reasons for Exclusion of Studies Excluded from the Synthesis (n = 80)

Reason for Exclusion	Description	Sample Studies
Technical and Algorithmic Focus	The studies address AI-backed decision support approaches from the perspectives of algorithm development, mathematical modeling, optimization, technology evaluation, or performance ranking. They were excluded from the scope because they do not contain empirical findings regarding the qualitative dimensions that form the basis of the meta-ethnographic synthesis, such as user experience, adoption behavior, trust, organizational alignment, and socio-technical interaction.	(Zhai et al., 2026; Forcina et al., 2024)
Methodological Insuitability (Quantitative Focus)	The studies address artificial intelligence and decision support systems through conceptual explanations, machine learning models, or performance-based analyses. They were excluded from the meta-ethnographic synthesis because they do not provide findings from interviews, focus groups, observations, or other qualitative research methods that reveal users' technology adoption processes, experiences, and perceptions.	(Anbarasu et al., 2026; Gülten & Baraçlı, 2024)
System Architecture and Software Infrastructure	The studies focus on the technical architecture, enterprise integration	(Sequeira et al., 2026; Tural & Orpek, 2026)

	structures, data infrastructure, information systems ecosystem, and governance components of AI-backed decision support systems. They were not included in the meta-ethnographic synthesis as they do not contain qualitative empirical findings regarding user experience, technology acceptance, adoption behavior, trust perception, or socio-technical alignment.	
Irrelevant Content and General Proceedings	The studies are in the nature of general conference proceedings in the field of information systems and artificial intelligence, and were excluded because they do not contain empirical qualitative data directly related to the research question.	(11th World Conference on Information Systems and Technologies [WorldCIST 2023], 2024)

When examining the general characteristics of the studies included in the meta-ethnographic synthesis, it is observed that the research was conducted across various sectors, though a significant portion is concentrated in the field of healthcare. While the vast majority of the studies consist of qualitative research based on semi-structured interviews, some investigations utilized focus group discussions, the Delphi technique, observation, and mixed-method approaches. Furthermore, the studies address the adoption of AI-backed decision support systems within the framework of trust, explainability, workflow alignment, organizational support, and ethical dimensions. The general characteristics of the studies included in the meta-ethnographic synthesis are presented in Table 2.

Table 2: General Characteristics of the Studies Included in the Meta-Ethnographic Synthesis (n = 56)

Characteristic	Findings	Sample Sources
Publication years	Included studies were published between 1993 and 2026. The majority of the studies are concentrated in the 2023–2026 period, indicating that interest in AI-backed decision support systems has significantly increased in recent years.	Wang et al. (2026); Huang et al. (2024); Nair et al. (2023); Petitgand et al. (2020); Goud et al. (2010); Geisler & Rubenstein (1993)
Application area	A significant portion of the research was conducted in the healthcare sector. In addition, diverse sectors such as business management, supply chain, project management, manufacturing, agriculture, public administration, and law are also represented.	Willimowski & Schneider (2026); Goldberg et al. (2025); Calof & Viviers (2024); Farič et al. (2024); Hüllmann et al. (2023); Ahmed et al. (2013)
Research design	The vast majority of the studies utilize a qualitative research design. In addition, mixed-method designs containing qualitative data and multiple case studies are also present.	Saup et al. (2026); Schaffernak et al. (2025); Yu et al. (2025); Liaw et al. (2023); Petitgand et al. (2020)

Data collection method	The most common data collection method is semi-structured interviews. Focus groups, Delphi technique, observation, case study, and document analysis are also among the methods used.	Foresman et al. (2025); Goldberg et al. (2025); Tokgöz et al. (2025); Nair et al. (2023); Zhai et al. (2022)
Participants	Participants predominantly consist of healthcare professionals, managers, clinicians, decision-makers, engineers, project managers, and other system users.	Behrens et al. (2026); Varouchas (2026); Raees et al. (2026); Ly et al. (2025); Huang et al. (2023)
Primary topic investigated	The studies focus on the adoption of AI-backed decision support systems, user trust, explainability, workflow alignment, organizational support, ethical issues, and implementation barriers.	Ferry et al. (2026); Saup et al. (2026); Schaffernak et al. (2025); Finkelstein et al. (2024); Huang et al. (2024)

The 56 studies included in the meta-ethnographic synthesis were conducted across diverse application areas, including healthcare, business, supply chain, project management, engineering, agriculture, public administration, and information systems. The characteristics of the studies were comparatively evaluated in terms of research design, data collection method, participant profile, and the primary themes investigated.

4. FINDINGS

4.1. General Characteristics of the Studies Included in the Meta-Ethnographic Synthesis

The 56 studies included in the meta-ethnographic synthesis encompass diverse application areas such as healthcare, business and management, supply chain management, project management, construction, water management, agriculture, and public administration. The majority of the studies were published between 2023 and 2026 and investigate the adoption of AI-backed decision support systems based on user experiences. The most common data collection methods in the reviewed research are semi-structured interviews, focus group discussions, case studies, the Delphi technique, observation, and mixed-method designs containing qualitative data (Saup et al., 2026; Goldberg et al., 2025; Schaffernak et al., 2025; Farič et al., 2024).

A significant portion of the studies was conducted in the healthcare sector, examining the experiences of clinicians, physicians, nurses, managers, and other healthcare professionals regarding AI-backed clinical decision support systems (Ly et al., 2025; Tokgöz et al., 2025; Huang et al., 2023; Nair et al., 2023; Petitgand et al., 2020). Alongside this, while research in the business and management field focuses on the adoption processes of AI-based decision support systems by managers, analysts, and decision-makers (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Varouchas, 2026; Wang et al., 2026), studies conducted in the supply chain, project management, and agriculture sectors highlight common themes such as socio-technical alignment, user trust, and human-AI collaboration (Anthis & Kyriakidou-Zacharoudiou, 2026; Willimowski & Schneider, 2026; Hüllmann et al., 2023).

This diversity indicates that the factors influencing the adoption of AI-backed decision support systems are not unique to a specific sector but rather exhibit similar patterns across different application domains. As a result of the comparative analysis conducted across the studies within the scope of the meta-ethnographic synthesis, common concepts were identified and reinterpreted under high-level themes.

4.2. First-Order Constructs

In the first stage of the meta-ethnographic analysis, participant expressions within the studies were compared to identify common patterns of meaning. When examining user expressions, it is observed that the concepts of trust, explainability, human oversight, training needs, workflow alignment, and usability recur across almost all sectors.

Healthcare professionals emphasize that although they find AI-backed decision support systems useful, the ultimate clinical decision must be made by a human (Foresman et al., 2025; Huang et al., 2023; Petitgand et al., 2020). Similarly, business managers express that artificial intelligence should serve as a tool that supports strategic decisions, but managerial responsibility should not be entirely left to algorithms (Saup et al., 2026; Varouchas, 2026).

Participants also state that the understandability of the systems' decision-making processes is a decisive factor in building trust (Jung et al., 2026; Schaffernak et al., 2025). In particular, AI models characterized as a "black box" are observed to negatively affect users' inclination to adopt the technology.

4.3. Second-Order Constructs

As a result of the comparison of the interpretations made by the researchers, it was determined that the user expressions clustered around six core concepts.

First, perceived trust emerges as a primary determinant in the adoption of AI-backed decision support systems (Behrens et al., 2026; Ly et al., 2025). Second, explainability plays a critical role in users' acceptance of system recommendations (Jung et al., 2026; Tokgöz et al., 2025). Third, socio-technical alignment represents the integration of systems with existing business processes and is observed as a common theme, particularly in healthcare and business studies (Saup et al., 2026; Goldberg et al., 2025; Farič et al., 2024). Fourth, organizational readiness is associated with management support, training, and digital infrastructure (Raees et al., 2026; Wang et al., 2026; Esfandiari et al., 2025). The fifth theme, ethics and professional autonomy, defines the role of artificial intelligence in decision processes, especially within the healthcare sector (Foresman et al., 2025; Huang et al., 2024). Lastly, perceived usefulness and usability are evaluated through the systems' contribution to daily decision-making processes (Kirchhoff et al., 2026; Goldberg et al., 2025).

4.4. Third-Order Synthesis

As a result of the comparative analysis conducted across the studies, six high-level themes were developed:

1. The human–AI trust relationship serving as the primary determinant of adoption.
2. Explainable artificial intelligence enhancing user acceptance.
3. Socio-technical alignment acting as a prerequisite for sustainable usage.
4. Organizational readiness and governance supporting technology adoption.
5. The preference for a hybrid decision-making model that preserves human oversight.
6. Ethical Principe and transparency strengthening long-term adoption..

This synthesis demonstrates that research conducted across different sectors converges around common conceptual structures. The adoption of AI-backed decision support systems is not a process that can be explained solely by technological performance; rather, it emerges as a multidimensional phenomenon shaped concurrently by individual trust, organizational readiness, and socio-technical alignment.

5. DISCUSSION, CONCLUSION, AND RECOMMENDATIONS

This study was designed to synthesize 56 primary qualitative studies examining the adoption of AI-backed decision support systems through a meta-ethnographic approach, thereby identifying recurring common concepts across various sectors. The findings demonstrate that the adoption of AI-backed decision support systems cannot be explained solely by technical

success or algorithmic accuracy; rather, multidimensional factors such as trust, explainability, socio-technical alignment, organizational readiness, ethical principles, and human oversight must be evaluated concurrently.

One of the primary findings of this meta-ethnographic synthesis is that user trust plays a decisive role in the acceptance of AI-backed decision support systems. Particularly, studies in the healthcare field reveal that clinicians view AI systems as useful tools supporting decision-making processes, yet they prefer that the ultimate decision-making responsibility remains with human experts (Ly et al., 2025; Schaffernak et al., 2025; Finkelstein et al., 2024; Huang et al., 2023; Petitgand et al., 2020). Similarly, research in business, project management, and supply chain domains shows that managers evaluate AI as a supportive tool that enhances decision quality rather than a system replacing the human decision-maker (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Varouchas, 2026; Willimowski & Schneider, 2026). Another critical point where the studies converge is explainability. Users are concerned not only with the outputs generated by the system but also with the underlying rationales behind these results. Especially in clinical decision support systems, explainability is recognized as a core element that fosters trust and increases the willingness to use the technology (Behrens et al., 2026; Jung et al., 2026; Tokgöz et al., 2025; Huang et al., 2024). Correspondingly, investigations in the business sector show that managers are more cautious about adopting unexplained AI recommendations (Kirchhoff et al., 2026; Saup et al., 2026).

Socio-technical alignment emerged as another prominent theme resulting from the meta-ethnographic synthesis. The reviewed studies indicate that the alignment of AI-backed decision support systems with existing workflows is critical for sustainable usage. It is observed that the adoption level of systems that do not integrate into users' work routines, create additional workloads, or disrupt the workflow declines over time (Goldberg et al., 2025; Farič et al., 2024; Nair et al., 2023). This condition manifests similarly in non-healthcare domains; technical alignment also influences user acceptance in sectors such as business, project management, and water management (Anthis & Kyriakidou-Zacharoudiou, 2026; Okwori et al., 2026; Wang et al., 2026). Furthermore, the research findings demonstrate that organizational readiness is an important predictor of AI adoption. When management support, employee training, digital infrastructure, and data governance mechanisms are insufficiently established, even technically successful systems face challenges regarding sustainable utilization (Raees et al., 2026; Saup et al., 2026; Varouchas, 2026; Esfandiari et al., 2025). Studies in the healthcare domain also reveal that institutional culture, leadership support, and user training are indispensable for successful implementations (Goldberg et al., 2025; Tokgöz et al., 2025).

Across the baseline of the studies, users generally prefer hybrid decision-making models that maintain human oversight rather than fully autonomous AI systems. While AI's support in expert decision-making is welcomed, it is underscored that the final evaluation and responsibility must rest with humans (Saup et al., 2026; Foresman et al., 2025; Ly et al., 2025). This approach is considered a vital avenue for building trust and mitigating resistance toward the technology across different sectors.

In conclusion, the synthesis of 56 studies puts forward a holistic framework explaining the adoption of AI-backed decision support systems. Accordingly, a successful adoption process relies on the development of systems that are trustworthy, explainable, aligned with business processes, compliant with ethical principles, and supportive of human judgment. Focusing solely on technical infrastructure in AI applications is insufficient; user participation, organizational transformation, and governance processes must be addressed in tandem. In terms of practical implications, it is recommended that organizations consider user needs when deploying AI-backed decision support systems, involve end-users in design and implementation

processes, establish training programs, and render system decision-making processes as transparent as possible. Additionally, managers' support of technology investments through change management and institutional readiness initiatives will facilitate the long-term utilization of these systems.

The primary limitation of this study is its boundary of being confined to 56 studies retrieved from the Scopus database that met the designated criteria. Future research is recommended to utilize diverse databases, investigate distinct cultural contexts, and increase qualitative studies targeting next-generation decision support applications such as generative AI. Overall, by bringing together qualitative research conducted across different disciplines through a meta-ethnographic lens, this study demonstrates that human, organizational, and ethical dimensions are just as decisive as technical features in the adoption of AI-backed decision support systems.

REFERENCES

Ahmed, A., Inoue, S., Kai, E., Nakashima, N., & Nohara, Y. (2013). Portable health clinic: A pervasive way to serve the unreached community for preventive healthcare. *Lecture Notes in Computer Science*, 79–88.

Allam, H., Gyamfi, B., & Ahengua, D. (2026). Deploying an AI clinical support system in hospital practice: A case study on workflow integration and human-centered adoption. *Proceedings of the Information Systems Education Conference, ISECON*.

Anbarasu, P. N., Elavarasi, A., & Rithesh, R. N. (2026). Fundamentals of AI for entrepreneurs. In *Impact of AI on entrepreneurial leadership*. IGI Global. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-3510-9.ch012

Anthis, Z., & Kyriakidou-Zacharoudiou, A. (2026). AI in action: A comparative model for integration in product-focused vs. service-oriented project management. *Lecture Notes in Business Information Processing*.

Arshad, Y., Ahlan, A. R., & Ajayi, B. A. (2014). Intelligent IT governance decision-making support framework for a developing country's public university. *Intelligent Decision Technologies, 8*(1), 101–114.

Bardaki, C., & Pramatari, K. (2007). Assessing information quality in a RFID-integrated shelf replenishment decision support system for the retail industry. *Proceedings of the 2007 International Conference on Information Quality, ICIQ*.

Behrens, A., Noteboom, C., & Brooks, P. (2026). Provider perspectives on sociotechnical alignment of intelligent clinical decision support systems. *Information (Switzerland), 17*(2), 191.

Beneki, C., & Papastathopoulos, A. (2009). The impact of structured, unstructured and integrated decision support systems on SME economic performance: An empirical study. *CIT'09 Proceedings*.

Blanson Henkemans, O., Allard, B., & van den Berg, L. (2026). Hybrid AI decision support in healthcare: Insights into usability and trust. *Studies in Health Technology and Informatics*.

Boltena, M. T., El-Khatib, Z., Zewdie, A., Springer, P., Gebremedhn, A. T., et al. (2026). Policy, financing, and regulatory barriers to adopting AI-backed electrocardiography interpretation clinical decision support system in Ethiopia. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 23*(4), 520.

Calof, J., & Viviers, W. (2024). International market selection decisions – A big data artificial intelligence approach. *Journal of Intelligence Studies in Business, 14*(1).

Colombet, I., Dart, T., Leneveut, L., Zunino, S., Ménard, J., et al. (2003). Combining risks estimations and clinical practice guidelines in a computer decision aid: A pilot study of the EsPeR system. *Studies in Health Technology and Informatics*.

Croll, J. (2010). Testing for usability is not enough: Why clinician acceptance of health information systems is also crucial for successful implementation. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 51–60.
Esfandiari, E., Kalroozi, F., Mehrabi, N., & Hosseini, Y. (2025). Obstacles to the development of the use of artificial intelligence from the point of view of physicians: A qualitative content analysis study. *Jundishapur Journal of Chronic Disease Care*.
Farič, N., Hinder, S., Williams, R., Ramaesh, R., Bernabeu, M. O., et al. (2023). Early experiences of integrating an artificial intelligence-based diagnostic decision support system into radiology settings: A qualitative study. *Studies in Health Technology and Informatics*.
Farič, N., Hinder, S., Williams, R., Ramaesh, R., Bernabeu, M. O., et al. (2024). Early experiences of integrating an artificial intelligence-based diagnostic decision support system into radiology settings: A qualitative study. *Journal of the American Medical Informatics Association, 31*(2).
Ferry, A. V., Lee, K. K., Doudesis, D., Tuck, C., Gray, A. J., et al. (2026). Clinician interaction with a machine learning algorithm for the assessment of patients with possible acute heart failure. *Emergency Medicine Journal*.
Finkelstein, J., Gabriel, A., Schmer, S., Truong, T.-T., & Dunn, A. (2024). Identifying facilitators and barriers to implementation of AI-assisted clinical decision support in an electronic health record system. *Journal of Medical Systems, 48*(1).
Forcina, A., Silvestri, L., De Felice, F., & Falcone, D. (2024). Exploring Industry 4.0 technologies to improve manufacturing enterprise safety management: A TOPSIS-based decision support system and real case study. *Safety Science, 171*, 106351. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106351
Foresman, G., Biro, J., Tran, A., MacRae, K., Kazi, S., et al. (2025). Patient perspectives on artificial intelligence in health care: Focus group study for diagnostic communication and tool implementation. *Journal of Participatory Medicine, 13*.
Geisler, E., & Rubenstein, A. H. (1993). Barriers to adoption of intelligent support systems by US lawyers. *International Journal of Computer Applications in Technology, 6*(2-3), 111-119.
Goh, H., Khuon, D., Ung, M., Oy, S., Dary, C., et al. (2026). i-MoMCARE: AI-enabled mobile app for maternal and child health care in Cambodia – a pilot implementation and evaluation study. *BMJ Health and Care Informatics, 33*.
Goldberg, D. G., Soylu, T. G., Hoffman, C. F., Kishton, R. E., & Cronholm, P. F. (2025). Clinicians' perspectives on the adoption and implementation of EMR-integrated clinical decision support tools in primary care. *Digital Health, 11*.
Goud, R., van Engen-Verheul, M., de Keizer, N. F., Bal, R., Hasman, A., et al. (2010). The effect of computerized decision support on barriers to guideline implementation: A qualitative study in outpatient cardiac rehabilitation. *International Journal of Medical Informatics, 79*(9), 635–643.
Gülten, H., & Baraçlı, H. (2024). A machine learning-based forecast model for career planning in human resource management: A case study of the Turkish Post Corporation. *Applied Sciences, 14*(15), 6679. https://doi.org/10.3390/app14156679
Hanelt, A., Busse, S., & Kolbe, L. M. (2014). Decision support systems for environmental sustainability technology transformations: The case of an electric vehicle adoption decision. *MKWI 2014 Proceedings*.
Hawking, P., Foster, S., & Stein, A. (2006). Investigating business intelligence (BI) solution adoption in Australian companies: An ERP perspective. *ACIS 2006 Proceedings*.

Hook, M. L., Burke, L. J., & Murphy, J. (2009). An IT innovation for individualizing care: Success with clinicians leading the way. *Studies in Health Technology and Informatics, 146*, 493–497.
Huang, Y., Zisook, D., Chen, Y., Selter, M., Minardi, P., et al. (2011). Lessons learned in improving the adoption of a real-time NLP decision support system. *BIBMW 2011 Proceedings*.
Huang, Z., George, M. M., Tan, Y.-R., Natarajan, K., Devasagayam, E., et al. (2023). Are physicians ready for precision antibiotic prescribing? A qualitative analysis of the acceptance of AI-enabled CDSS in India and Singapore. *Journal of Global Antimicrobial Resistance, 35*, 191–198.
Huang, Z., Lim, H. Y.-F., Ow, J. T., Sun, S. H.-L., & Chow, A. (2024). Doctors' perception on the ethical use of AI-enabled clinical decision support systems for antibiotic prescribing recommendations in Singapore. *Frontiers in Public Health, 12*.
Hüllmann, J. A., Precht, H., & Wübbe, C. (2023). Configurations of human-AI work in agriculture. *Lecture Notes in Informatics (LNI)*.
Jung, I.-C., Zerlik, M., Schuler, K., Sedlmayr, M., & Sedlmayr, B. (2026). An explanation user interface for artificial intelligence–supported mechanical ventilation optimization for clinicians: User-centered design and formative usability study. *JMIR Formative Research, 10*.
Kirchhoff, J., Berns, F., Schieder, C., & Schobel, J. (2026). Pricing models for diagnostic AI based on qualitative insights from healthcare decision makers. *npj Digital Medicine, 9*(1).
Kjellmark, G., Hjelseth, E., Peñaloza, G. A., & Riemer-Sørensen, S. (2026). Toward construction 5.0: Bridging AI and people through continuous learning. *Journal of Construction Engineering and Management*.
Liaw, W. R., Silva, Y. R., Soltero, E. G., Krist, A., & Stotts, A. L. (2023). An assessment of how clinicians and staff members use a diabetes artificial intelligence prediction tool: Mixed methods study. *JMIR AI, 2*.
Ly, A., Herse, S., Williams, M.-A., & Stapleton, F. (2025). Artificial intelligence for age-related macular degeneration diagnosis in Australia: A Novel Qualitative Interview Study. *Ophthalmic and Physiological Optics, 45*.
Miller, A., Moon, B., Anders, S., Walden, R., Brown, S., et al. (2015). Integrating computerized clinical decision support systems into clinical work: A meta-synthesis of qualitative research. *International Journal of Medical Informatics, 84*(12), 1118–1136.
Mwogosi, A., Mambile, C., Kibinda, N., & Shao, D. (2026). Blockchain and AI in Tanzanian EHR systems: perceptions, challenges, and solutions. *Journal of Systems and Information Technology*.
Naicker, S., Schmidt, P., Shar, B., Tariq, A., Earnshaw, A., et al. (2026). Implementing an artificial intelligence decision support system in radiology: Prospective qualitative evaluation study using the NASSS framework. *Journal of Medical Internet Research, 28*.
Nair, M., Andersson, J., Nygren, J. M., & Lundgren, L. E. (2023). Barriers and enablers for implementation of an AI-based decision support tool to reduce the risk of readmission of patients with heart failure. *JMIR Formative Research, 7*.
Noblit, G. W., & Hare, R. D. (1988). *Meta-ethnography: Synthesizing qualitative studies*. Sage Publications.
Okwori, E., Li, J., Jonsson, A., & Flyden, Å. (2026). A loop unclosed: why AI decision support in water asset management stalls and how utilities can unlock its value. *Water Practice and Technology, 21*.
Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ...

Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews*. BMJ, 372, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Park, Y.-E., Ock, M., Lee, J.-H., Ko, D.-H., Lee, H.-J., et al. (2026). Assessing health care professionals' perceptions of a new system in clinical workflows: Systems engineering initiative for patient safety–based consensual qualitative research. *Journal of Medical Internet Research, 28*.

Petitgand, C., Motulsky, A., Denis, J.-L., & Régis, C. (2020). Investigating the barriers to physician adoption of an AI-based decision support system in emergency care. *Studies in Health Technology and Informatics, 270*, 312–316.

Pottebaum, J., Artikis, A., Marterer, R., & Paliouras, G. (2012). User-oriented evaluation of event-based decision support systems. *ICTAI 2012 Proceedings*.

Prakash, J. J., Chhabra, D. S., Aakash, Gajam, R., & Singhal, A. B. (2026). Influence of artificial intelligence on managerial decision systems and trust formation: A mixed-methods study. *ICIPTM 2026 Proceedings*.

Raees, M., Lykourentzou, I., Khan, V.-J., & Papangelis, K. (2026). "We still use spreadsheets." Understanding business decision-makers' perceptions and barriers to AI analytics. *CHI '26 Proceedings*.

Saup, T.-O., Asghar, J., Kanbach, D. K., & Kraus, S. (2026). From pilots to decision systems: embedding generative AI into strategic decision-making through a socio-technical and governance lens. *Journal of Decision Systems*.

Schaffernak, I., Cecil, J., Kleine, A.-K., & Lermer, E. (2025). Sociotechnical influences on the adoption and use of AI-enabled clinical decision support systems in ophthalmology. *BMC Health Services Research, 25*.

Sequeira, R., Reis, A., Branco, F., & Alves, P. (2026). The ecosystem of information systems in higher education: A strategic perspective on business intelligence and decision support. In *Communications in Computer and Information Science*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-032-06075-4_3

Tam, M. M. C., Chung, W. W. C., Yung, K. L., David, A. K., & Saxena, K. B. C. (1994). Managing organizational DSS development in small manufacturing enterprise. *Information and Management, 26*(5), 265–275.

Tan, Y.-M., Hii, J., Chan, K., Sardual, R., & Mah, B. (2013). An electronic dashboard to improve nursing care. *Studies in Health Technology and Informatics, 192*, 190–194.

Tokgöz, P., Albrecht, J., & Dockweiler, C. (2025). Implementation of artificial intelligence-based decision support systems for antibiotic prescribing in hospitals: a Delphi study. *Frontiers in Digital Health, 7*.

Tural, B., & Orpek, Z. (2026). Core components of enterprise AI agents. In *Proceedings of the 8th International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (ICHORA 2026)*. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICHORA69329.2026.11537140

Elsevier. (2026). *Scopus akademik veri tabanı doküman arama sonuçları*. 9 Temmuz 2026 tarihinde https://www.scopus.com/pages/search/publications?searchId=929075e5-c80d-45dc-90ae-28cb66864d01 adresinden erişildi.

Varouchas, E. (2026). Executives' perspectives on the impact of generative AI in business: a qualitative study of strategic, ethical and organizational transformations. *Journal of Science and Technology Policy Management*.

Wang, X., Zhong, W., Huang, K., & Liang, B. (2026). High interest but low adoption: Navigating organizations' journey towards generative artificial intelligence implementation. *International Journal of Information Management, 80*.

Wijnhoven, F. (2022). Organizational learning for intelligence amplification adoption: Lessons from a clinical decision support system adoption project. *Information Systems Frontiers, 24*, 1020–1034.

Willimowski, M. C., & Schneider, V. (2026). Perceptions and trust in AI-driven decision support systems in supply chain management. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*.

Workman, M. (2012). Technology innovation adoption and diffusion: A contrast of perspectives. *Technology Integration and Maturity*, 1–22.

WorldCIST 2023. (2024). *11th World Conference on Information Systems and Technologies, WorldCIST 2023*. In *Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer.

Yu, Z., Hu, N., Zhao, Q., Hu, X., Jia, C., et al. (2025). The willingness of doctors to adopt artificial intelligence-driven clinical decision support systems at different hospitals in China. *Journal of Medical Internet Research, 27*.

Zhai, Y., Yu, Z., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2022). Barriers and facilitators to implementing a nursing clinical decision support system: A qualitative study using the FITT framework. *International Journal of Medical Informatics, 164*.

Zhai, D., Zhao, K., Wang, M., Zhai, L., & Xu, S. (2026). AI-driven opportunity forecasting for technology startup identification: Integrating graph embedding, LLMs, and informetric analysis. *Technological Forecasting and Social Change, 224*, 124649. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2026.124649

OFDM TABANLI HABERLEŞME KANALLARINDA ÇOK SEVİYELİ LDPC KODLAMA

Dr. Öğr. Üyesi Aziz YILMAZ
Istanbul AREL Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tepekent, İstanbul
ORCID ID: 0000-0002-1306-1975

ÖZET
Kablosuz haberleşme sistemlerinde artan veri hızı gereksiniminin sınırlı bant genişliği, çok yollu yayılım, Doppler etkisi ve kanal gürültüsü altında düşük hata oranıyla karşılanması, etkin kodlama ve modülasyon tekniklerinin birlikte kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Bu tez çalışmasında, Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing–OFDM) ile Düşük Yoğunluklu Parite Kontrol (Low-Density Parity-Check–LDPC) kodlamanın avantajlarını bir araya getiren çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sistemi geliştirilmiş ve sistemin bit hata oranı performansı incelenmiştir. Bu amaçla MATLAB ortamında sırasıyla çok seviyeli LDPC kodlama, OFDM ve çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM benzetim modelleri oluşturulmuştur. LDPC kodlama performansı; AWGN, Rayleigh ve farklı K faktörlerine sahip Rician sönümlemeli kanallarda, üç farklı üreteç matrisi ile iki ve üç seviyeli kodlama yapıları kullanılarak değerlendirilmiştir. OFDM ve birleşik sistem benzetimlerinde ise modülasyon derecesi, Doppler etkisi, pilot sembol sayısı ve kanal bilgisinin bit hata oranı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Bulgular, LDPC kodlama performansının kullanılan üreteç matrisine ve kanal koşullarına önemli ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. İki seviyeli LDPC kodlamada Gb, üç seviyeli kodlamada ise SED üreteç matrisi genel olarak daha başarılı sonuçlar vermiştir. Doppler etkisi ve kodlama seviyesindeki artış bit hata oranını yükseltirken, uygun sayıda pilot sembol kullanılması özellikle zamanla değişen kanallarda performansı iyileştirmiştir. Çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM yapısının, LDPC kodlama veya OFDM'nin tek başına kullanıldığı yapılara göre hata başarımını iyileştirebildiği ve paralel iletim yoluyla aynı zaman aralığında daha fazla veri aktarımına olanak sağladığı belirlenmiştir. Sonuçlar, kodlama seviyesi, pilot sembol sayısı, üreteç matrisi ve kanal koşullarının birlikte seçilmesiyle veri hızı ile hata başarımı arasında etkili bir denge kurulabileceğini ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: OFDM, LDPC kodlama, çok seviyeli kodlama, bit hata oranı

MULTILEVEL LDPC CODING OVER OFDM-BASED COMMUNICATION CHANNELS

ABSTRACT
Meeting the increasing data-rate requirements of wireless communication systems with a low error rate under limited bandwidth, multipath propagation, Doppler effects, and channel noise requires the integrated use of efficient coding and modulation techniques. In this thesis, a multilevel LDPC-coded OFDM system combining the advantages of Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) and Low-Density Parity-Check (LDPC) coding was developed, and its bit error rate performance was investigated. For this purpose, multilevel LDPC coding, OFDM, and multilevel LDPC-coded OFDM simulation models were developed sequentially in MATLAB. The performance of LDPC coding was evaluated over AWGN, Rayleigh, and Rician fading channels with different K-factors using three generator matrices and two- and three-level coding structures. In the OFDM and integrated-system simulations, the effects of modulation order, Doppler shift, number of pilot symbols, and channel knowledge on the bit error rate were comparatively examined. The findings showed that LDPC coding performance was strongly

influenced by the selected generator matrix and channel conditions. The Gb generator matrix generally produced better results for two-level LDPC coding, whereas the SED generator matrix was more effective for three-level coding. Although the Doppler effect and an increase in the coding level increased the bit error rate, the use of an appropriate number of pilot symbols improved system performance, particularly over time-varying channels. The multilevel LDPC-coded OFDM structure was found to improve error performance compared with structures employing LDPC coding or OFDM alone, while enabling a larger amount of data to be transmitted within the same time interval through parallel transmission. The results demonstrate that an effective balance between data rate and error performance can be achieved through the joint selection of the coding level, number of pilot symbols, generator matrix, and channel conditions.
Keywords: OFDM, LDPC coding, multilevel coding, bit error rate

1. GİRİŞ

Kablosuz haberleşme teknolojileri, son yıllarda mobil iletişim, nesnelerin interneti (Internet of Things–IoT), otonom sistemler, akıllı şehirler ve endüstriyel haberleşme uygulamalarındaki hızlı gelişmelerle birlikte büyük bir dönüşüm yaşamaktadır. Özellikle beşinci nesil (5G) sistemlerin yaygınlaşması ve altıncı nesil (6G) haberleşme teknolojilerine yönelik çalışmaların hız kazanması, daha yüksek veri hızları, daha düşük gecikme süreleri ve daha güvenilir iletişim altyapılarının geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Ancak kablosuz haberleşme ortamlarında sınırlı bant genişliği, çok yollu yayılım (multipath propagation), kanal sönümlemesi, Doppler etkisi ve gürültü gibi faktörler, veri iletim kalitesini olumsuz yönde etkilemekte ve bit hata oranının (Bit Error Rate–BER) artmasına neden olmaktadır.

Bu problemlerin azaltılmasında kullanılan en başarılı çok taşıyıcılı haberleşme tekniklerinden biri Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing–OFDM) yöntemidir. OFDM, yüksek hızlı veri akışını çok sayıda birbirine dik alt taşıyıcıya bölerek ilettiğinden frekans seçici sönümlemeye karşı yüksek dayanıklılık sağlamaktadır. Ayrıca spektral verimliliğinin yüksek olması, kanal eşitleme işlemlerini kolaylaştırması ve çok yollu yayılımın etkilerini azaltması nedeniyle günümüzde Wi-Fi, LTE, DVB, WiMAX ve 5G gibi birçok modern haberleşme standardında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte OFDM sistemleri, kanal gürültüsü ve sönümleme etkileri altında tek başına yeterli hata başarımı sağlayamayabilmektedir. Bu nedenle ileri hata düzeltme (Forward Error Correction–FEC) teknikleri ile birlikte kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda Düşük Yoğunluklu Parite Kontrol (Low-Density Parity-Check–LDPC) kodları, Shannon sınırına oldukça yakın hata düzeltme performansı sağlamaları, yüksek kodlama kazancı sunmaları ve yinelemeli çözme algoritmalarına uygun yapıları sayesinde günümüz haberleşme sistemlerinde en yaygın kullanılan kanal kodlama yöntemlerinden biri hâline gelmiştir. Özellikle 5G Yeni Radyo (NR) standartlarında veri kanallarında LDPC kodlarının tercih edilmesi, bu kodlama yaklaşımının güncel haberleşme teknolojileri açısından önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Literatürde OFDM ve LDPC kodlarının birlikte kullanıldığı çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen, çok seviyeli LDPC kodlama yapılarının farklı kanal koşulları altında performansını karşılaştıran çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle AWGN, Rayleigh ve farklı K faktörlerine sahip Rician sönümlemeli kanallarda kullanılan farklı üreteç matrislerinin sistem başarımına etkileri ile kodlama seviyesi, Doppler etkisi ve pilot sembol sayısı arasındaki

ilişkinin birlikte değerlendirilmesi, haberleşme sistemi tasarımı açısından önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, çok seviyeli LDPC kodlama ile OFDM tekniğinin avantajlarını bir araya getiren bütünleşik bir haberleşme sistemi MATLAB ortamında modellenmiş ve farklı kanal koşulları altında bit hata oranı performansı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Analizlerde iki ve üç seviyeli LDPC kodlama yapıları ile farklı üreteç matrisleri kullanılarak sistem performansı karşılaştırılmış; ayrıca modülasyon derecesi, Doppler etkisi, pilot sembol sayısı ve kanal bilgisinin haberleşme başarımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Böylece farklı kanal koşullarında yüksek veri hızı ile düşük hata oranı arasında optimum denge sağlayabilecek parametrelerin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışmanın özgün katkısı, çok seviyeli LDPC kodlama yapılarının OFDM sistemi ile bütünleştirilerek yalnızca farklı kanal modelleri açısından değil; aynı zamanda kodlama seviyesi, üreteç matrisi, pilot sembol kullanımı ve Doppler etkisi gibi haberleşme performansını doğrudan etkileyen parametreler açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Elde edilen bulguların, gelecekte geliştirilecek yüksek güvenilirlik gerektiren kablosuz haberleşme sistemleri ile 5G/6G tabanlı uygulamalarda kullanılabilecek etkin kanal kodlama stratejilerinin belirlenmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

2.1. OFDM Teknolojisi ve Kablosuz Haberleşme

Kablosuz haberleşme sistemlerinde artan veri hızı gereksinimi, yüksek spektral verimlilik sağlayan ve çok yollu yayılımın olumsuz etkilerine karşı dayanıklı iletim tekniklerinin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Bu doğrultuda geliştirilen Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing–OFDM), yüksek hızlı veri iletimini çok sayıda birbirine ortogonal alt taşıyıcı üzerinden gerçekleştirerek frekans seçici sönümlemenin etkisini önemli ölçüde azaltan çok taşıyıcılı bir iletim tekniğidir (Li & Stüber, 2006). OFDM, geniş bantlı tek taşıyıcılı sistemlerde karşılaşılan karmaşık kanal eşitleme problemlerini basitleştirerek her alt taşıyıcının yaklaşık düz (flat fading) bir kanal gibi davranmasını sağlamaktadır.

OFDM'in temel çalışma prensibi, yüksek hızlı veri akışının düşük hızlı paralel alt veri akışlarına bölünmesi ve her bir veri akışının farklı bir alt taşıyıcı üzerine modüle edilmesine dayanmaktadır. Verici tarafında ters hızlı Fourier dönüşümü (Inverse Fast Fourier Transform–IFFT), alıcı tarafında ise hızlı Fourier dönüşümü (FFT) kullanılarak alt taşıyıcıların ortogonalliği korunmaktadır. Ayrıca semboller arasına eklenen çevrimsel önek (Cyclic Prefix–CP), çok yollu yayılım nedeniyle oluşan semboller arası girişimi (Inter Symbol Interference–ISI) önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yapı sayesinde OFDM, hem yüksek spektral verimlilik hem de düşük alıcı karmaşıklığı sunmaktadır.

OFDM'in en önemli avantajlarından biri, frekans seçici sönümlemeye karşı doğal dayanıklılığıdır. Geleneksel tek taşıyıcılı sistemlerde ciddi performans kaybına neden olan çok yollu kanal etkileri, OFDM sistemlerinde çok sayıda dar bantlı alt taşıyıcıya bölünerek önemli ölçüde azaltılmaktadır. Böylece kanal eşitleme işlemi basitleşmekte ve özellikle geniş bantlı haberleşme sistemlerinde daha yüksek hata başarımı elde edilmektedir. Bu nedenle OFDM; IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (WiMAX), DVB-T, LTE, 5G NR ve birçok sayısal yayın sisteminde temel fiziksel katman teknolojisi olarak kullanılmaktadır.

Bununla birlikte OFDM sistemlerinin bazı önemli sınırlılıkları da bulunmaktadır. Özellikle yüksek Tepe-Ortalama Güç Oranı (Peak-to-Average Power Ratio–PAPR), doğrusal olmayan güç yükselteçlerinde performans kaybına neden olabilmektedir. Ayrıca frekans kayması (frequency offset), faz gürültüsü ve Doppler etkisi, alt taşıyıcıların ortogonalliğini bozarak taşıyıcılar arası girişime (Inter Carrier Interference–ICI) yol açabilmektedir. Bu nedenle OFDM sistemlerinde zaman ve frekans senkronizasyonu, kanal kestirimi ve pilot sembol tasarımı kritik öneme sahiptir. Son yıllarda özellikle yüksek hareketliliğe sahip haberleşme senaryolarında OFDM'in Doppler etkisine karşı duyarlılığını azaltmaya yönelik çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Modern haberleşme standartlarında OFDM, tek başına kullanılan bir modülasyon tekniği olmanın ötesinde, güçlü kanal kodlama yöntemleri ile birlikte değerlendirilmektedir. Özellikle ileri hata düzeltme (Forward Error Correction–FEC) teknikleriyle bütünleştirildiğinde, sistemin bit hata oranı (Bit Error Rate–BER) performansı önemli ölçüde iyileşmektedir. Bu nedenle günümüzde OFDM; Turbo kodlar, Polar kodlar ve özellikle Düşük Yoğunluklu Parite Kontrol (Low-Density Parity-Check–LDPC) kodları ile birlikte kullanılmaktadır. 5G Yeni Radyo (NR) sistemlerinde veri kanallarında LDPC kodlarının tercih edilmesi, OFDM–LDPC bütünleşik yapılarının güncel kablosuz haberleşme teknolojilerindeki önemini daha da artırmıştır.

Literatür incelendiğinde OFDM üzerine gerçekleştirilen çalışmaların büyük bölümünün kanal kestirimi, senkronizasyon, PAPR azaltma, Doppler etkisinin giderilmesi ve çok girişli çok çıkışlı (MIMO) sistemlerle entegrasyon konularına odaklandığı görülmektedir. Buna karşılık farklı kanal modelleri altında çok seviyeli LDPC kodlamanın OFDM sistem performansına etkisini birlikte değerlendiren çalışmaların sayısı daha sınırlıdır. Özellikle AWGN, Rayleigh ve Rician sönümlemeli kanallarda farklı kodlama seviyeleri, pilot sembol sayıları ve üreteç matrislerinin birlikte analiz edilmesi, gelecekte geliştirilecek yüksek güvenilirlik gerektiren kablosuz haberleşme sistemleri açısından önemli bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir.

2.2. LDPC Kodlama ve Hata Düzeltme Teknikleri

Kablosuz haberleşme sistemlerinde veri iletimi sırasında oluşan kanal gürültüsü, çok yollu sönümleme, girişim ve Doppler etkisi gibi bozucu faktörler bit hata oranının (Bit Error Rate–BER) artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle modern haberleşme sistemlerinde yalnızca gelişmiş modülasyon teknikleri yeterli olmamakta; iletim güvenilirliğini artırmak amacıyla ileri hata düzeltme (Forward Error Correction–FEC) yöntemleri de kullanılmaktadır. Kanal kodlama teknikleri, iletilen veri içerisine kontrollü fazlalık (redundancy) ekleyerek alıcı tarafında hata tespit ve düzeltme işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlamaktadır. Böylece yeniden iletim gereksinimi azaltılmakta, spektral verimlilik korunmakta ve haberleşme sisteminin güvenilirliği önemli ölçüde artırılmaktadır.

İleri hata düzeltme yöntemleri arasında Düşük Yoğunluklu Parite Kontrol (Low-Density Parity-Check–LDPC) kodları, günümüzde en yüksek performans sağlayan kanal kodlama tekniklerinden biri olarak kabul edilmektedir. İlk kez Gallager (1962) tarafından önerilen LDPC kodları, seyrek yapılı parite kontrol matrislerine dayanmaktadır. Uzun yıllar hesaplama maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yaygın olarak kullanılamayan bu kodlar, işlemci teknolojilerindeki gelişmeler ve yinelemeli (iterative) çözme algoritmalarının geliştirilmesiyle

birlikte yeniden önem kazanmış ve günümüz haberleşme standartlarının temel bileşenlerinden biri hâline gelmiştir.

LDPC kodlarının en önemli avantajı, Shannon kanal kapasitesine oldukça yakın hata düzeltme performansı sunabilmesidir (Richardson & Urbanke, 2001). Seyrek parite kontrol matrisi sayesinde kod çözme işlemi düşük karmaşıklıkla gerçekleştirilebilmekte; özellikle Belief Propagation (BP) ve Sum-Product Algorithm (SPA) gibi yinelemeli algoritmalar kullanılarak yüksek hata düzeltme başarısı elde edilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle LDPC kodları, uzun blok uzunluklarında Turbo kodlara benzer hatta birçok durumda daha üstün performans gösterebilmektedir.

Literatürde LDPC kodlarının performansını etkileyen en önemli faktörlerden birinin parite kontrol ve üreteç matrisi tasarımı olduğu belirtilmektedir. Düzenli (regular) ve düzensiz (irregular) LDPC kod yapıları, farklı kanal koşullarında farklı performans karakteristikleri göstermektedir. Özellikle düzensiz LDPC kodlarının düşük sinyal-gürültü oranlarında daha başarılı sonuçlar verdiği, buna karşılık düzenli yapıların daha düşük kod çözme karmaşıklığı sunduğu ifade edilmektedir (MacKay, 1999). Bu nedenle uygulama alanına bağlı olarak uygun kod yapısının seçilmesi haberleşme performansını doğrudan etkilemektedir.

Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalar, klasik tek seviyeli LDPC kodlama yerine çok seviyeli LDPC kodlama yaklaşımlarına yönelmiştir. Çok seviyeli kodlama yapılarında farklı koruma seviyelerine sahip kodlar birlikte kullanılarak hem hata düzeltme başarısı artırılmakta hem de yüksek veri hızları korunabilmektedir. Özellikle farklı modülasyon seviyeleri ile birlikte kullanılan çok seviyeli LDPC yapıları, frekans seçici sönümlemeye sahip kablosuz kanallarda önemli performans avantajları sağlamaktadır. Bununla birlikte kodlama seviyesinin artırılması, kod çözme süresi ve hesaplama yükü açısından ilave maliyetler oluşturabilmektedir.

LDPC kodlarının başarımı yalnızca kod yapısına değil, aynı zamanda haberleşme kanalının özelliklerine de bağlıdır. AWGN kanallarında oldukça başarılı performans gösteren kodlar, Rayleigh ve Rician sönümlemeli kanallarda farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Özellikle hareketli kullanıcı senaryolarında ortaya çıkan Doppler etkisi, kanalın zamanla değişmesine neden olmakta ve yinelemeli kod çözme algoritmalarının performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle farklı kanal modellerinde uygun kodlama parametrelerinin belirlenmesi, günümüz kablosuz haberleşme sistemlerinin tasarımında önemli araştırma konularından biri olarak değerlendirilmektedir.

Beşinci nesil (5G NR) mobil haberleşme sistemlerinde veri kanallarında LDPC kodlarının standart hâline gelmesi, bu kodların modern haberleşme sistemlerindeki önemini daha da artırmıştır. Yüksek veri hızı, düşük gecikme süresi ve yüksek güvenilirlik gerektiren uygulamalarda LDPC kodlarının OFDM ile birlikte kullanılması, özellikle geniş bantlı kablosuz haberleşme sistemlerinde önemli performans iyileştirmeleri sağlamaktadır. Bu nedenle güncel araştırmalar, yalnızca yeni kod çözme algoritmalarının geliştirilmesine değil; aynı zamanda farklı kanal modelleri, farklı kodlama seviyeleri ve farklı modülasyon teknikleri altında LDPC performansının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesine odaklanmaktadır.

Bu çalışma da söz konusu araştırma eğilimini desteklemekte; iki ve üç seviyeli LDPC kodlama yapılarının farklı üreteç matrisleri ile AWGN, Rayleigh ve Rician sönümlemeli kanallardaki

performansını karşılaştırmalı olarak incelemektedir. Böylece farklı kanal koşullarında en uygun kodlama yapısının belirlenmesine yönelik literatüre katkı sunulması amaçlanmaktadır.

2.3. OFDM–LDPC Entegrasyonu ve Çok Seviyeli Kodlama

Kablosuz haberleşme sistemlerinde yüksek veri hızı ile düşük bit hata oranını aynı anda sağlayabilmek amacıyla çok taşıyıcılı iletim teknikleri ile ileri hata düzeltme kodlarının birlikte kullanılması yaygın bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Bu kapsamda OFDM ile LDPC kodlarının bütünleştirilmesi, günümüz geniş bant haberleşme sistemlerinde en başarılı fiziksel katman çözümlerinden biri olarak kabul edilmektedir. OFDM'in frekans seçici sönümlemeye karşı sağladığı dayanıklılık ile LDPC kodlarının güçlü hata düzeltme yeteneği birleştiğinde, özellikle çok yollu ve zamanla değişen kablosuz kanallarda önemli performans kazanımları elde edilmektedir (Richardson & Urbanke, 2008; Li & Stüber, 2006).

OFDM–LDPC bütünleşik yapısında verici tarafında bilgi bitleri önce LDPC kodlayıcısından geçirilmekte, ardından modüle edilerek OFDM alt taşıyıcılarına yerleştirilmektedir. Alıcı tarafında ise FFT işlemi sonrasında elde edilen semboller üzerinde yinelemeli LDPC kod çözme algoritmaları uygulanmaktadır. Bu yapı sayesinde OFDM sisteminin maruz kaldığı kanal hatalarının önemli bir bölümü LDPC kodları tarafından düzeltilmekte ve sistemin bit hata oranı önemli ölçüde düşmektedir. Özellikle düşük sinyal-gürültü oranlarında (SNR) elde edilen kodlama kazancı, OFDM sistemlerinin güvenilirliğini artırmaktadır.

Literatürde OFDM–LDPC sistemlerinin performansını etkileyen birçok parametrenin bulunduğu belirtilmektedir. Bunların başında kod oranı (code rate), blok uzunluğu, çözme iterasyon sayısı, modülasyon tipi, kanal modeli ve kanal kestirim yöntemi gelmektedir. Ayrıca pilot sembol yerleşimi ve kanal bilgisinin doğruluğu da özellikle Rayleigh ve Rician sönümlemeli kanallarda sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, bu parametrelerin birlikte optimize edilmesiyle hata oranında önemli iyileşmeler sağlanabileceğini göstermektedir.

Araştırmaların önemli bir bölümü klasik tek seviyeli LDPC kodları üzerine yoğunlaşırken, çok seviyeli (multilevel) LDPC kodlama yapıları son yıllarda dikkat çekmeye başlamıştır. Çok seviyeli kodlamada bilgi bitleri farklı koruma seviyelerine sahip kod bloklarına ayrılmakta ve böylece farklı hata düzeltme stratejileri aynı sistem içerisinde uygulanabilmektedir. Özellikle yüksek dereceli modülasyon tekniklerinde (M-QAM, M-PSK vb.) çok seviyeli kodlama, veri iletim verimliliğini artırırken hata performansını da iyileştirebilmektedir.

Çok seviyeli LDPC kodlamanın temel avantajlarından biri, farklı veri akışlarının farklı güvenilirlik seviyeleriyle korunabilmesidir. Böylece kritik bilgi bitleri daha güçlü kodlama ile korunurken, daha az kritik bilgiler daha düşük kodlama oranlarıyla iletilebilmektedir. Bu yaklaşım hem spektral verimliliği artırmakta hem de toplam sistem performansını iyileştirmektedir. Bununla birlikte kodlama seviyesinin artırılması, kod çözme karmaşıklığını ve hesaplama süresini de artırmaktadır. Bu nedenle uygun kodlama seviyesinin belirlenmesi, haberleşme sistemi tasarımında önemli optimizasyon problemlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Literatürde farklı kanal modelleri altında çok seviyeli LDPC kodlarının performansını inceleyen çalışmaların sayısı sınırlıdır. Özellikle AWGN, Rayleigh ve Rician sönümlemeli

kanalların aynı çalışma kapsamında karşılaştırıldığı araştırmalar oldukça azdır. Ayrıca farklı üreteç (generator) matrislerinin, çok seviyeli kodlama yapıları üzerindeki etkileri de yeterince araştırılmamıştır. Mevcut çalışmaların büyük bölümü standart LDPC kod yapılarını değerlendirmekte; farklı üreteç matrisi tasarımlarının hata başarımı üzerindeki etkisini ayrıntılı olarak incelememektedir.

Bir diğer önemli araştırma konusu ise Doppler etkisi ve pilot sembol tasarımıdır. Hareketli kullanıcı senaryolarında kanal katsayılarının zamanla değişmesi, OFDM sistemlerinde kanal kestirim doğruluğunu azaltmakta ve taşıyıcılar arası girişimi artırmaktadır. Literatürde uygun pilot sembol yoğunluğu ve kanal kestirim algoritmalarının kullanılmasının bu olumsuz etkileri önemli ölçüde azaltabildiği gösterilmektedir. Ancak pilot sembol sayısının artırılması veri iletim kapasitesini azaltırken, yetersiz pilot kullanımı ise kanal kestirim hatalarını artırmaktadır. Dolayısıyla pilot sembol sayısı ile spektral verimlilik arasında dikkatli bir denge kurulması gerekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, OFDM–LDPC bütünleşik sistemleri modern kablosuz haberleşme altyapılarında yüksek güvenilirlik sağlayan en önemli fiziksel katman çözümlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte literatürde çok seviyeli LDPC kodlama, farklı üreteç matrisleri, Doppler etkisi, pilot sembol optimizasyonu ve farklı kanal modellerinin birlikte değerlendirildiği kapsamlı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu gidermeyi amaçlayarak çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sisteminin farklı kanal koşullarındaki bit hata oranı performansını karşılaştırmalı olarak incelemekte ve haberleşme sistemi tasarımında kullanılabilecek önemli bulgular ortaya koymaktadır.

2.4. Araştırma Boşluğu

Kablosuz haberleşme sistemlerinde OFDM ve LDPC kodlama teknikleri üzerine gerçekleştirilen araştırmalar son yirmi yılda önemli ölçüde artmıştır. Mevcut çalışmaların büyük bölümü OFDM sistemlerinde kanal kestirimi, senkronizasyon, PAPR azaltma, modülasyon teknikleri ve çok taşıyıcılı iletim performansına odaklanırken; LDPC kodları üzerine yapılan araştırmalar ise ağırlıklı olarak kod çözme algoritmaları, parite kontrol matrisi tasarımı ve hata düzeltme performansının iyileştirilmesi konularını ele almaktadır. Bununla birlikte bu iki teknolojinin birlikte kullanıldığı çalışmalarda, özellikle çok seviyeli LDPC kodlama yapılarının farklı kanal koşulları altında ayrıntılı biçimde değerlendirildiği araştırmaların sayısının sınırlı olduğu görülmektedir.

Literatürde OFDM–LDPC bütünleşik sistemleri çoğunlukla AWGN veya yalnızca Rayleigh sönümlemeli kanallar altında incelenmiştir. Oysa gerçek kablosuz haberleşme ortamlarında kanal koşulları çok daha karmaşık olup, farklı K faktörlerine sahip Rician sönümlemeli kanallar, hareketli kullanıcı senaryoları ve zamanla değişen kanal karakteristikleri sistem performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yalnızca tek bir kanal modeli üzerinde gerçekleştirilen değerlendirmeler, haberleşme sistemlerinin gerçek çalışma koşullarındaki davranışını tam olarak yansıtmamaktadır.

Bir diğer önemli eksiklik, farklı üreteç (generator) matrislerinin sistem performansı üzerindeki etkilerinin yeterince karşılaştırılmamış olmasıdır. Çoğu araştırmada standart LDPC kod yapıları kullanılmakta; farklı üreteç matrislerinin iki ve üç seviyeli kodlama yapıları üzerindeki etkileri

ayrıntılı olarak analiz edilmemektedir. Oysa kodlama başarımı, yalnızca kanal özelliklerine değil aynı zamanda kullanılan kod yapısına ve üreteç matrisinin karakteristiklerine de bağlıdır. Bu nedenle farklı üreteç matrislerinin değişik kanal koşullarındaki performanslarının karşılaştırılması, haberleşme sistemi tasarımı açısından önemli bilgiler sağlayacaktır.

Literatürde dikkat çeken bir başka araştırma boşluğu ise kodlama seviyesi ile sistem karmaşıklığı arasındaki dengenin yeterince incelenmemiş olmasıdır. Çok seviyeli LDPC kodlama teorik olarak daha güçlü hata düzeltme performansı sunmasına rağmen, kod çözme süresi, işlem yükü ve hesaplama maliyetinde artışa neden olmaktadır. Mevcut çalışmaların önemli bir kısmı yalnızca bit hata oranını değerlendirmekte; kodlama seviyesi arttıkça ortaya çıkan hesaplama maliyeti ile performans kazancı arasındaki ilişkiyi ayrıntılı biçimde tartışmamaktadır.

Benzer şekilde Doppler etkisi ve pilot sembol optimizasyonu da literatürde ayrı ayrı ele alınan konular arasında yer almaktadır. Hareketli haberleşme senaryolarında Doppler frekansındaki artış kanal kestirim doğruluğunu azaltırken, pilot sembol sayısının artırılması ise kanal kestirim başarımını iyileştirmektedir. Ancak pilot sembol yoğunluğunun artırılması veri iletim kapasitesini düşürmektedir. Bu nedenle veri hızı, spektral verimlilik ve bit hata oranı arasında optimum dengeyi sağlayacak pilot sembol tasarımına yönelik çalışmaların sayısı hâlen sınırlıdır.

Ayrıca mevcut araştırmaların önemli bir bölümünde OFDM sistemi, LDPC kodlama ve kanal modelleri birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık kodlama seviyesi, üreteç matrisi, kanal modeli, Doppler etkisi, pilot sembol sayısı ve modülasyon derecesinin birlikte analiz edildiği bütünleşik performans değerlendirmeleri oldukça az sayıdadır. Haberleşme sistemlerinin gerçek uygulamalarda bu parametrelerin tamamından aynı anda etkilendiği dikkate alındığında, bütünleşik analizlerin literatüre önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, söz konusu araştırma boşluklarını gidermeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda MATLAB ortamında geliştirilen çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sistemi kullanılarak AWGN, Rayleigh ve farklı K faktörlerine sahip Rician sönümlemeli kanallar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca iki ve üç seviyeli LDPC kodlama yapıları, farklı üreteç matrisleri, modülasyon dereceleri, Doppler etkisi ve pilot sembol sayısı birlikte değerlendirilerek bit hata oranı üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Böylece çalışma, yalnızca OFDM veya LDPC performansını tek başına değerlendirmek yerine, haberleşme sistemini oluşturan temel parametreleri bütüncül bir bakış açısıyla analiz ederek literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

3. METODOLOJİ

Bu çalışmada, çok seviyeli Düşük Yoğunluklu Parite Kontrol (Low-Density Parity-Check–LDPC) kodlamanın Dik Frekans Bölmeli Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing–OFDM) sistemlerindeki bit hata oranı (Bit Error Rate–BER) performansına etkisi benzetim tabanlı olarak incelenmiştir. Analizler MATLAB ortamında geliştirilen sayısal haberleşme modeli kullanılarak gerçekleştirilmiş ve farklı kanal koşulları altında sistem performansı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.1. Sistem Modeli

Çalışmada geliştirilen haberleşme sistemi; rastgele bit üretimi, çok seviyeli LDPC kodlayıcı, dijital modülasyon bloğu, OFDM vericisi, kablosuz kanal modeli, OFDM alıcısı, LDPC kod çözücü ve BER hesaplama modüllerinden oluşmaktadır. Sistem mimarisi Şekil 1'de özetlenmektedir.

Bilgi Bitleri → Çok Seviyeli LDPC Kodlayıcı → Modülasyon → IFFT (OFDM) → Çevrimsel Önek (CP) → Kablosuz Kanal → FFT → LDPC Kod Çözme → BER Hesaplama

Bu yapı sayesinde farklı kanal koşullarının ve kodlama parametrelerinin sistem başarımına etkisi aynı benzetim altyapısı üzerinde karşılaştırılmıştır.

3.2. Kanal Modelleri

Benzetimlerde kablosuz haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılan üç farklı kanal modeli değerlendirilmiştir.

- AWGN (Additive White Gaussian Noise) kanalı
- Rayleigh sönümlemeli kanal
- Rician sönümlemeli kanal (farklı K faktörleri)

AWGN kanalı yalnızca beyaz Gauss gürültüsünün etkisini temsil ederken, Rayleigh kanalı doğrudan görüş hattının bulunmadığı çok yollu yayılım ortamlarını modellemektedir. Rician kanal modeli ise doğrudan görüş hattının bulunduğu senaryoları temsil etmekte olup farklı K faktörleri kullanılarak kanal koşullarındaki değişimin sistem performansına etkisi analiz edilmiştir.

3.3. Çok Seviyeli LDPC Kodlama Yapısı

Çalışmada iki farklı kodlama mimarisi kullanılmıştır.

- İki seviyeli LDPC kodlama
- Üç seviyeli LDPC kodlama

Her iki yapı için farklı üreteç (generator) matrisleri kullanılarak kodlama performansı karşılaştırılmıştır. İki seviyeli kodlama yapısında Gb, üç seviyeli kodlama yapısında ise SED üreteç matrislerinin performansı diğer matrislerle birlikte değerlendirilmiştir. Böylece kodlama seviyesinin ve üreteç matrisi seçiminin bit hata oranına etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.4. OFDM Parametreleri

OFDM benzetim modelinde haberleşme performansını etkileyen temel parametreler sistematik olarak değiştirilmiştir. Bu kapsamda;

- modülasyon derecesi,
- pilot sembol sayısı,

- kanal bilgisi (Channel State Information),
- Doppler frekansı

parametrelerinin sistem başarımı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır. Özellikle hareketli haberleşme senaryolarını temsil eden Doppler etkisinin farklı kanal modelleri altında oluşturduğu performans değişimleri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

3.5. Performans Ölçütü

Sistem performansının değerlendirilmesinde temel ölçüt olarak Bit Error Rate (BER) kullanılmıştır. BER değeri, alıcı tarafında hatalı çözülen bit sayısının toplam iletilen bit sayısına oranı olarak hesaplanmıştır.
Her benzetim senaryosu için farklı sinyal-gürültü oranı (SNR) değerlerinde yeterli sayıda bit iletimi gerçekleştirilmiş ve ortalama BER değerleri elde edilmiştir.

3.6. Deneysel Senaryolar

Çalışmada gerçekleştirilen benzetimler aşağıdaki temel senaryolar altında yürütülmüştür.

- LDPC kodlamanın AWGN kanalındaki performansı
- LDPC kodlamanın Rayleigh kanalındaki performansı
- LDPC kodlamanın farklı K faktörlü Rician kanallarındaki performansı
- İki seviyeli ve üç seviyeli LDPC kodlama yapılarının karşılaştırılması
- Farklı üreteç matrislerinin performans analizi
- Modülasyon derecesinin BER üzerindeki etkisi
- Doppler frekansının sistem başarımına etkisi
- Pilot sembol sayısının kanal kestirimi ve BER üzerindeki etkisi
- Çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sisteminin klasik OFDM ve yalnızca LDPC kodlamalı sistemlerle karşılaştırılması

Bu deneysel tasarım sayesinde, farklı kanal koşulları ve sistem parametrelerinin çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sisteminin hata performansı üzerindeki etkileri bütüncül olarak değerlendirilmiş; yüksek veri hızı ile düşük bit hata oranı arasında optimum denge sağlayabilecek sistem parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

4. ANALİZ

Geliştirilen çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sistemi, farklı kanal modelleri ve sistem parametreleri altında benzetim ortamında değerlendirilmiştir. Analizlerde sistem performansı temel olarak Bit Hata Oranı (Bit Error Rate–BER) ölçütü kullanılarak karşılaştırılmıştır.

İlk olarak farklı kanal modellerinin sistem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analiz sonuçları, beklenildiği gibi AWGN kanalında sistemin en düşük BER değerlerini verdiğini göstermektedir. Buna karşılık çok yollu yayılımın etkili olduğu Rayleigh sönümlemeli kanalda hata oranlarının arttığı, doğrudan görüş yolunun bulunduğu Rician kanalında ise performansın K faktörüne bağlı olarak iyileştiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar, kanal karakteristiklerinin haberleşme performansı üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir.

İki ve üç seviyeli LDPC kodlama yapıları karşılaştırıldığında, kodlama seviyesinin sistem performansını doğrudan etkilediği görülmektedir. İki seviyeli kodlama yapısında Gb üreteç matrisinin, üç seviyeli kodlama yapısında ise SED üreteç matrisinin daha başarılı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bu bulgu, uygun üreteç matrisi seçiminin hata performansını iyileştirmede önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.

Analizlerde ayrıca Doppler etkisinin sistem başarımı üzerindeki rolü de değerlendirilmiştir. Hareketliliğin artmasıyla birlikte kanalın zamanla değişmesi, taşıyıcılar arasındaki ortogonalliği olumsuz etkilemiş ve buna bağlı olarak BER değerlerinde artış gözlenmiştir. Özellikle yüksek Doppler frekanslarında kanal kestirim doğruluğunun azalması sistem performansını sınırlayan temel faktörlerden biri olarak ortaya çıkmıştır.

Pilot sembol sayısının değiştirilmesiyle gerçekleştirilen benzetimler, uygun sayıda pilot sembol kullanılmasının kanal kestirim doğruluğunu artırdığını ve özellikle Rayleigh ile Rician kanallarında bit hata oranını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Bununla birlikte pilot sembol sayısının gereğinden fazla artırılması, veri iletim kapasitesini düşürdüğünden haberleşme verimliliği açısından optimum bir pilot yapısının seçilmesi gerektiği değerlendirilmiştir.

Genel olarak analiz sonuçları, çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sisteminin, yalnızca OFDM veya yalnızca LDPC kodlama kullanılan sistemlere göre daha başarılı hata performansı sağlayabildiğini göstermektedir. Özellikle uygun kanal modeli, kodlama seviyesi, üreteç matrisi ve pilot sembol sayısının birlikte optimize edilmesi durumunda sistemin hem veri iletim güvenilirliğinin hem de spektral verimliliğinin artırılabileceği görülmektedir.

Elde edilen bulgular, çok seviyeli LDPC kodlamanın OFDM tabanlı yeni nesil kablosuz haberleşme sistemlerinde önemli bir alternatif oluşturduğunu ve özellikle 5G/6G haberleşme altyapıları ile yüksek güvenilirlik gerektiren uygulamalarda etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM sisteminin farklı kablosuz kanal koşulları altındaki bit hata oranı performansı benzetim tabanlı olarak incelenmiştir. Analizler, AWGN, Rayleigh ve farklı K faktörlerine sahip Rician sönümlemeli kanallar altında gerçekleştirilmiş; kodlama seviyesi, üreteç matrisi, Doppler etkisi ve pilot sembol sayısı gibi temel sistem parametrelerinin haberleşme performansı üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgular, kanal koşullarının ve kodlama parametrelerinin sistem performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. AWGN kanalında en düşük bit hata oranı elde edilirken, Rayleigh kanalında çok yollu sönümleme nedeniyle performansın azaldığı, Rician kanalında ise doğrudan görüş yolunun etkisiyle daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca iki seviyeli LDPC kodlamada Gb, üç seviyeli LDPC kodlamada ise SED üreteç matrisinin daha başarılı performans gösterdiği belirlenmiştir.

Çalışmada Doppler etkisinin artmasının bit hata oranını yükselttiği, buna karşılık uygun sayıda pilot sembol kullanılmasının özellikle zamanla değişen kanallarda kanal kestirim doğruluğunu

artırarak sistem performansını iyileştirdiği görülmüştür. Bu sonuçlar, pilot sembol tasarımı ile veri iletim verimliliği arasında dengeli bir optimizasyon yapılmasının önemini ortaya koymaktadır.

Genel değerlendirme sonucunda, çok seviyeli LDPC kodlamalı OFDM yapısının, yalnızca OFDM veya yalnızca LDPC kodlama kullanılan sistemlere göre daha düşük bit hata oranı sağlayabildiği ve paralel veri iletim yapısı sayesinde yüksek veri hızını korurken haberleşme güvenilirliğini artırabildiği belirlenmiştir. Bu nedenle önerilen sistem yapısının, yüksek güvenilirlik gerektiren yeni nesil geniş bant kablosuz haberleşme uygulamaları için uygun bir alternatif olduğu değerlendirilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, önerilen sistemin MIMO-OFDM mimarileri, 5G/6G haberleşme senaryoları, farklı modülasyon teknikleri ve adaptif LDPC kodlama algoritmaları ile birlikte değerlendirilmesi, ayrıca gerçek zamanlı FPGA veya SDR tabanlı donanım uygulamaları üzerinde doğrulanması önerilmektedir. Böylece benzetim ortamında elde edilen sonuçların gerçek haberleşme sistemlerindeki performansı daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilecektir.

KAYNAKLAR

3rd Generation Partnership Project (3GPP). (2018). NR; Multiplexing and channel coding (3GPP TS 38.212). https://portal.3gpp.org

Chung, S.-Y., Richardson, T. J., & Urbanke, R. L. (2001). On the design of low-density parity-check codes within 0.0045 dB of the Shannon limit. IEEE Communications Letters, 5(2), 58–60.

Gallager, R. G. (1962). Low-density parity-check codes. IRE Transactions on Information Theory, 8(1), 21–28. https://doi.org/10.1109/TIT.1962.1057683

Gallager, R. G. (1963). Low-Density Parity-Check Codes. MIT Press.

Hanzo, L., Münster, M., Choi, B. J., & Keller, T. (2003). OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting. John Wiley & Sons.

Kschischang, F. R., Frey, B. J., & Loeliger, H.-A. (1998). Factor graphs and the sum-product algorithm. IEEE Transactions on Information Theory, 47(2), 498–519.

Li, Y., & Stüber, G. L. (2006). Orthogonal Frequency Division Multiplexing for Wireless Communications. Springer.

MacKay, D. J. C. (1999). Good error-correcting codes based on very sparse matrices. IEEE Transactions on Information Theory, 45(2), 399–431.

MacKay, D. J. C., & Neal, R. M. (1996). Near Shannon limit performance of low-density parity-check codes. Electronics Letters, 32(18), 1645–1646.

Nee, R. V., & Prasad, R. (2000). OFDM for Wireless Multimedia Communications. Artech House.

Olmos, P. M., Liu, Y., & Mitchell, D. G. M. (2020). Low-density parity-check (LDPC) codes for 5G communications. In R. Tafazolli et al. (Eds.), Wiley 5G Ref. John Wiley & Sons.

Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). Digital Communications (5th ed.). McGraw-Hill.

Richardson, T. J., & Kudekar, S. (2018). Design of low-density parity-check codes for 5G New Radio. IEEE Communications Magazine, 56(3), 28–34.

Richardson, T. J., Shokrollahi, M. A., & Urbanke, R. L. (2001). Design of capacity-approaching irregular low-density parity-check codes. IEEE Transactions on Information Theory, 47(2), 619–637.

Richardson, T. J., & Urbanke, R. L. (2001). Efficient encoding of low-density parity-check codes. IEEE Transactions on Information Theory, 47(2), 638–656.
Richardson, T. J., & Urbanke, R. L. (2001). The capacity of low-density parity-check codes under message-passing decoding. IEEE Transactions on Information Theory, 47(2), 599–618.
Richardson, T. J., & Urbanke, R. L. (2008). Modern Coding Theory. Cambridge University Press.
Sklar, B. (2001). Digital Communications: Fundamentals and Applications (2nd ed.). Prentice Hall.
Tanner, R. M. (1981). A recursive approach to low complexity codes. IEEE Transactions on Information Theory, 27(5), 533–547.
Tse, D., & Viswanath, P. (2005). Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge University Press.
Yang, L., & Hanzo, L. (2003). Multicarrier modulation: A convenient framework for time-frequency signal processing in future wireless systems. Proceedings of the IEEE, 91(11), 1835–1852.
Yue, G., Wang, X., & Letaief, K. B. (2007). Efficient resource allocation for OFDM systems. IEEE Transactions on Wireless Communications, 6(8), 2983–2991.
Zhang, S., Chen, L., Lin, S., & Abdel-Ghaffar, K. (2001). Construction of LDPC codes from finite geometries. IEEE Transactions on Information Theory, 47(7), 2711–2736.
Zhou, S., & Wang, Z. (2004). OFDM for Underwater Acoustic Communications. Wiley.
Zou, W. Y., & Wu, Y. (1995). COFDM: An overview. IEEE Transactions on Broadcasting, 41(1), 1–8.

TİP 1 DİYABETLİ ÇOCUKLARDA ÖZ YÖNETİMİN DESTEKLENMESİNDE DİJİTAL EĞİTİM VE YAPAY ZEKÂ YAKLAŞIMLARI

Dr. Hümeyra DENER
Hacettepe University, Faculty of Medicine, Department of Medical Education and Informatics, 06230 Sıhhiye, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-4832-6515
Dr. Öğr. Üyesi Bahise AYDIN
İzmir University of Economics, Faculty of Health Science, Department of Nursing, 35330 Balçova, İzmir
ORCID ID: 0000-0001-9815-2843

ÖZET
Tip 1 diyabetes mellitus (T1DM), pankreatik β-hücrelerinin otoimmün yıkımı sonucu gelişen, yaşam boyu insülin tedavisi ve düzenli öz yönetim gerektiren kronik bir hastalıktır. Çocukluk döneminde diyabet yönetimi; yaşa bağlı bilişsel, gelişimsel ve psikososyal özellikler nedeniyle erişkinlere kıyasla daha karmaşık olup kan glukozu izlemi, insülin uygulaması, karbonhidrat sayımı, fiziksel aktivitenin düzenlenmesi ve hipo/hipergliseminin yönetilmesi gibi çok boyutlu becerileri kapsamaktadır. Son yıllarda dijital teknolojilerdeki gelişmeler, çocukların ve ailelerin öz yönetim süreçlerini desteklemek amacıyla oyunlaştırılmış eğitim uygulamaları, yapay zekâ destekli sohbet robotları ve telesağlık hizmetleri gibi yenilikçi yaklaşımların kullanımını yaygınlaştırmıştır. Bu derlemenin amacı, T1DM'li çocuklarda ve ailelerinde öz yönetimin desteklenmesinde kullanılan güncel dijital eğitim ve yapay zekâ yaklaşımlarını incelemek ve mevcut kanıtları özetlemektir. Çalışma, konuyla ilgili ulusal ve uluslararası literatürün gözden geçirilmesiyle hazırlanmış bir derlemedir. İncelenen çalışmalar, oyunlaştırılmış dijital eğitim ve oyunlar, yapay zekâ destekli sohbet robotları ve telesağlık uygulamaları olmak üzere üç temel başlık altında ele alınmıştır. Bulgular, oyunlaştırılmış uygulamaların bilgi düzeyini, katılımı ve bazı öz yönetim davranışlarını destekleyebildiğini; sohbet robotlarının bilgiye hızlı erişim ve psikososyal destek açısından yarar sağlayabildiğini; telesağlık uygulamalarının ise eğitim sürekliliğini, uzaktan izlem ve danışmanlığa erişimi kolaylaştırdığını göstermektedir. Bununla birlikte, çalışmalar örneklem, yöntem ve sonuç ölçütleri bakımından heterojendir; klinik sonuçlara ilişkin bulgular tutarlı değildir. Sonuç olarak dijital eğitim ve yapay zekâ yaklaşımları, sağlık profesyonellerinin denetiminde, yaşa ve gelişim düzeyine uygun biçimde ve yüz yüze eğitimi tamamlayıcı olarak kullanılmalıdır. Hemşirelerin bu uygulamaların seçimi, eğitimi, izlenmesi ve güvenli kullanımında koordinatör rolünü üstlenmesi çocukların ve ailelerin diyabet yönetimine aktif katılımını destekleyebilir.
Anahtar Kelimeler: *Tip 1 diyabet, öz yönetim, yapay zekâ, dijital eğitim, çocuk*

DIGITAL EDUCATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPROACHES TO SUPPORTING SELF-MANAGEMENT IN CHILDREN WITH TYPE 1 DIABETES

ABSTRACT
Type 1 diabetes mellitus (T1DM) is a chronic disease caused by the autoimmune destruction of pancreatic β-cells and requires lifelong insulin therapy and ongoing self-management. Diabetes management during childhood is more complex than in adulthood because of age-related cognitive, developmental, and psychosocial characteristics, and involves multidimensional skills such as blood glucose monitoring, insulin administration, carbohydrate counting, regulation of physical activity, and the management of hypo- and hyperglycemia. In recent

years, advances in digital technologies have increased the use of innovative approaches, including gamified educational applications, artificial intelligence–supported chatbots, and telehealth services, to support self-management processes among children and their families. This review aims to examine current digital education and artificial intelligence approaches used to support self-management in children with T1DM and their families and to summarize the available evidence. The study was conducted as a review of the relevant national and international literature. The included studies were discussed under three main headings: gamified digital education and games, artificial intelligence–supported chatbots, and telehealth applications. The findings indicate that gamified applications may support knowledge acquisition, engagement, and certain self-management behaviors; chatbots may facilitate rapid access to information and provide psychosocial support; and telehealth applications may enhance continuity of education and improve access to remote monitoring and counseling. However, the studies are heterogeneous in terms of sample characteristics, methodology, and outcome measures, and findings related to clinical outcomes remain inconsistent. In conclusion, digital education and artificial intelligence approaches should be used under the supervision of health care professionals, in a manner appropriate to the child's age and developmental level, and as a complement to face-to-face education. Nurses may support the active participation of children and families in diabetes management by assuming a coordinating role in the selection, implementation, monitoring, and safe use of these approaches.

Keywords: Type 1 diabetes, self-management, artificial intelligence, digital education, child

GİRİŞ

Tip 1 diyabetes mellitus (T1DM), pankreatik β-hücrelerinin otoimmün yıkımı sonucu gelişen, yaşam boyu insülin tedavisi ve düzenli öz yönetim gerektiren kronik bir metabolik hastalıktır (Castano & Eisenbarth, 1990). Gregory ve arkadaşlarının (2022) modelleme çalışmasına göre, 2021 yılında dünya genelinde yaklaşık 8,4 milyon T1DM'li birey bulunmakta; bunların 1,5 milyonunu (%18) 20 yaşın altındaki bireyler oluşturmaktadır. Aynı çalışmada, T1DM prevalansının 2040 yılına kadar 13,5–17,4 milyona ulaşabileceği öngörülmüştür. Türkiye'de gerçekleştirilen bölgesel bir izlem çalışmasında, 2007–2019 yılları arasındaki 13 yıllık dönemde T1DM insidansının 100.000 çocuk-yılda ortalama 13,1 olduğu ve yıllık ortalama %8,3 oranında arttığı bildirilmiştir (Dündar et al., 2023). Ulusal düzeyde yapılan başka bir çalışmada ise 2011–2013 yılları arasında 18 yaş altındaki bireylerde T1DM insidansı 100.000 kişi-yılda 10,8, prevalansı ise binde 0,75 olarak hesaplanmıştır (Yeşilkaya et al., 2017). Çocukluk çağında T1DM sıklığının artması, giderek daha fazla çocuğun ve ailenin günlük kan glukozu izlemi, insülin uygulaması, beslenme planlaması ve akut komplikasyonların yönetimi gibi karmaşık sorumluluklarla karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, sağlık kuruluşlarında verilen sınırlı süreli yüz yüze eğitimin ötesinde, çocuk ve ailelerin gereksinim duydukları bilgi ve desteğe sürekli erişebilmelerini sağlayan, yaşa uygun, etkileşimli ve bireyselleştirilebilir dijital eğitim yaklaşımlarına duyulan gereksinimi artırmaktadır.

Çocukluk çağında diyabet yönetimi, yaşa bağlı bilişsel, gelişimsel ve psikososyal farklılıklar nedeniyle erişkinlere kıyasla daha karmaşık bir süreçtir (Cockcroft et al., 2024). Öz yönetim sorumluluğu ve becerilerinin yerine getirilebilmesi, çocukluk dönemi boyunca aynı düzeyde değildir. Okul öncesi dönemde diyabet yönetiminin büyük bölümü ebeveynler tarafından yürütülürken, okul çağında çocuk kan glukozu izlemi, beslenme ve insülin uygulaması gibi süreçlere kademeli olarak katılmaya başlamakta, adolesan dönemde ise öz yönetim sorumluluğu giderek çocuğa devredilmektedir. Bu nedenle ebeveynlerin çocuğun gelişimsel düzeyine uygun biçimde rehberlik etmesi, denetim sağlaması ve öz yönetim sorumluluğunun aşamalı olarak paylaşılması diyabet bakımının önemli bir bileşenidir. Çocukların kan glukoz düzeylerini takip etmeleri, insülin dozlarını ayarlamaları, beslenmelerini planlamaları ve

fiziksel aktivitelerini düzenlemeleri için öz yönetim becerilerinin gelişim dönemlerine uygun biçimde desteklenmesi büyük önem taşımaktadır (Cockcroft et al., 2024; Özgüven Öztornacı et al., 2025).

Öz yönetim eğitimi, kronik bir hastalıkla yaşayan bireylerin durumlarını yönetmelerine ve mümkün olan en iyi yaşam kalitesine ulaşmalarına yardımcı olan; hedef belirleme, karar verme, problem çözme ve kişinin kendini izlemesi gibi becerilerin geliştirilmesine odaklanan etkileşimli eğitim müdahalelerini ifade eder (Brady et al., 2018). T1DM'li çocuklarda öz yönetim becerileri; kan glukozu izlemi, insülin uygulaması, karbonhidrat sayımı, sağlıklı beslenme, fiziksel aktivite planlaması ve hipoglisemi-hiperglisemi yönetimini kapsamaktadır (Cockcroft et al., 2024). Araştırmalar, öz yönetim becerileri gelişmiş çocuklarda HbA1c düzeylerinin daha düşük olduğunu, tedaviye uyumun arttığını ve yaşam kalitesinin yükseldiğini göstermektedir (Al Ksir et al., 2022; Asghari et al., 2023; Bakır et al., 2021; Hood et al., 2010). Yüz yüze diyabet eğitimi, çocuk ve ailelerin temel bilgi ve becerileri kazanmasında önemli bir role sahip olmakla birlikte, sağlık kuruluşlarında belirli zaman aralıklarında sunulması nedeniyle eğitim sürekliliği, gereksinim anında desteğe erişim ve bireyselleştirilmiş geri bildirim sağlama açısından sınırlılıklar taşıyabilmektedir (Greenwood et al., 2017). Bu sınırlılıklar, yüz yüze eğitimi tamamlayacak teknoloji destekli yaklaşımlara duyulan gereksinimi artırmaktadır. Güvenilir glikoz ölçümleri ile hassas tedaviler sağlamak amacıyla diyabet teknolojileri hızla gelişmekte; diyabetli bireyin hastalığını yönetebilmesini destekleyen bu teknolojiler sağlık hizmetlerini de dönüştürmektedir. Bilgisayarların, akıllı telefonların ve çeşitli dijital cihazların günlük yaşama yaygın biçimde entegre olması, diyabet yönetiminde bilgiye erişim, izlem, iletişim ve eğitim olanaklarını genişletmiştir (TEMD, 2025). E-sağlık teknolojilerindeki gelişmeler, öz yönetim sürecinde beslenme ve fiziksel aktivite davranışlarının desteklenmesine, klinik verilerin izlenmesine ve çocuğun ve ailesinin gereksinimlerine uygun geri bildirim sunulmasına katkı sağlayabilir (Tyler & Jacobs, 2020). Tıp eğitiminde olduğu gibi diyabet bakımında da dijital web tabanlı ve yapay zekâ destekli eğitim yöntemlerinin yalnızca öğrenci eğitiminde değil, belirli hedeflere yönelik hasta eğitiminde de kullanıldığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Ayar, 2016; Bektas et al., 2022; Santonocito et al., 2025). Bu derlemenin amacı, T1DM'li çocuklarda ve ailelerinde öz yönetimin desteklenmesinde kullanılan güncel dijital eğitim ve yapay zekâ yaklaşımlarını incelemek ve mevcut kanıtları özetlemektir.

DİJİTAL VE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ EĞİTİM YAKLAŞIMLARI

Dijital eğitim, bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla bireylere eğitim içeriği, geri bildirim, izlem ve danışmanlık sunulmasını kapsayan geniş bir yaklaşımdır. Web tabanlı eğitim platformları, mobil uygulamalar, çevrim içi video ve eğitim modülleri, kısa mesaj uygulamaları, oyunlar ve telesağlık hizmetleri dijital eğitimin başlıca uygulama biçimleri arasında yer almaktadır. Bu yaklaşımlar, çocukların ve ailelerin eğitim içeriklerine zaman ve mekân sınırlaması olmaksızın erişebilmesini, öğrenme sürecini kendi hızlarında sürdürebilmesini ve yüz yüze eğitim sonrasında gereksinim duydukları bilgiye yeniden ulaşabilmesini sağlamaktadır (Ayar, 2016). Web tabanlı uygulamalar; e-posta, sohbet odaları, tartışma grupları, çevrim içi uzman danışmanlığı, web sitesi bağlantıları, video kayıtları ve kısa mesajlar gibi farklı iletişim ve eğitim araçlarını bir arada kullanabilmektedir (Ayar, 2016).

Dijital eğitim uygulamalarının işlevselliği yapay zekâ teknolojilerinin entegrasyonuyla daha da genişleyebilmektedir. Yapay zekâ, makinelerde insan zekâsını simüle etmek, genişletmek ve geliştirmek için teoriler, yöntemler, teknolojiler ve uygulama sistemleri geliştiren bilgisayar biliminin geniş bir dalıdır (McCarthy et al., 2006). Yapay zekâ tabanlı klinik karar destek sistemleri 20. yüzyılın ortalarından itibaren geliştirilmekte olup son yıllarda diyabet bakımında kullanımları giderek yaygınlaşmıştır (Handelman et al., 2018). Makine öğrenimi (machine

learning -ML) ise, bilgisayar bilimi ve istatistiği tıbbi sorunlara entegre etmek için büyük kaynakların kullanıldığı, tıp alanında hızla gelişen bir alan, yapay zekânın bir alt kümesidir (Handelman et al., 2018).

Son yıllarda diyabet bakımında yapay zekâ uygulamalarının kullanımı hızla yaygınlaşmıştır (Yu et al., 2018). ML her bir özel görev için kuralları belirtmeye veya girdi özellikleri arasındaki karmaşık etkileşimleri hesaba katmaya gerek kalmadan, verilerdeki daha önce fark edilmemiş kalıpların keşfedilmesini kolaylaştıran yapay zekâ uygulamalarının geliştirilmesini sağlar (Handelman et al., 2018). Akıllı mobil diyabet yönetim sistemleri, kişilerin bilgi eksiklerinin belirlenmesi, temel bilgilerin artırılması ve diyabetin kapsamlı bir şekilde yönetilmesi için kullanılmaktadır (Alotaibi et al., 2016; Hamon & Gagnayre, 2013). Yapay zekâ algoritmaları, bireyin yaşını, öğrenme hızını ve klinik verilerini analiz ederek kişiye özel eğitim içerikleri oluşturabilmektedir (Årsand et al., 2012; Kebede & Pischke, 2019). Bu sayede çocuklar ya da aileleri eksik oldukları konularda hedeflenmiş eğitim materyallerine ulaşabilmektedir. Yapay zekâ tabanlı karar destek sistemleri ise sürekli glukoz izlem sistemlerinden elde edilen verileri analiz ederek hipoglisemi riskini öngörme ve insülin yönetimine ilişkin karar süreçlerini destekleme potansiyeline sahiptir (Tyler & Jacobs, 2020). Ancak bu sistemlerin önerileri klinik kararın yerine geçmemeli ve sağlık profesyonellerinin denetiminde kullanılmalıdır.

Diyabet öz yönetimine yönelik mobil uygulamalar; kan glukozu kayıtlarının tutulması, ilaç ve ölçüm hatırlatmaları, karbonhidrat sayımı, bolus hesaplama, beslenme ve fiziksel aktivite izlemi gibi çeşitli işlevler sunmaktadır (TEMD, 2025). Bu uygulamaların bir bölümü yalnızca kayıt ve hatırlatma işlevi taşırken, bazıları kullanıcı verilerini analiz ederek kişiselleştirilmiş geri bildirim, risk uyarısı veya eğitim içeriği sunabilmektedir. Dolayısıyla mobil ya da web tabanlı her uygulama yapay zekâ destekli değildir; bir uygulamanın yapay zekâ kapsamında değerlendirilebilmesi için verilerden öğrenme, tahmin üretme, doğal dil işleme veya kullanıcıya uyarlanmış karar desteği sağlama gibi işlevlerden en az birini içermesi gerekir.

Oyunlaştırılmış Dijital Eğitim ve Yapay Zekâ Uygulamaları

Oyunlaştırma, sağlık için olumlu motivasyon ve davranışları teşvik etmek amacıyla oyun dışı bir bağlamda oyun öğelerinin kullanılmasına dayalı bir yaklaşımdır. Sağlık sektöründe oyunlaştırma konseptinin kullanılması, oyunların keyif ve katılım özelliklerine dayanarak hastaların davranışlarını yönlendirmektedir (Sardi et al., 2017). Özellikle, oyunlaştırmanın çocukları hedefleyen sağlık uygulamalarını daha çekici hale getirdiği belirtilmiştir (Alsalman et al., 2020).

Oyunlaştırma teknikleri ile desteklenen uygulamalar, çocukların diyabet yönetimine ilişkin bilgi ve becerileri eğlenerek öğrenmelerine olanak tanımaktadır. Diyabette kullanılan oyunlaştırılmış yapay zekâ sistemlerinin incelendiği bir makalede sekiz uygulama ele alınmıştır (Alsalman et al., 2020). İncelenen uygulamaların büyük kısmında puan veya seviye sistemi gibi oyun mekanikleri ile ilaç ve ölçüm hatırlatıcıları kullanılmış; birçoğu ise çocuğun ilgisini çekmek amacıyla hayvan ya da çocuk temalı karakterler (ör. ayı, ejderha) üzerinden kurgulanmıştır. Bu karakterler aracılığıyla çocuklara sağlıklı beslenme, insülin uygulaması, kan şekeri takibi ve karbonhidrat sayımı gibi öz yönetim becerileri eğlenceli bir anlatı içinde öğretilmiştir. Belirlenen bu özelliklerin, T1DM'li çocukların bakımı ve öz kontrolü için gelecekte kullanılabilecek önemli bir potansiyel taşıdığı belirtilmiştir (Alsalman et al., 2020).

Tip 1 diyabetli çocuklara yönelik oyun örneklerinden biri MyDiabetic uygulamasıdır. Beş-on iki yaş grubundaki, özellikle yeni tanı almış çocuklara yönelik geliştirilen bu oyun; karbonhidrat sayımı, kan glukozu ölçümü, insülin kalemi kullanımı, fiziksel aktivite, hipoglisemi ve hiperglisemi yönetimi gibi temel öz yönetim becerilerinin yanı sıra sürekli glukoz izlem sistemi, insülin pompası, glukagon uygulaması ve keton ölçümü gibi ileri diyabet teknolojilerini de kapsamaktadır. Oyunda sanal avatar bakımı, seviyeler, mini oyunlar, sanal

ödüller, hikâye akışı ve giderek zorlaşan görevler gibi oyunlaştırma unsurları kullanılmıştır. Uygulama, çocukların, ebeveynlerin, klinisyenlerin, tasarımcıların ve yazılım geliştiricilerinin yer aldığı yinelemeli katılımcı ortak tasarım süreciyle geliştirilmiştir. Bir haftalık fizibilite değerlendirmesinde çocukların ortalama eğitim puanında %10,7 artış bildirilmiş; oyun içindeki glukoz ölçümü ve insülin uygulaması görevlerini tamamlama sürelerinde sırasıyla %42 ve %45 azalma gözlenmiştir. Bununla birlikte, çalışmanın küçük örneklemli, kontrol grupsuz ve kısa süreli olması nedeniyle bu bulgular klinik etkinlikten çok uygulamanın kullanılabilirliği ve eğitim potansiyeli açısından değerlendirilmelidir (Novak, 2023).

Oyunlaştırılmış uygulamaların etkisine ilişkin örneklerden bir diğeri Tip 1 diyabetli adolesanlar için geliştirilen Bant uygulamasıdır. Bu uygulamada, düzenli kan glukozu ölçümünü desteklemek amacıyla ödül algoritması kullanılmış ve hedeflenen ölçüm davranışını sergileyen kullanıcılara dijital ödüller verilmiştir. Uygulama, hastanın gün boyunca kan şekeri ölçümünü düzenli olarak yapması durumunda Apple iTunes mağazasından ücretsiz şarkı, oyun ve diğer uygulamaları indirmek için bir kod üretmiştir. Ayrıca, ergenin test sonuçlarını ebeveynleri ve doktorlarıyla paylaşıp paylaşmadığı da kontrol edilmiştir. Aktarılan pilot çalışma sonuçlarında günlük glukoz ölçüm sıklığının önceki rutine göre yaklaşık %50 arttığı ve katılımcıların %88'inin uygulamadan memnun olduğu bildirilmiştir (Gustin, 2016). Bununla birlikte, bu bulgular öncelikle kullanıcı katılımı ve ölçüm davranışına ilişkin olup oyunlaştırmanın HbA1c veya uzun dönem metabolik kontrol üzerindeki etkisini tek başına göstermemektedir.

Yapay zekâ, oyunlaştırılmış uygulamaların kişiselleştirilmesinde ayrıca önemli bir rol üstlenebilir. Kullanıcının glukoz ölçümleri, insülin uygulamaları, öğünleri, fiziksel aktivitesi ve uygulama içindeki performansı analiz edilerek çocuğun gereksinimlerine uygun görevlerin seçilmesi, görev güçlüğünün uyarlanması ve zamanında bireyselleştirilmiş geri bildirim verilmesi sağlanabilir. Böylece oyunlaştırma, tüm kullanıcılara aynı görevleri sunan standart bir ödül sisteminden çıkarak çocuğun yaşına, gelişim düzeyine, bilgi eksikliklerine ve klinik gereksinimlerine uyarlanan dinamik bir eğitim yaklaşımına dönüşebilir. Ancak bu sistemlerin sağlık profesyonelleri tarafından denetlenmesi, veri güvenliği ilkelerine uygun olması ve çocuk ile ebeveynin ortak katılımını desteklemesi gerekmektedir.

Sohbet Robotları (Chatbotlar)

Sohbet robotları, kullanıcılarla doğal dil aracılığıyla etkileşim kurabilen ve sağlık eğitimi, bilgilendirme, psikososyal destek ve öz yönetimin desteklenmesi amacıyla kullanılabilen dijital konuşma sistemleridir (McGreevey et al., 2020). Yapay zekâ destekli sohbet robotları; kullanıcıların sorularına anlık yanıt verebilmesi, bilgiyi kolay anlaşılır biçimde sunabilmesi ve zaman ile mekân sınırlaması olmaksızın erişilebilir olması nedeniyle diyabet eğitiminde önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bu araçlar, diyabetli bireylerin ve ailelerinin hastalık yönetimine ilişkin bilgi gereksinimlerinin karşılanmasına ve öz yönetim süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlayabilir (Wu et al., 2024). Google Asistan ve ChatGPT, doğal dil veya sesli arayüzler aracılığıyla kullanıcılarla etkileşim kurabilen yaygın sohbet robotu örnekleri arasında yer almaktadır.

Pediatrik T1DM bağlamında yapay zekâ sohbet robotlarının eğitim amaçlı kullanımını değerlendiren bir çalışmada, GPT-4 tabanlı bir araca yeni tanı, hipoglisemi ve hipergliseminin tanınması ve yönetimi, glukometre ve insülin kullanımı ile güncel diyabet teknolojileri olmak üzere dört temel başlık altında sorular yöneltilmiştir. Sorular; pediatrik endokrinolog, pediatrik acil servis hekimi, diyabet eğitimcileri, araştırmacılar ve ebeveyn temsilcilerinden oluşan multidisipliner bir ekip tarafından hazırlanmış; chatbotun Fransızca ve İngilizce verdiği yanıtlar doğruluk, bütünlük ve rutin klinik eğitimle uyum açısından değerlendirilmiştir (Voiculescu et al., 2025). Çalışmada chatbotun insan-insan etkileşimine benzer bir konuşma tonu kullanması, açık ve maddeler hâlinde talimatlar vermesi, tıbbi jargondan kaçınması, kolay anlaşılır ve

çoğunlukla doğru yanıtlar sunması, 7/24 erişilebilir olması ve dil engeli yaşayan aileler için anında çeviri olanağı sağlaması güçlü yönler olarak belirtilmiştir. Ayrıca yanıtların çoğunda çocuğun sağlık profesyoneliyle iletişiminin sürdürülmesinin vurgulanması, güvenli yönlendirme açısından olumlu bir özellik olarak değerlendirilmiştir (Voiculescu et al., 2025). Bununla birlikte, aynı çalışmada önemli sınırlılıklar da belirlenmiştir. Chatbotun pediatrik hedef glukoz aralıklarına yeterince yer vermediği, hiperglisemi yönetiminde evde keton ölçümünden söz etmediği, hipoglisemi tedavisinde gerekli karbonhidrat miktarının çocuğun vücut ağırlığına ve kullandığı insülin tedavisine göre değişebileceğini açıklamadığı ve insülin pompalarında kullanılan insülin türüne ilişkin hatalı bilgi verdiği saptanmıştır (Voiculescu et al., 2025). Bu bulgular, genel amaçlı yapay zekâ sohbet robotlarının temel bilgiye hızlı erişim ve dil engellerinin azaltılması açısından yararlı olabileceğini; ancak pediatrik yaş, vücut ağırlığı, insülin rejimi ve kullanılan teknolojiye özgü klinik ayrıntıları her zaman doğru ve eksiksiz biçimde sunamayabileceğini göstermektedir.

Genel amaçlı sohbet robotlarından farklı olarak, T1DM'li adolesanların psikososyal gereksinimlerine yönelik özel olarak geliştirilen yapılandırılmış chatbotlar da bulunmaktadır. Bu uygulamalardan biri olan COMPASS, 12–16 yaş arasındaki T1DM'li adolesanlarda öz şefkat, baş etme becerileri, duygusal iyi oluş ve diyabet öz bakımını desteklemek amacıyla geliştirilmiştir. Kural tabanlı konuşma algoritması ve doğal dil işleme özelliklerini kullanan COMPASS; günlük duygu ve diyabet kontrolü, kısa öz şefkat etkinlikleri, meditasyon uygulamaları, bilgilendirici görseller ve T1DM ile yaşayan akranların deneyim videolarından oluşmaktadır. Sistem, kullanıcı ifadelerindeki duygusal tonu ve riskle ilişkili anahtar kelimeleri izlemekte; riskli durumların belirlenmesi hâlinde destek kaynakları sunmakta ve araştırma ekibini bilgilendiren güvenlik protokollerini devreye sokmaktadır (Boggiss et al., 2025). COMPASS'ın kullanılabilirliğini ve uygulanabilirliğini değerlendiren 12 haftalık, tek gruplu karma yöntemli çalışmaya 40 adolesan katılmış ve 32'si çalışmayı tamamlamıştır. Katılımcılar başlatılan modüllerin ortalama %95'ini tamamlamış, bunların %78'i uygulamayı diğer T1DM'li gençlere önerebileceğini belirtmiştir. Nitel bulgularda duygusal güvenlik ve destek, erişilebilirlik ve yeni baş etme becerilerinin öğrenilmesi öne çıkan olumlu yönler olarak öne çıkmıştır. İzlem sürecinde diyabet sıkıntısında azalma; dayanıklılık, öz yeterlilik, öz bakım davranışları, öz şefkat ve duygusal iyi oluşta olumlu yönde değişimler gözlenmiştir. Bununla birlikte çalışma bu sonuçların etkinliğini sınamak üzere güçlendirilmemiş, kontrol grubu kullanılmamış ve istatistiksel anlamlılık testi yapılmamıştır. HbA1c düzeyleri ise 12 haftalık izlemde büyük ölçüde değişmeden kalmıştır (Boggiss et al., 2025). Çalışmada adolesanlar chatbotun hızlı, kolay erişilebilir ve destekleyici yapısını olumlu değerlendirmiş; buna karşın yanıtların zaman zaman tekrarlayıcı, katı ve kişiselleştirmeden uzak olduğunu belirtmişlerdir. Katılımcılar daha serbest bir konuşma yapısı, bireyselleştirilmiş yanıtlar, diyabet kararlarını destekleyen ek işlevler, hatırlatmalar ve gerektiğinde bir sağlık profesyoneline bağlanma seçeneği önermiştir. Bu bulgular, chatbotların yalnızca bilgi sunan araçlar olmaktan çıkarak psikososyal desteği, öz bakım davranışlarını ve karar verme süreçlerini destekleyebilmeleri için esnek, kişiselleştirilmiş ve klinik olarak denetlenmiş biçimde tasarlanması gerektiğini göstermektedir (Boggiss et al., 2025).

Sonuç olarak yapay zekâ destekli sohbet robotları, T1DM'li çocuklar ve aileleri için temel bilgiye hızlı erişim, sık sorulan soruların yanıtlanması, dil engellerinin azaltılması ve psikososyal desteğin sürekliliğinin sağlanması açısından yararlı olabilir. Ancak bu araçlar, klinik karar verici veya sağlık profesyonelinin yerine geçen sistemler olarak değil; içeriği sağlık profesyonelleri tarafından doğrulanan ve yapılandırılmış diyabet eğitimini tamamlayan destekleyici uygulamalar olarak kullanılmalıdır. Özellikle insülin dozu, ağır hipoglisemi, keton yüksekliği, kusma ve diyabetik ketoasidoz riski gibi yüksek riskli durumlarda chatbot

yanıtlarına tek başına güvenilmemeli; çocuk ve ailesi doğrudan sağlık ekibine yönlendirilmelidir.

Telesağlık Uygulamaları

Dünya Sağlık Örgütü, teletıbbı mesafenin kritik bir faktör olduğu durumlarda sağlık hizmetlerinin bilgi ve iletişim teknolojileri aracılığıyla uzaktan sunulması olarak tanımlamaktadır (World Health Organization [WHO], 1997). Telesağlık, teletıbbı da kapsayan daha geniş bir kavram olup uzaktan klinik değerlendirme, izlem, danışmanlık, hasta ve tıp eğitimi ile sağlık hizmetlerinin koordinasyonunda kullanılan bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı uygulamaları içermektedir (World Health Organization [WHO], 2020). Diyabet öz yönetim eğitiminde telesağlık; telefon görüşmeleri, görüntülü görüşmeler, web tabanlı eğitim, kısa mesajlar, mobil uygulamalar ve bu yöntemlerin birlikte kullanıldığı çok bileşenli programlar aracılığıyla yürütülebilmektedir. Bu uygulamalar yüz yüze diyabet eğitiminin yerine geçmekten çok, eğitim sürekliliğini sağlamak, gereksinim anında desteğe erişimi kolaylaştırmak ve çocuk ile ailesinin sağlık ekibiyle iletişimini sürdürmek amacıyla tamamlayıcı olarak kullanılmaktadır (Sharma et al., 2024).

Telesağlık uygulamaları, sürekli glukoz izlem sistemleri, insülin pompaları ve akıllı insülin kalemleri gibi diyabet teknolojilerinin uzaktan tanıtılması, başlatılması ve kullanım sırasında karşılaşılan sorunların giderilmesi açısından da önem taşımaktadır. Sanal ortamda verilen diyabet teknolojisi eğitimlerinin, uygun hasta seçimi ve yapılandırılmış izlem sağlandığında yüz yüze eğitimle benzer metabolik sonuçlara katkıda bulunabileceği bildirilmektedir (TEMD, 2025). Web tabanlı veya görüntülü eğitim platformları aracılığıyla çocuk ve ailelere cihaz kurulumu, glukoz verilerinin yorumlanması, insülin uygulaması, karbonhidrat sayımı ve akut komplikasyonların yönetimi konusunda gerçek zamanlı destek sağlanabilmektedir. Telesağlık teknolojilerine ilişkin bir derlemede bu yaklaşımların eğitime erişimi genişletebildiği, tedaviye uyumu ve bazı klinik sonuçları iyileştirebildiği; buna karşın güvenilir internet erişimi, dijital okuryazarlık, veri güvenliği, sağlık personelinin teknik eğitimi ve uzun dönem etkinliğine ilişkin kanıt eksikliği gibi sınırlılıklar taşıdığı belirtilmiştir (Sharma et al., 2024).

Telehemşirelik, T1DM'li adolesanlarda eğitim ve izlemin sürekliliğini destekleyen önemli bir telesağlık uygulamasıdır. Avçin ve Açıkgöz'ün (2026) randomize kontrollü çalışmasında, 12–18 yaş arasında T1DM tanılı 67 adolesan müdahale ve kontrol gruplarına ayrılmıştır. Her iki gruba başlangıçta yüz yüze diyabet eğitimi verilmiş; müdahale grubundaki adolesanlar ve ebeveynleri altı ay boyunca eğitim ve izlem amaçlı telefon görüşmeleriyle desteklenmiştir. Telefon görüşmelerinde hipoglisemi ve hiperglisemi atakları, beslenme planına uyum, fiziksel aktivite, insülinin doğru zamanda ve doğru dozda uygulanması ve kan glukozunun düzenli ölçülmesi gibi öz yönetim alanları ele alınmıştır. Altı aylık izlem sonunda müdahale grubundaki adolesanların HbA1c, öz yeterlilik, yaşam kalitesi ve anksiyete düzeylerinin kontrol grubuna göre daha iyi olduğu belirlenmiştir (Avçin & Açıkgöz, 2026). Bu bulgular, yüz yüze eğitimin ardından sürdürülen yapılandırılmış telehemşirelik izleminin adolesanların metabolik ve psikososyal sonuçlarını destekleyebileceğini göstermektedir.

Bassi ve arkadaşları (2023), gelişmiş hibrit kapalı döngü sistemi kullanan çocuklar ve genç bireylerde telesağlık ve telehemşirelik hizmetlerine ilişkin memnuniyeti değerlendirmiştir. Çalışmaya katılan 136 kullanıcının %30,1'ine ilişkin anketler 12 yaşından küçük çocukların ebeveyn veya bakım vericileri tarafından doldurulmuştur. Katılımcıların %83,8'i telesağlık hizmetinin genel kalitesinden memnun olduğunu, %88,2'si görüşme öncesinde cihaz verilerini sağlık ekibiyle paylaştığını ve %85,3'ü veri paylaşımı, bağlantı ve kullanım kolaylığını içeren genel hizmet kalitesini olumlu değerlendirdiğini bildirmiştir. Sensör ve insülin infüzyon setinin ilk değişimi sırasında sunulan telehemşirelik desteği ise kullanıcıların yaklaşık %98'i tarafından etkili bulunmuştur. Ayrıca katılımcıların çoğu uzaktan görüşmelerin okul veya iş

kaybını ve yolculuk gereksinimini azaltarak zaman ve maliyet tasarrufu sağladığını belirtmiştir (Bassi et al., 2023). Bununla birlikte çalışma, klinik etkinliği değerlendiren deneysel bir araştırma değil, memnuniyet ve kullanılabilirlik odaklı kesitsel bir araştırmadır. Ayrıca örneklem 1–25 yaş aralığını kapsadığından, sonuçların yalnızca çocuklara genellenmesinde dikkatli olunmalıdır.

Telesağlık uygulamaları yalnızca çocuğun klinik öz yönetim becerilerine değil, ebeveynlerin psikososyal gereksinimlerine de yanıt verebilir. Küçük çocuklarda diyabet yönetiminin büyük ölçüde ebeveynler tarafından yürütülmesi nedeniyle hipoglisemi korkusu, sürekli tetikte olma ve diyabete bağlı sıkıntı ailelerin bakım davranışlarını etkileyebilmektedir. Patton ve arkadaşları (2026), 2–6 yaş arasında T1DM'li çocuğu olan ebeveynler için geliştirilen ve 10 görüntülü telesağlık oturumundan oluşan REDCHiP programını çok merkezli randomize kontrollü bir çalışmada değerlendirmiştir. Program, T1DM eğitimi ile bilişsel davranışçı terapi ve davranışsal ebeveyn eğitimi bileşenlerini bir araya getirerek ebeveynlerin hipoglisemi korkusunu ve sağlıksız kaçınma davranışlarını azaltmayı amaçlamıştır. Çalışmada hipoglisemi korkusu ve diyabet sıkıntısı her iki grupta zaman içinde azalmış; gruplar arasındaki fark hipoglisemi korkusu açısından anlamlı bulunmamıştır. Bununla birlikte REDCHiP grubundaki ebeveynlerin izlem boyunca klinik olarak yüksek diyabet sıkıntısı bildirme olasılığı kontrol grubuna göre daha düşük bulunmuştur. Çocukların HbA1c düzeylerinde ise anlamlı bir değişim saptanmamıştır (Patton et al., 2026). Bu sonuçlar, ebeveynlere yönelik telesağlık müdahalelerinin glisemik sonuçlardan çok psikososyal yükün ve diyabetle ilişkili sıkıntının azaltılması açısından katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Pediatrik diyabet bakımına ilişkin güncel bir sistematik derlemede de telesağlık platformları, dijital eğitim araçları ve uzaktan izlem uygulamalarının tedaviye katılımı, öz yönetimi ve bazı glisemik sonuçları destekleyebildiği bildirilmiştir. Bununla birlikte çalışmaların kısa izlem süreleri, küçük veya tek merkezli örneklemleri ve uzun dönem klinik doğrulama eksiklikleri, sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır (Valdespino-Saldaña et al., 2026). Bu nedenle telesağlığın etkinliği değerlendirilirken müdahalenin türü, yaş grubu, ebeveyn katılımı, kullanılan diyabet teknolojisi ve sağlık profesyoneli desteğinin niteliği birlikte ele alınmalıdır.

Sonuç olarak telesağlık uygulamaları, T1DM'li çocuk ve ailelerde eğitime erişimi artırma, diyabet teknolojilerinin kullanımını destekleme, uzaktan izlem ve geri bildirim sağlama, ebeveynlerin psikososyal gereksinimlerine yanıt verme ve bakım sürekliliğini güçlendirme açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, etkili bir tele-sağlık uygulamasının çocuğun gelişimsel düzeyine ve ailenin gereksinimlerine göre bireyselleştirilmesi, sağlık profesyonelleri tarafından yürütülmesi veya denetlenmesi, veri güvenliğinin sağlanması ve yüz yüze değerlendirme gerektiren klinik durumların açık biçimde tanımlanması gerekir. İnternet ve cihaz erişimindeki eşitsizlikler, dijital okuryazarlık farklılıkları, teknik sorunlar ve fiziksel muayenenin gerçekleştirilememesi telesağlığın başlıca sınırlılıklarıdır. Bu nedenle telesağlık, geleneksel diyabet bakımının alternatifi değil, çocuk ve aile merkezli bakımın erişimini ve sürekliliğini artıran tamamlayıcı bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir.

SONUÇ

Yapılan çalışmalar, teknoloji destekli diyabet öz yönetim çözümlerinin HbA1c düzeyini önemli ölçüde iyileştirdiğini, ancak en etkili sonuçların hiçbir teknolojiye tek başına güvenilmeyip hastayı ve sağlık ekibini iki yönlü iletişimle birbirine bağlayan, kişiye özel eğitim ve bireyselleştirilmiş geri bildirim sunan bütüncül yaklaşımlarla elde edildiğini göstermektedir (Cockcroft et al., 2024; Greenwood et al., 2017; Kotsani et al., 2018). T1DM'li çocuklarda bu yaklaşımların etkili olabilmesi için çocuğun yaşına ve bilişsel gelişim düzeyine uygun, oyunlaştırma unsurlarıyla desteklenmiş ve içeriği sağlık profesyonelleri tarafından denetlenmiş araçların kullanılması; ebeveynin sürece iş birliği içinde dâhil edilmesi -zira ebeveyn

katılımının adölesanların öz yeterliliğini ve yaşam kalitesini olumlu yönde etkilediği bilinmektedir (Özgüven Öztornacı et al., 2025)- ve pediatri hemşiresinin çocuğa ve aileye yapılandırılmış eğitim veren, tele-hemşirelik uygulamalarıyla süreci izleyen, önerilen dijital araçların güncel klinik kılavuzlarla uyumluluğunu denetleyen bir koordinatör rolü üstlenmesi gerekmektedir (Bakır et al., 2021; Kotsani et al., 2018; TEMD, 2025).

KAYNAKÇA

Al Ksir, K., Wood, D. L., Hasni, Y., Sahli, J., Quinn, M., & Ghardallou, M. (2022). Motivational interviewing to improve self-management in youth with type 1 diabetes: A randomized clinical trial. *Journal of Pediatric Nursing*, *66*, e116-e121. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2022.05.001

Alotaibi, M. M., Istepanian, R., & Philip, N. (2016). A mobile diabetes management and educational system for type-2 diabetics in Saudi Arabia (SAED). *mHealth*, *2*, 33.

Alsalman, D., Bu Ali, Z. M., Alnosaier, Z. F., Alotaibi, N. A., & Alanzi, T. M. (2020). Gamification for diabetes type 1 management: A review of the features of free apps in Google Play and App Stores. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, *13*, 425-432. https://doi.org/10.2147/jmdh.S249664

Årsand, E., Frøisland, D. H., Skrøvseth, S. O., Chomutare, T., Tatara, N., Hartvigsen, G., & Tufano, J. T. (2012). Mobile health applications to assist patients with diabetes: Lessons learned and design implications. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *6*(5), 1197-1206.

Asghari, N., Dashtebozorgi, B., Rostami, S., Ghanbari, S., & Riahi-Ghahfarokhi, K. (2023). Improving self-management and diabetes indicators in adolescents with type 1 diabetes through self-care education. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, *12*(10), 2322-2327. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_373_23

Avçin, E., & Açıkgöz, A. (2026). The effect of tele-nursing application on metabolic control, self-efficacy, quality of life and anxiety level in adolescents with type 1 diabetes: A randomized controlled trial. *Journal of Pediatric Nursing, 87*, 433–442. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2026.01.042

Ayar, D. (2016). *Web tabanlı diyabet eğitiminin tip 1 diabetes mellituslu adölesanların metabolik kontrolü, öz yeterliliği ve yaşam kalitesi üzerine etkisi* [Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi].

Bakır, E., Çavuşoğlu, H., & Mengen, E. (2021). Effects of the Information-Motivation-Behavioral Skills Model on metabolic control of adolescents with type 1 diabetes in Turkey: Randomized controlled study. *Journal of Pediatric Nursing*, *58*, e19-e27. https://doi.org/10.1016/j.pedn.2020.11.019

Bassi, M., Dufour, F., Strati, M. F., Franzone, D., Scalas, M., Lionetti, B., Spacco, G., Rizza, F., Sburlati, P., Casalini, E., Parodi, S., d'Annunzio, G., & Minuto, N. (2023). Advanced hybrid closed loop users' satisfaction of telemedicine and telenursing in pediatric and young adult type 1 diabetes. *Frontiers in Public Health, 11*, 1249299. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1249299

Bektas, H., Coskun, H. S., Arikan, F., Ozcan, K., Tekeli, A., Kondak, Y., Sezgin, M. G., Yangec, E., & Kalav, S. (2022). Development and evaluation of the efficacy of a web-based education program among cancer patients undergoing treatment with systemic chemotherapy: A randomized controlled trial. *Supportive Care in Cancer*, *30*(7), 6021-6033. https://doi.org/10.1007/s00520-022-07039-w

Boggiss, A. L., Babbott, K., Milford, Ā., Ellett, S., Consedine, N., Reid, S., Cao, N., Cavadino, A., Hopkins, S., Jefferies, C., de Bock, M., & Serlachius, A. (2025). The usability and feasibility

of a self-compassion chatbot (COMPASS) for youth living with type 1 diabetes. *Diabetic Medicine, 42*, e70115. https://doi.org/10.1111/dme.70115

Brady, T. J., Ledsky, R., Lafontant, B., & Baker, T. N. (2018). Marketing self-management education: Lessons on messaging and framing. *American Journal of Health Behavior*, *42*(5), 3-20. https://doi.org/10.5993/ajhb.42.5.1

Castano, L., & Eisenbarth, G. (1990). Type-I diabetes: A chronic autoimmune disease of human, mouse, and rat. *Annual Review of Immunology*, *8*(1), 647-679.

Cockcroft, E. J., Clarke, R., Dias, R. P., Lloyd, J., Mann, R. H., Narendran, P., Reburn, C., Smith, B., Smith, J. R., & Andrews, R. C. (2024). Effectiveness of educational and psychoeducational self-management interventions in children and adolescents with type 1 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Pediatric Diabetes*, *2024*(1), 2921845. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2024/2921845

Dündar, İ., Akıncı, A., Çamtosun, E., Kayaş, L., Çiftçi, N., & Özçetin, E. (2023). Type 1 diabetes incidence trends in a cohort of Turkish children and youth. *Turkish Archives of Pediatrics*, *58*(5), 539-545. https://doi.org/10.5152/TurkArchPediatr.2023.23036

Greenwood, D. A., Gee, P. M., Fatkin, K. J., & Peeples, M. (2017). A systematic review of reviews evaluating technology-enabled diabetes self-management education and support. *Journal of Diabetes Science and Technology*, *11*(5), 1015-1027. https://doi.org/10.1177/1932296817713506

Gregory, G. A., Robinson, T. I., Linklater, S. E., Wang, F., Colagiuri, S., de Beaufort, C., Donaghue, K. C., Harding, J. L., Wander, P. L., & Zhang, X. (2022). Global incidence, prevalence, and mortality of type 1 diabetes in 2021 with projection to 2040: A modelling study. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, *10*(10), 741-760.

Gustin, G. (2016). *Diabetes management through artificial intelligence and gamification: Blood glucose prediction models and mHealth design considerations* **[Master's thesis, Université Catholique de Louvain].**

Hamon, T., & Gagnayre, R. (2013). Improving knowledge of patient skills thanks to automatic analysis of online discussions. *Patient Education and Counseling*, *92*(2), 197-204.

Handelman, G. S., Kok, H. K., Chandra, R. V., Razavi, A. H., Lee, M. J., & Asadi, H. (2018). eDoctor: Machine learning and the future of medicine. *Journal of Internal Medicine*, *284*(6), 603-619. https://doi.org/10.1111/joim.12822

Hood, K. K., Rohan, J. M., Peterson, C. M., & Drotar, D. (2010). Interventions with adherence-promoting components in pediatric type 1 diabetes: Meta-analysis of their impact on glycemic control. *Diabetes Care*, *33*(7), 1658-1664.

Kebede, M. M., & Pischke, C. R. (2019). Popular diabetes apps and the impact of diabetes app use on self-care behaviour: A survey among the digital community of persons with diabetes on social media. *Frontiers in Endocrinology*, *10*, Article 135. https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00135

McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N., & Shannon, C. E. (2006). A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, *27*(4), 12-12.

McGreevey, J. D., III, Hanson, C. W., III, & Koppel, R. (2020). Conversational agents in health care—Reply. *JAMA*, *324*(23), 2444-2445. https://doi.org/10.1001/jama.2020.21518

Novak, D. (2023). *MyDiabetic, a serious game to support children's education in diabetes mellitus I: Iterative participatory co-design and feasibility study* **[Preprint]. JMIR Preprints.** https://doi.org/10.2196/preprints.49478

Özgüven Öztornacı, B., Ardahan Akgül, E., Yanar, N., Akyol, S., Yetim, P., Baş, G., Yıldırım Sarı, H., & Dündar, B. N. (2025). The effect of parental collaboration on diabetes self-efficacy,

quality of life and HbA1c level in adolescents diagnosed with type 1 diabetes. *Journal of Clinical Research in Pediatric Endocrinology*, *17*(2), 176-184. https://doi.org/10.4274/jcrpe.galenos.2024.2024-4-7

Patton, S. R., Kahhan, N., O'Donnell, H., Williams, D. D., Clements, M., & Driscoll, K. (2026). Supporting parents of young children with type 1 diabetes through telehealth: Randomized controlled trial of the Reducing Emotional Distress for Childhood Hypoglycemia in Parents intervention. *JMIR Pediatrics and Parenting, 9***, e86616. https://doi.org/10.2196/86616**

Rosta, L., Menyhart, A., Mahmeed, W. A., Al-Rasadi, K., Al-Alawi, K., Banach, M., Banerjee, Y., Ceriello, A., Cesur, M., Cosentino, F., Firenze, A., Galia, M., Goh, S.-Y., Janez, A., Kalra, S., Kapoor, N., Lessan, N., Lotufo, P., Papanas, N., . . . Rizzo, M. (2023). Telemedicine for diabetes management during COVID-19: What we have learnt, what and how to implement. *Frontiers in Endocrinology*, *14*, Article 1129793. https://doi.org/10.3389/fendo.2023.1129793

Sacks, D. B., Arnold, M., Bakris, G. L., Bruns, D. E., Horvath, A. R., Lernmark, Å., Metzger, B. E., Nathan, D. M., & Kirkman, M. S. (2023). Guidelines and recommendations for laboratory analysis in the diagnosis and management of diabetes mellitus. *Clinical Chemistry*, *69*(8), 808-868. https://doi.org/10.1093/clinchem/hvad080

Santonocito, S., Cicciù, M., & Ronsivalle, V. (2025). Evaluation of the impact of AI-based chatbot on orthodontic patient education: A preliminary randomised controlled trial. *Clinical Oral Investigations*, *29*(5), Article 278. https://doi.org/10.1007/s00784-025-06356-8

Sardi, L., Idri, A., & Fernández-Alemán, J. L. (2017). A systematic review of gamification in e-Health. *Journal of Biomedical Informatics*, *71*, 31-48. https://doi.org/10.1016/j.jbi.2017.05.011

Sharma, V., Feldman, M., & Sharma, R. (2024). Telehealth technologies in diabetes self-management and education. *Journal of Diabetes Science and Technology, 18*(1), 148–158. https://doi.org/10.1177/19322968221093078

TEMD. (2025). *Diyabet teknolojileri kılavuzu*. TEMD Yayınları. https://file.temd.org.tr/Uploads/publications/guides/documents/temd-diyabetteknolojilerikilavuzu-2025.pdf

Tyler, N. S., & Jacobs, P. G. (2020). Artificial intelligence in decision support systems for type 1 diabetes. *Sensors*, *20*(11). https://doi.org/10.3390/s20113214

Valdespino-Saldaña, E., Altamirano-Bustamante, N. F., Calzada-León, R., Revilla-Monsalve, C., & Altamirano-Bustamante, M. M. (2026). Artificial intelligence-driven transformation of pediatric diabetes care: A systematic review and epistemic meta-analysis of diagnostic, therapeutic, and self-management applications. *International Journal of Molecular Sciences, 27***(2), 802.** https://doi.org/10.3390/ijms27020802

Voiculescu, F., Darvasi, P., Osmanlliu, E., Krishnamoorthy, P., & Makri, A. (2025). Natural language AI models and pediatric type 1 diabetes: Can chatbots help with diabetes self-management and patient education? *JMIR Diabetes*, *10*, e76986. https://doi.org/10.2196/76986

World Health Organization. (1997). *A health telematics policy in support of WHO's health-for-all strategy for global health development: Report of the WHO Group Consultation on Health Telematics, Geneva, 1997*. World Health Organization.

World Health Organization. (2020). *Implementing telemedicine services during COVID-19: Guiding principles and considerations for a stepwise approach*. World Health Organization Regional Office for the Western Pacific.

Wu, Y., Zhang, J., Ge, P., Duan, T., Zhou, J., Wu, Y., Zhang, Y., Liu, S., Liu, X., & Wan, E. (2024). Application of chatbots to help patients self-manage diabetes: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, *26*, e60380.

Yeşilkaya, E., Cinaz, P., Andıran, N., Bideci, A., Hatun, Ş., Sarı, E., Türker, T., Akgül, Ö., Saldır, M., Kılıçaslan, H., Açıkel, C., & Craig, M. E. (2017). First report on the nationwide incidence and prevalence of Type 1 diabetes among children in Turkey. *Diabetic Medicine*, *34*(3), 405-410. https://doi.org/10.1111/dme.13063

Yu, K.-H., Beam, A. L., & Kohane, I. S. (2018). Artificial intelligence in healthcare. *Nature Biomedical Engineering*, *2*(10), 719-731.

TASARIM ALANINDA 3 BOYUTLU GÖRSELLEŞTİRMENİN POST-TRUTH ÇAĞINDAKİ YERİ VE ÖNEMİ

Doç. Dr. Mehmet Sinan YUM
Fenerbahçe Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Bölümü
ORCID: 0000-0002-0869-2967

ÖZET
Tasarım sanata yakın duran bir alandır hatta tasarımla sanat iç içe iki konudur. Toplumsal açıdan farklı bağlamlarda kullanılan Post-Truth kavramının tasarım alanında kullanılabileceği biçimlerden bir tanesi de sanal görselleştirmeyle ilgilidir. Güncel olarak tasarım, sanat, reklam, sinema, inşaat ve kozmetik sektörlerinde 3 boyutlu görselleştirme teknikleri kullanılmaktadır. Post-Truth çağında 'render' olarak tabir edilen 3B görselleştirme teknikleri, algısal olarak kullanıcı deneyimini artıran video ve resim formatında görsel içerikler oluşturmaktadır. Tasarımların sunulduğu görsellerdeki dünyanın vaat ettiği deneyimin yaşanan gerçek deneyimle örtüşmemesi, ürünlerin sanki özenilen hayat stillerine kullanıcıları ulaştıracağı algısının yanlışlığı, yaratılan duygusal çekicilik ile kişisel kanaatlerin oluşturduğu manipülasyon incelenmesi gereken bir konudur. Tasarım alanlarında kullanılan sanal görüntülerin vaat ettiği etkileşimle, üretimin ortaya çıkması sonucunda oluşan etkileşim aynı seviyede kullanıcı deneyimi oluşturamamaktadır. Bu durum render teknikleri aracılığıyla toplumsal ve sosyolojik görsel algı yönetimi açısından önem taşımaktadır. Render üretimin yarattığı fikir ne karar derin olmalıdır? Fotorealistik bir görüntünün gerçekten ne kadar uzaklaşma hakkı vardır? gibi sorular sorulmalıdır.
Çalışmada Radiocity, Ray Tracing gibi render tiplerinin yarattığı görsel algının incelenmesi sonucunda 3B görselleştirmenin yarattığı manipülatif etkinin açıklanması hedeflenmektedir. Nihayetinde render teknolojilerinin öznel dokunuşlarla şekillendirilen nitelikleri sonucunda ortaya koyulan üretimlerin nesnel olduğunun söylenebilmesi şüphelidir. Sanal bir kurguyla yapboz bir hikâye anlatımı yapan render üretimler aslında olmayan bir düzenle ilgili algı yaratarak, tasarımcının öznel seçimleri ekseninde nesnel bir duygu oluşturmayı ve sempati toplamayı hedeflemektedir. Kişisel uzmanlık alanlarıyla konuyu ilişkilendirerek değerlendiren yazar, Post-Truth kavramını, bilgisayar görselleriyle yaratılan duygunun gerçek üretimle sanal üretim arasındaki benzerlik ve farklılıkların belirlenmesi amacıyla ele almaktadır. Bu bağlamda çalışma anahtar kelimelerle ilişki içinde literatür sunmanın yanı sıra sunulan vaka çalışmalarıyla Post-Truth çağının 1960'lar fotorealizmine çağrışım yaptığı tartışılabilecek çağdaş fotorealistik görselleştirme alanındaki etkilerinin belirlenmesini kapsamaktadır.
Anahtar Kelimeler: 3B Görselleştirme ve Render, 3B Modelleme, Foto Realizm, Post-Truth, Tasarım.

THE PLACE AND IMPORTANCE OF 3D VISUALIZATION IN DESIGN IN THE POST-TRUTH ERA

ABSTRACT
Design is a field that is close to art, even design and art are two intertwined subjects. One of the ways in which the concept of Post-Truth, which is used in different social contexts, can be used in the field of design is related to virtual visualization. Currently, 3D visualization techniques are used in design, art, advertising, cinema, construction and cosmetics sectors. In the Post-Truth era, 3D visualization techniques, called 'rendering', create visual content in video and image formats that perceptually increase the user experience. The fact that the experience promised by the world in the visuals in which the designs are presented does not coincide with

the real experience, the false perception that the products will bring the users to the desired lifestyles, the emotional appeal created and the manipulation created by personal opinions are issues that need to be examined. The interaction promised by the virtual images used in design areas and the interaction resulting from the emergence of production cannot create the same level of user experience. This situation is important in terms of social and sociological visual perception management through rendering techniques. What decision should deepen the idea created by rendering? How far away does a photorealistic image have from reality? such questions should be asked.
In the study, it is aimed to explain the manipulative effect created by 3d visualization as a result of examining the visual perception created by render types such as Radiocity and Ray Tracing. Ultimately, it is doubtful that the productions produced as a result of the subjective touches of the rendering technologies can be said to be objective. Render productions that make a jigsaw storytelling with a virtual fiction create a perception about an order that does not actually exist, aiming to create an objective feeling and attract sympathy on the axis of the designer's subjective choices. Evaluating the subject by associating it with his personal areas of expertise, the author deals with the concept of Post-Truth in order to determine the similarities and differences between real production and virtual production of the emotion created by computer visuals. In this context, the study includes not only presenting literature in relation to keywords, but also identifying the effects of the Post-Truth era in the field of contemporary photorealistic visualization, which can be argued to evoke 1960s photorealism with the presented case studies.
Keywords: 3D Modelling, 3D Visualization & Render, Design, Photo Realism, Post-Truth.

Giriş

Güncel olarak 3 boyutlu görselleştirme teknikleri, tasarım, sanat, reklam, sinema, inşaat ve kozmetik gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Post-Truth (gerçeklik-sonrası) çağında ‘render’ olarak tabir edilen 3 boyutlu (3B) görselleştirme teknikleri, algısal olarak kullanıcı deneyimini artıran video ve resim formatında görsel içerikler oluşturmaktadır. Tasarımların sunulduğu görsellerdeki dünyanın vaat ettiği deneyimin yaşanan gerçek deneyimle örtüşmemesi, ürünlerin sanki özenilen hayat stillerine kullanıcıları ulaştıracağı algısının yanlışlığı, yaratılan duygusal çekicilik ile kişisel kanaatlerin oluşturduğu manipülasyon incelenmesi gereken bir konudur. Çalışmada, yaratıcı disiplinlerde post-truth kavramı tasarım alanı özelinde gerçeklik-sonrası şeklinde ele alınmaktadır. Kavram duygu, hiper-gerçeklik ve dijital simülasyonun nesnel olguların önüne geçtiği bir çağda, tasarımın gerçeklik algısını nasıl inşa ettiğini, manipüle ettiğini veya nasıl meydan okuduğunu ifade etmektedir. Geleneksel modern Louis Sullivan’ın dediği gibi "biçim işlevi takip eder" ilkesine veya yapısal dürüstlüğe bağlı kalmak yerine; gerçeklik-sonrası tasarım, kurguyu, duygusal kurgulamayı ve aşırı stilize edilmiş anlatıları benimsemektedir.

Tasarımcılar bu değişimi iki zıt yaklaşımla ele alırlar. Tüketici arzularını yönlendirmek amacıyla gerçeklik-sonrası taktiklerinden yararlanmak veya medya manipülasyonunu açığa çıkarmak ve çürütmek için eleştirel tasarımı kullanmak. 3B teknolojileri, karmaşık kavramları ve süreçleri daha anlaşılır hale getirmektedir. Özellikle mühendislik, mimarlık ve tasarım alanlarında, 3B modelleme araçları öğrencilerin teorik bilgileri somut bir biçimde görselleştirmelerine olanak tanımaktadır. Örneğin, bir tasarım öğrencisi, bir makinenin tüm bileşenlerini ve çalışma prensiplerini 3B modelleme yazılımları sayesinde detaylı bir şekilde görebilir ve anlayabilir. 3B teknolojileri, öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını teşvik ederler. Etkileşimli 3B uygulamalar, öğrencilerin öğrenme materyalleriyle etkileşime geçmelerini sağlarlar. Örneğin, bir biyoloji dersi sırasında öğrenciler, 3B modeller aracılığıyla insan vücudunun iç yapılarını keşfedebilirler. Bu tür uygulamalar, öğrencilerin daha derin bir

anlayış geliştirmelerine ve öğrenme materyallerine daha fazla ilgi göstermelerine yardımcı olmaktadır (Wilson, 2018).

Post-truth yaklaşımın en belirgin özelliklerinin başında bireysel duygu ve düşüncelerin kamuoyunu (consensus) şekillendirmede objektiviteden ve nesnellikten daha baskın olması gelmektedir. Render görselleştirmelerinin duygu uyandırma ve fikir oluşturma özelliklerinin Post-truth yaklaşımlarla örtüşmesinin oluşturduğu deneyimin akademik olarak incelenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda çalışma tasarım odaklı görselleştirme konusunu post-truth kapsamında ele alarak tasarım sektöründe kullanılan bilgisayar teknolojilerini mevcut tekniklerle ilişkilendirerek açıklamaktadır. Bu sebeple post-truth yaklaşımlarının tasarım alanında varoluşu adına etkinliği değerlendirilebilecek tekniklerin başında bilgisayarda görselleştirme tekniği olarak 'render' almak veya yapmak olgusunun açıklanması gerekmektedir. Çalışma daha önce sunulan özet bildirinin genişletilmiş versiyonudur.

1.RENDER TEKNİKLERİ

Render yapmak veya almak, farklı yazılımlar aracılığıyla oluşturulan 3 boyutlu modelden fotorealistik görüntü yaratma işlemidir. Bilgisayar ortamında oluşturulan gerçeğe en yakın görüntülere 'Render' adı verilir (Pharr vd., 2023; Akenine-Möller vd., 2018). Tasarımda model kavramı, kesin olarak tanımlanmış bir veri yapısında üç boyutlu nesnelerin gerçekleşmiş halidir (Foley vd., 1996). Render yapmak, üç boyutlu bilgisayar grafiklerinin ana alt konularından biridir ve pratikte her zaman diğerleriyle bağlantılıdır (Shirley vd., 2019). Modellere ve animasyonlara son görünümü veren bitiş adımıdır. 1970'lerden bu yana bilgisayar grafiklerinin artan karmaşıklığı ile daha farklı bir konu haline gelmiştir. Fotorealistik görselleştirme olarak da tanımlanan render; farklı özellikte bilgisayar ve video oyunlarında, simülatörlerde, filmler veya özel efektli görselleştirme ürünleri gibi çok çeşitli alanlarda kullanılır (Akenine-Möller vd., 2018). Aynı zamanda render almak, 3B boyutlu modelleme üretimlerinin fotogerçekçi biçimde sunulmasını tanımlamaktadır. Bu kapsamda farklı modeller ve render teknolojileri bulunmaktadır. Değişken tekniklerin arasındaki temel farklılıkların render yapılan modelin doğasına ve tasarım yaklaşımına bağlı olarak açıklanması gerekmektedir (Pharr vd., 2023). Bilgisayar yardımıyla çizilen ya da geliştirilen bir modelin render motoru denilen bilgisayar yazılımları aracılığıyla işlenmesi sonucunda resim veya video halinden nihai ürün oluşmaktadır. Render alma kelimesi İngilizce 'rendering' kelimesinden türetilmiştir ve render işlemini gerçekleştirilen yazılımların tümüne 'renderer' denilmektedir (Foley vd., 1996). Render'ın nasıl ortaya çıktığını anlamak için görselleştirmenin tarihçesine bakılması gerekir ki buradaki en önemli keşif Rönesans döneminde perspektifin keşfidir (Panofsky, 1991). Üç boyutlu bir çözümlemeye yarayan bu durum sanatçılar ve mimarların zaten arayışta olduğu bir kapıyı aralamıştır. Perspektif sayesinde derinlik ve mekân algısı önem kazanmış, mimarlar tasarımlarını gerçekçi hale getirebilecek ve karşısındakine anlatabilecek bir dil bulmuştur. Daha sonrasında bu durum heykeller, eskizler ve el çizimleriyle desteklenmiştir (Panofsky, 1991).

Render yani yaygın tabiriyle 3B görselleştirme; yazılımlar aracılığıyla bir mimari yapı, ürün veya video oyunları gibi çeşitli sahnelerin modelinden 2 veya 3 boyutlu gerçekçi görüntülerin oluşturulmasına yapılan sektörel tanımdır (Shirley vd., 2019). Bu bağlamda render, çoğunlukla mimari proje tasarımlarında, video oyunlarında ve animasyon filmlerde, simülatörlerde, dizi-film yapımlarında ve tasarımların görselleştirilmesinde kullanılmaktadır (Akenine-Möller vd., 2018). Projelerin ilk ayağı sunulması istenen sahnenin modellenmesidir ve bu çerçevede çeşitli modelleme programları kullanılarak projenin ham kütlesel çizimine ulaşılır. 3B çizim veya 3B modelleme olarak da tabir edilen kalıplar bu süreci ifade eder (Foley vd., 1996). 3B mimari görselleştirme için ilk aşama 2 boyutlu mimari proje çizimlerinden; yani plan, kesit ve görünüş gibi teknik çizimler üzerinden yapının 3 boyutlu olarak modellenmesi şeklindedir. 3B modelleme işlemi tamamlandıktan sonra ise söz konusu bu 3 boyutlu model için render, yani

realisttik 3B görselleştirme aşamasına geçilir. Render alabilmek için bir 3B render motoruna ihtiyaç bulunmaktadır. Render motorları çeşitli firmalar tarafından üretilen, gerçek dünyadaki ışık hesaplamasını objelerin üzerindeki yansımaları ve etkileri ile ortaya koyarak fotorealistik (gerçekçi) 3 boyutlu görsel çıktıları elde edilmesini sağlayan yazılımlardır (Pharr vd., 2023). Bu noktada birçok farklı 3B render motoru yani ham modeli gerçekçi görsele ulaştırmaya yarayan çeşitli firmalara ait ücretli yazılımlar mevcuttur. Kullanılan 3B yazılım, kullanım teknikleri ve özellikleri projeye göre değişmekle birlikte, mimari projeler için kullanılan 3B render yazılımları da her görselleştirme uzmanı veya 3 boyutlu görselleştirme sanatçısına (CG artist) göre değişkenlik gösterebilmektedir. Hatta öyle ki, 3B görselleştirme uzmanları için de her projenin ayrıntı düzeyine ve render beklentisine göre bireysel çalışma süreçleri içerisinde farklı 3B render motorları kullanılması gerekebilmektedir (Akenine-Möller vd., 2018).

1.1.Render Tipleri

Tasarım yaparken her ne kadar model içinde çeşitli materyaller, ışık, obje gibi seçenekler yer alsa da bunlar elde edilmek istenen gerçekçi görüntüyü her zaman sağlayamamaktadır. Render işlemi sayesinde görüntü yüksek kaliteli bir hale gelerek çıktı olarak elde edilmesi mümkündür (Pharr vd., 2023; Shirley vd., 2019). Render alınma aşaması 3B modelleme yazılımlarında temel prensipler olan, modelleme, kaplama, ışık ve ayarlardan sonra Render işlemi bir bilgisayar yazılımı aracılığıyla yani bir render motoru yardımıyla yapılmaktadır (Foley vd., 1996). Halihazırda çeşitli render motorları bulunmaktadır ancak genel olarak bakıldığında hepsi aynı işlemi yapmaktadır. Burada önemli olan modelin kalitesini, kaplamaların kalitesini, ışık ve render motoru içindeki ayarların istenilen etkiyi verecek şekilde gerçeğe en yakın şekilde oluşturulmasıdır (Akenine-Möller vd., 2018). Render motorları hem işlemci üzerinden (CPU) aynı zamanda ekran kartı üzerinden (GPU) üzerinden işlem yapmaktadır (Akenine-Möller vd., 2018). Son zamanlarda her iki işlem birimini kullanan render motorları da sektörde kullanılmaya başlanmıştır (Pharr vd., 2023). Render alma ‘Ön İşleme’ ve ‘Gerçek Zamanlı İşleme’ olarak ikiye ayrılır. Bu iki türün arasındaki en büyük fark ise hesaplama ve son görüntünün oluşturulmasındaki süre ve hızdır (Akenine-Möller vd., 2018). Real-Time Rendering yani ‘Gerçek Zamanlı İşleme’ özelliğine sahip render motorları kullanıcının etkileşimin yüksek olduğu görüntülerin çok hızlı oluşturulmasının istediği durumlarda kullanılır (Akenine-Möller vd., 2018). Pre-Rendering yani ‘Ön İşleme’ özelliğine sahip render motorları sahnelerde hızın önemli olmadığı ortamlarda kullanılır ve bilgisayarın grafik kartı yerine çok merkezi çekirdek işleme üniteleri kullanmaktadır (Shirley vd., 2019). Pre-Rendering işlemi, daha çok görsel gerçekliğin ön planda olduğu, animasyon ve görsel efekt uygulamalarında tercih edilmektedir (Pharr vd., 2023).

Tasarımcılar, mühendisler ve mimarlar tasarladığı ürün ve hizmetleri alıcıların beğenisine sunmak, onaylatmak, ürünlerinin anlaşılmasını sağlamak gibi sebeplerle gerçekçi görüntülerini oluşturmayı hedeflerler (Ulrich ve Eppinger, 2016). Tasarımcılar ürünlerin fotogerçekçi görselleştirmelerini oluşturmak için çeşitli araçlar kullanırlar. Fotogerçekçi görüntüler aynı zamanda ürünlerin yüksek kaliteli fotoğraf makinası ile çekilmiş profesyonel fotoğraflar benzeri bir fikir yaratmaktadır (Shirley vd., 2019). Render görüntüleri ürün ve fikirleri pazarlamaya yönelik olduğu gibi ürünlerin kullanımını, montajı, malzeme detayları gibi konularda da kolaylık sağlarlar (Ulrich ve Eppinger, 2016). Render oluşturmanın birçok farklı yolu mevcuttur. Bazı render programları modelleme ve animasyon programlarına entegre edilmiştir, bazıları ise bağımsızdır, bazıları ücretsiz açık kaynaklı projelerdir. Render oluşturma sürecinde arka planda; fiziksel ışık kaynak oluşturucu, görsel algılama ögeleri, matematik ve yazılım geliştirme ile ilgili çok farklı disiplinlerden oluşan bir yazılım vardır (Pharr vd., 2023). Üç boyutlu grafikler söz konusu olduğunda, yeni görseller oluşturma işlemi yavaş veya gerçek zamanlı olarak yapılabilir (Akenine-Möller vd., 2018). Görüntü işlemede çeşitli yöntemler

vardır, bunlar ön işleme ve gerçek zamanlı işlemedir. Ön işleme genellikle film oluşturmak için kullanılır, hesaplama açısından yoğun bir işlemdir (Shirley vd., 2019). Gerçek zamanlı oluşturma ise genellikle 3 boyutlu donanım hızlandırıcılarla grafik kartlarının kullanımına dayanan 3 boyutlu video oyunları için yapılır (Akenine-Möller vd., 2018). Üç boyutlu görselleştirme programları ile grafik tasarımcılar ve medya geliştiricileri, üç boyutlu modelleme programlarından içe aktarılan farklı nesne ve karakterleri grafik olarak uygun bir yerleşim içine ekleyebilirler. Üç boyut oluşturma yazılımları, daha sonra video oyunlarında, filmlerde, televizyon programlarında veya diğer medyalarda kullanılmak üzere bazı animasyon araçlarını içerebilir veya sahneleri canlandırmak için animasyon yazılımıyla entegre olabilir (Foley vd., 1996). Ayrıca, sahnelere derinlik ve gerçekçilik katabilecek aydınlatma ve doku oluşturma gibi özelliklere de sahip olabilirler (Pharr vd., 2023). Eğlence, otomotiv, mimari, reklamcılık ve web tasarımı endüstrilerindeki görselleştirme sanatçıları, medyada veya müşteri katılımı amaçlarıyla kullanılmak üzere gerçekçi sahneler oluşturmak için bu araçları kullanır (Shirley vd., 2019). Yazılımın üç boyutlu modelleme kategorisinde olması için aşağıdaki özellikleri sağlaması gereklidir. Ortamları canlandırmak için aydınlatma, doku oluşturma ve rüzgâr efektleri gibi özellikler sunmalıdır (Akenine-Möller vd., 2018).

1.2.Render Motorları

Bir tasarımı gerçekleştirmeden taslak halinde kurgulayıp daha sonra render almak tasarım sürecini büyük ölçüde kolaylaştırmaktadır. Bu alanda en çok kullanılan render motorlarına aşağıda sunulmakta ve açıklanmaktadır.

a) V-Ray, En yaygın ve bilinen render motorudur. Kaynak açısından çok zengindir. 1997'de Bulgaristan'da Chaosgroup tarafından kurulmuştur. Arayüzü diğer programlara göre daha karmaşıktır. SketchUp, 3Bs Max, Maya gibi birçok 3B yazılımlarla uyumludur.
b) Corona, 2009'da Prag'da bir öğrenci projesi olarak geliştirilmiştir. 2017'de büyüyen proje şirket adı altında Chaosgroup'un bir parçası olmuştur. Arayüzü diğer programlara göre daha anlaşılırdır. Lightmix özelliğiyle render bittikten sonra da ışık ayarı yapılabilir. En iyi 3ds Max yazılımı ile uyumludur.
c) Lumion, Hızlı ve öğrenimi kolay oldukça dinamik bir render yazılımıdır. Peyzaj elemanları oldukça fazladır. İçerisindeki birçok modelleme aracılığıyla ormandan büyük şehirlere birçok alan oluşturulabilir.
d) Mental Ray render motoru Autodesk firması programlarında yüklü gelmektedir. Cinema 4D için Octane, Redshift, Indigo, Keyshot ve daha birçok render motoru mevcuttur.

Render almak 3B görselleştirmenin final bölümüdür (Pharr vd., 2023). Render işlemi başlatıldığı zaman algoritmik hesaplamalar başlayarak görseli yavaş yavaş işlemeye ve göstermeye başlamaktadır (Akenine-Möller vd., 2018). Render işlemi saatler veya günler sürebilir, gereken süre istenilen resmin büyüklüğüne, sahnelerde olan objelere ve kullanılan bilgisayara bağlıdır zira render işlemi kullanılan bilgisayarın tüm gücünü kullanmaktadır (Shirley vd., 2019). Bilgisayarın işlemcisi ne kadar güçlü ise render o kadar çabuk bitecektir (Akenine-Möller vd., 2018). Büyük ve karmaşık projelerde render işlemi için tek bir bilgisayar kullanılması zordur. Özellikle 3B Animasyon renderi alırken 'Render Farm' diye adlandırılan makine toplulukları kullanılmaktadır (Pharr vd., 2023). Bilgisayar programında çizilen modelin her ne kadar ışık, materyal özelliklerini işlense de render işlemi sonrasında ışık, materyal, sahne ayarlarıyla birlikte çizim daha gerçekçi bir boyut kazanarak yüksek kaliteli bir hale gelebilmektedir (Foley vd., 1996). Render alma işlemi bilgisayar için ağır bir işlemdir. Bunun için bilgisayarın iyi bir donanıma sahip olması gerekir. Performansı belirleyen üç ana bileşen vardır. Bunlar: İşlemci (CPU), hafıza (RAM) ve ekran kartıdır (Akenine-Möller vd., 2018).

İşlemci, ekran kartı ve ram ne kadar güçlüyse render alma süresi o kadar kısalacaktır (Pharr vd., 2023). Model üzerinde ışık ve dokuların gerçekçi görünmesini sağlayan ve karmaşık bir sahnede ekran döndüğünde takılma ve donmaları engelleyen kısım ekran kartıdır (Shirley vd., 2019). Yüksek ram, render süresini kısaltır. Çünkü çizime atanan her renk, doku ve materyali ram hafızasında tutar ve bu bilgilerin daha hızlı alınmasını sağlamaktadır (Akenine-Möller vd., 2018).

2.3B MODELLEME TEKNİKLERİ

Geçmişten bugüne birçok görüntü işleme algoritması tasarlanmıştır (Foley vd., 1996; Akenine-Möller vd., 2018). Görüntü işlemeleri için kullanılan yazılımlar, son görüntüyü elde etmek için bir dizi farklı teknik kullanabilir (Pharr vd., 2023). Örneğin, bir sahnedeki her ışık ışınının izini sürmek pratik olmaz ve çok yüksek oranda zaman alır (Glassner, 1989; Pharr vd., 2023). Bu yüzden verimli modelleme tekniklerinde 4 ana farklı teknik üretilmiştir. Bu teknikler rasterization, ray casting, ray tracing, radiosity'dir ve aşağıda açıklanmaktadır.

a) Rasterization: tarama çizgisi oluşturma anlamına gelen 'rasterization', sahnedeki nesneleri dikkate alır ve bir bakış açısı perspektif efekti oluşturma olanağı olmadan onları bir görüntü oluşturacak şekilde yansıtır. Bu yöntem mevcut tüm grafik kartları tarafından kullanılmaktadır (Akenine-Möller vd., 2018).
b) Ray casting (ışın dökümü): sahneyi belirli bir bakış açısından gözlemlendiğini hesaba katarak görsel oluşturur. Gözlemlenen görüntüyü yalnızca geometriye ve yansıma yoğunluğunun çok temel optik yasalarına dayalı olarak hesaplar. Işın dökümünde geometri modeli, sanki ışınları bakış açısından dışarı döküyormuş gibi, bakış açısından dışa doğru, piksel piksel, satır satır ayrıştırılır (Glassner, 1989; Foley vd., 1996).
c) Radiosity: ışığın yüzeylerden dağınık yayılmasını simüle etmek için sonlu elemanlar matematiğini kullanmaktadır (Cohen ve Wallace, 1993). Bu teknik genellikle bir oluşturma tekniği olarak uygulanmaz, bunun yerine ışık kaynağından çıkarken ışığın geçişini hesaplar ve genellikle diğer üç teknikten birini kullanarak ekrana getirilen yüzeyleri aydınlatır. Bu teknikler, renk ayrıntılarını bulmak için alanı daha küçük alana böler, böylece işlem yavaş olur, ancak ortaya çıkan görselleştirme düzgün ve pürüzsüzdür. Radiosity, bir nesnenin nihai sonucu için daha kesin olarak kullanılır (Cohen ve Wallace, 1993).
d) Ray tracing (ışın izleme): ışın dökümüne benzer, ancak daha gelişmiş optik simülasyon kullanır ve genellikle daha yavaş bir hızda daha gerçekçi sonuçlar elde etmeye çalışır (Whitted, 1980; Pharr vd., 2023). Işığın yolunu bir görüntü düzleminde pikseller olarak izler ve her bir ışık ışınının gözden başlangıç noktasına ters yönde izlediği yolu yeniden üretir. İşlem, tüm pikseller oluşana kadar tekrarlanmaya devam edecektir. Bu teknik, sahne içindeki noktalardan yansıma, kırılma veya gölge efektlerini içerir. En gelişmiş yazılımlar, uygun maliyetlerle yeterince iyi sonuçlar elde etmek için iki veya daha fazla tekniği birleştirir (Akenine-Möller vd., 2018; Pharr vd., 2023).

Aşağıdaki bölümde 3B modellemeyle ilgili kategoriler ve yazılımlar sunulmakta ve açıklanmaktadır.

2.1.Modelleme Kategorileri ve Yazılımları

3 boyutlu modelleme (3B), bir nesnenin veya yüzeyin dijital ortamda üç boyutlu bir temsilinin yaratılması sürecidir (Foley vd., 1996; Farin, 2002). Bu süreçte nesneler genellikle genişlik, yükseklik ve derinlik gibi üç temel boyutta temsil edilir. 3B modelleme, oyun tasarımı, film endüstrisi, mühendislik, mimari, tıp ve eğitim gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Shirley vd., 2019; Zeid, 2005). Teknolojinin temeli, bir nesnenin geometrik şeklini sanal bir ortamda tanımlamaya dayanmaktadır (Farin, 2002). 3B Modelleme, dijital ortamda, bir nesnenin üç boyutlu bir temsilini oluşturma sürecidir. Bu süreç, bilgisayar destekli tasarım

(CAD) yazılımlarında yapılır ve nesneler, x (en), y (boy) ve z (yükseklik) koordinatları ile üç boyutlu bir alan içinde tanımlanır (Zeid, 2005; Chua ve Leong, 2017). 3B modelleme teknikleri mimariden endüstriyel tasarıma, film ve oyun endüstrisinden tıbba kadar birçok alanda kullanılır. Tasarlanan modeller, prototipleme, görselleştirme ve üretim süreçlerinde oldukça faydalıdır (Zeid, 2005).

2.2.Modellemede Ana Kategoriler

Modelleme dünyasında kullanılan yazılımların istenen modellerin niteliksel strüktürüne göre seçilerek üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple dijital görselleştirme adına kullanılacak tekniklerin hedef üretme bağlı olarak tercih edilmesi beklenmektedir. Tasarım alanında tercih edilecek dijital üretime uygun farklı altyapılar sunan 3 yazılım gurubu bulunmaktadır. Mevzu bahis yazılım grupları aşağıda sunulmaktadır.

a) CAD (Computer-Aided Design) Yazılımları: CAD yazılımları, endüstriyel tasarımcıların ürünlerin teknik ve estetik özelliklerini detaylı bir şekilde modellemelerine olanak sağlar. Autodesk Inventor, SolidWorks ve CATIA gibi yazılımlar, karmaşık geometrilerin ve montajların oluşturulmasına imkân tanır. CAD yazılımlarının avantajları, ürünlerin gerçek dünyadaki fiziksel özelliklerinin dijital ortamda simüle edilmesidir. Bu, tasarımcıların ürünün tüm detaylarını ve işlevlerini önceden görselleştirmelerine yardımcı olmaktadır.

b) 3B Modelleme Yazılımları: Blender, Rhino ve SketchUp gibi araçlar, tasarımcıların ürünlerin estetik yönlerini ve detaylarını hızlı bir şekilde modellemelerine yardımcı olur. Bu yazılımlar, özellikle tasarım sürecinin erken aşamalarında fikirlerin hızlıca görselleştirilmesini sağlar. Blender, özellikle organik ve mekanik formların detaylı bir şekilde modellenmesini sağlar. Rhino, CAD ve CAM tabanlı esnek modelleme yetenekleri sunar. SketchUp, kullanıcı dostu arayüzü ile hızlı prototip oluşturma süreçlerinde kullanılır.

c) Sculpting (Heykelcilik) Araçları: ZBrush ve Mudbox gibi sculpting araçları, tasarımcıların 3B modeller üzerinde organik ve ayrıntılı şekiller oluşturmalarına olanak tanır. Bu araçlar, özellikle karakter tasarımı ve ürünlerin organik formlarının oluşturulmasında kullanılır. Sculpting, tasarımcıların yaratıcı süreçlerinde özgürlük ve detay zenginliği sağlamaktadır.

Aşağıdaki bölümde 3 boyutlu modellemeye ait sektörde bulunan temel yazılımlar sunulmakta ve açıklanmaktadır.

2.3.Modellemede Temel Yazılımlar

3B Modelleme alanında kullanılan farklı yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımların arasındaki temel fark üretime yönelik farklı tiplerde modellemeler yapılmasına olanak vermeleridir. Sektörde kullanılan yazılımlara ait temel özellikler aşağıda sunulmaktadır.

a) Blender: Blender, açık kaynaklı ve ücretsiz bir 3B modelleme yazılımıdır. Poligon modelleme, heykel modelleme, animasyon ve render işlemleri gibi birçok özelliği bir arada sunar. Blender, geniş bir topluluk desteği ve kapsamlı eğitim materyalleriyle kullanıcılarına büyük bir esneklik sağlamaktadır (Blender Foundation, 2020).

b) Autodesk Maya: Autodesk Maya, özellikle film ve oyun endüstrisinde yaygın olarak kullanılan güçlü bir 3B modelleme ve animasyon yazılımıdır. Gelişmiş animasyon ve efekt oluşturma araçları sunan Maya, karakter modelleme ve rigging gibi özellikleri ile dikkat çeker. Profesyonel düzeyde kullanım için tasarlanmıştır ve genellikle büyük projelerde tercih edilir (Autodesk, 2021).

c) 3D Max: 3D Max, Autodesk tarafından geliştirilen ve özellikle mimari görselleştirme ve oyun tasarımı için kullanılan bir yazılımdır. Kullanıcı dostu arayüzü ve zengin

modelleme araçları ile mimarlar ve tasarımcılar tarafından sıkça tercih edilir. 3D Max, animasyon ve render işlemlerinde de güçlüdür (Autodesk, 2021).

d) ZBrush: ZBrush, dijital heykel modelleme için özel olarak geliştirilmiş bir yazılımdır. Sanatçılar, detaylı ve organik formlar oluşturmak için ZBrush'ın gelişmiş fırça ve heykel özelliklerini kullanır. Genellikle film ve oyun endüstrisinde karakter tasarımı için tercih edilmektedir (Pixologic, 2020).
e) Cinema 4D: Cinema 4D, hareketli grafikler ve animasyon oluşturma konusunda güçlü bir yazılımdır. Özellikle medya ve eğlence sektöründe popülerdir. Kullanıcı dostu arayüzü, animasyon ve efekt yaratma araçlarıyla birlikte gelir. Cinema 4D, 3B modelleme ile güçlü bir görselleştirme ve render yetenekleri sunar (MAXON, 2021).
f) SketchUp: SketchUp, özellikle mimari tasarım ve iç mekân düzenlemeleri için kullanılan bir 3B modelleme yazılımıdır. Kullanıcı dostu arayüzü ve basit araçları sayesinde, yeni başlayanlar için ideal bir seçenektir. SketchUp, kullanıcıların hızlı bir şekilde modeller oluşturmasına olanak tanır ve kolayca paylaşılabilir (Trimble, 2021).
g) Rhinoceros 3D: Rhino, özellikle endüstriyel tasarım, mimari ve mühendislik alanlarında kullanılan bir 3B modelleme yazılımıdır. NURBS tabanlı modelleme tekniği kullanarak yüksek hassasiyetle karmaşık formlar oluşturur. Rhino, tasarımcıların detaylı ve özelleştirilmiş modeller geliştirmesine olanak tanır (Robert McNeel ve Associates, 2020).
h) Tinkercad: Tinkercad, web tabanlı basit bir 3B modelleme yazılımıdır. Yeni başlayanlar için kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir ve eğitim amaçlı kullanım için idealdir. Tinkercad, özellikle 3B yazıcılar için modeller oluşturma amacıyla kullanılmaktadır (Autodesk, 2021).

Render, belirli bir modelden nihai bir dijital ürün oluşturma işlemidir. Render terimi genellikle grafikler ve video için kullanılır, ancak ses dosyaları için de aynı şey geçerlidir. Üç boyutlu grafikler, tel kafes adı verilen temel üç boyutlu modellerden oluşturulur. Bir tel kafes modelin şeklini ve biçimini yani formunu tanımlamaktadır. İşlem modelde yüzey oluşturma işlemi, dokular ve aydınlatmanın da eklenmesiyle gerçekçi bir görünüm kazandırılmasıyla gerçekleştirilir. Örneğin, bir üç boyutlu çizim uygulaması veya bir CAD programı, bir üç boyutlu modele farklı renkler, dokular ve aydınlatma kaynakları eklemenize izin verebilir. Render oluşturma işlemi bu ayarları nesneye uygular. Yeni nesil grafik işlemci birimleri (GPU) sayesinde, üç boyutlu görüntü işleme genellikle gerçek zamanlı olarak yapılmaktadır. Ancak, yüksek çözünürlüklü modellerde, yüzeylerin ve ışık efektlerinin belirli bir komut (örneğin render al komutu) kullanılarak oluşturulması gerekebilmektedir.

3.POST-TRUTH VE TASARIM

Post-truth (gerçeklik-sonrası), 21. yüzyılda sosyal, kültürel, politik, ekonomik durumları ve teknolojik eğilimleri yansıtan bir terim olarak öznenin sanatla, siyasetle, kamusal yaşamla ve toplumsal kapsamla ilişkisini niteleyen ve çağı karakterize eden bir kavramdır (McIntyre, 2018; Keyes, 2004). Kamuoyunu şekillendirmede duygusal çekiciliğin ve kişisel kanaatlerin objektif gerçeklerin önüne geçtiği, yalanın gerçeğe üstün geldiği, gerçeğin yitirildiği durumları niteleyen bir sıfat olarak tanımlanmaktadır (Oxford Languages, 2016; McIntyre, 2018). 1992 yılında post-truth kavramını ilk defa Sırp-Amerikan oyun yazarı Steve Tesich kullanmıştır (Tesich, 1992). 1992 yılında yayımlanan *Government of Lies* (Yalanlar Hükümeti) makalesinde Amerikan halkının önemli bir kısmının Bush hükümeti tarafından yapılan siyasi propagandaları sorgulamadan gerçekmiş gibi kabul ettiğini belirtmiştir (Tesich, 1992). Tesich, artık insanların gerçekliği aramak yerine önüne gelen ham bilgi yığınlarını sorgulamadan kabul ettiğini yazarak eleştirmiştir (Tesich, 1992). Post-truth kavramının bilinir hale gelmesinde Ralph Keyes'in yazmış olduğu *The Post-Truth Era* (Gerçeklik-sonrası Çağ) isimli kitabının önemi büyüktür

(Keyes, 2004). 2016 yılında ABD başkanlık seçimi ve İngiltere'nin Avrupa Birliği'nden ayrılışıyla birlikte yoğun kullanılan bu kavram, Oxford Dictionaries tarafından yılın sözü seçilmiştir (Oxford Languages, 2016).

3.1.Post-Truth Tasarımın Temel Taşları

Post Modernizmin ardından post-truth kavramının güncel olarak anlamı üzerine felsefi olarak tartışmalar sürmektedir (McIntyre, 2018). Ancak bu kavram geçmiş dönemlerden çok günümüzde iletişim teknolojisinin de yaygınlık göstermesiyle sosyal medya üzerinde görünürlüğünü artırmaktadır (Wardle ve Derakhshan, 2017). Post-truth yaklaşımla ilgili kavramsallaşma, modernizmin bitişi ve postmodernizmin ortaya çıkmasıyla kendisini göstermiştir (Lyotard, 1984; Baudrillard, 1994). Bu süreçte post-truth gerçeklik gelişen teknoloji ve sosyal medyanın gücü ile manipülasyon gücü yüksek bir güce erişmiştir. Yaratıcı disiplinler açısından post-truth kavramının tasarım alanıyla ilişkisinin anlaşılması amacıyla tekniği oluşturan tasarım niteliklerinin açıklanması gerekmektedir.

a) Hipergerçeklik ve Estetik Simülasyon: Modern dijital renderlama, CGI ve üretken yapay zekâ, fotoğraf kalitesinde görünen görseller yaratabilmektedir. Mimari ve ürün tasarımında, projeler genellikle fiziksel olarak inşa edilmeden çok önce -veya tamamen fiziksel inşa yerine- hiper gerçekçi dijital konseptler olarak render biçiminde pazarlanır ve tüketilir. Tasarımın temsili, nesnenin fiziksel gerçeğinin yerini alarak, estetik deneyimi gerçek ve sahte arasındaki sınırın ortadan kalktığı bir simülasyona dönüştürmektedir (Baudrillard, 1994).
b) Duygusal ve Anlatı Odaklı Tasarım: Gerçeklik-sonrası ortamlar, olgusal özelliklerden ziyade kişisel inançlara ve duygusal çekiciliğe öncelik verdiğinden, tasarım etkileşimli bir hikâye anlatımına doğru kaymıştır. Ürünler ve dijital arayüzler, nesnel fayda veya malzeme ömründen ziyade, sıklıkla üretilmiş yaşam tarzı anlatıları ve küratörlüğünü yapılmış kurumsal mitler etrafında inşa edilmektedir (Norman, 2004).
c) Spekülatif ve Kurgusal Tasarım: Spekülatif tasarım veya tasarım kurgusu gibi çerçeveler aracılığıyla, tasarımcılar son derece inandırıcı ürün, hizmet veya alternatif gelecek senaryoları oluşturabilirler (Dunne ve Raby, 2013).
d) Dijital Manipülasyon ve UX (Kullanıcı Deneyimi) Desenleri: Dijital platformlarda, gerçeklik-sonrası tasarım, gerçekliği çarpıtmak için tasarlanmış arayüzler aracılığıyla kendini göstermektedir. Bu yönlendirme durumu, kullanıcıları karar vermeye sevk eden kullanıcı deneyimi (UX) manipülasyonunu, sansasyon yaratmak için optimize edilmiş algoritmaları ve doğrulanmamış, duygusal yüklü görsellerin sorunsuz paylaşımını içermektedir (Gray vd., 2018).

Post-truth yaklaşımın tasarım alanında en güçlü yansıması duyguların egemenliği, gerçeğin kayması ve sosyal medyanın manipülatif özelliklerinin belirginleşmesinin sonucunda dijital mecralarda mimari ve ürün tasarımına yönelik yapılan görselleştirmelerin oluşturduğu artırılmış kullanıcı deneyimidir. Özellikle sosyal mecra özelinde 3B render görselleştirmelerle sunulan mimari yapıların satışında ciddi bir yükseliş gerçekleşmiştir.

3.2.Fotorealizm

Fotorealizm (fotogerçekçilik, süperrealizm, hiperrealizm, hipergerçekçilik), 1960'larda özelikle Amerika Birleşik Devletleri'nde ortaya çıkmış olan "fotogerçekçi" resim akımının ürünlerinde mevzubahis eğilim açıkça gözlemlenebilmektedir (Meisel ve Chase, 1980). Dönemin resimleri incelendiğinde üretilen görüntülerin konunun kendisinden çok, olası bir fotoğrafına benziyor olması özellikle dikkat çekicidir. Yaratıcılığın ve özgünlüğün tartışıldığı ve modern sanatın temellerinin atıldığı 1960'lı yıllarda, bir kısım sanatçı, özgün olarak nitelendirilen eserlerin aslında birbirlerine benzediği ve hatta sanatçının çoğu zaman kendi kendini tekrar ettiği düşüncesiyle, sanatı kendi özgün duygu ve düşüncelerinden arınmış olarak üretmeyi

seçmişlerdir (Lucie-Smith, 1979). Fotogerçekçi akımın önde gelen isimleri John Baeder, Richard Estes, John Kacere, Jack Mendenhall, Davis Cone ve Franz Gertsch olarak sıralanabilir. Bu akımın ressamlarının yapmaya çalıştıkları, aslında, prensip olarak klasik realizm ressamlarının amaçladıklarına çok benzemektedir. Ancak bu kez üretilecek olan temsiller fotoğrafla tanışık sanatçı ve izleyicilerle buluşacağından hedeflenen benzerlik düzeyi oldukça yükselmiştir (Meisel ve Chase, 1980). 3B görselleştirme tekniklerinin fotorealistik doğasında üretilen görsel aracılığıyla duygu tetikleme hedefi özgün üretimlerin ortaya konmasına imkân vermektedir (Pharr vd., 2023). Render olarak üretilen görsellerin ilk bakışta birbirine benzemesinin ardında farklı duygu ve düşünceleri tetiklemesinin yarattığı artırılmış kullanıcı deneyimi değerleri bulunmaktadır (Norman, 2004).

4.3B GÖRSELLEŞTİRME

3B görselleştirme tekniği olarak render almak, projenin verimliliğini artırmaya ve maliyetini düşürmeye yardımcı olan bir prova sürecidir (Eastman vd., 2018). Render işlemi yapı cephesinin, detayların, iç mekânının nasıl gözükeceği ve kullanışlı olup olmadığıyla ilgili fikirler vererek proje aşamasında projeyi şekillendirmeye fayda sağlamaktadır. Şantiye ortamında deneysel müdahaleleri minimuma indirip uygulama sonucunu adeta bir simülasyon şeklinde sağlayarak yapının ofis ortamında çözümlenebilmesine olanak sağlamaktadır (Azhar, 2011). 3 boyutlu cephe ve iç mekân tasarımı gibi görselleştirmelerle projenin gidişatı konusunda belirli kararları vermek ve proje sürecinin hızlandırılması kolaylaşmaktadır. 3B render işleminin olabildiğince realist olması, projeye ait ışığın, kaplamanın, boyanın, sıvanın vs. gerçekçi durması, dolayısıyla görselleştirmesi yapılan tasarımın üretileceği şekline en benzer haliyle durması önem kazanmaktadır (Pharr vd., 2023). Bu gerçeklik hali tercih edilen malzeme, tasarım konularında doğru karar verilmesine olanak tanıdığı gibi, şantiyede iş bitiminde kötü bir sürprizi de engellemiş olacaktır.

Nihayetinde 3 boyutlu render, çizim ve görselleştirme çalışmaları mimari uygulama öncesinde büyük fayda sağlamaktadır (Eastman vd., 2018). Özellikle yenilikçi, özel malzeme detaylarından meydana gelen yapılar için talep edilen 3B çizim ve render görsellerinde söz konusu detayların doğru işlenmesi mimar ve işveren müteahhitler için uygulama ve pazarlama sürecinin niteliği bakımından önem arz etmektedir. Genellikle yüksek kaliteli 3 boyutlu tasarım çalışmalarında realist render alabilen firmalar tercih edilmektedir. 3B mimari render ve mimari görselleştirme işleminin bir başka faydalı kullanımı ise müşterilerilere yapılacak proje sunumlarında tasarımcı olmayanlar için hayal edilmesi zor olan mekân kullanımının ve yapı çevresinin nasıl olacağının kolay ve anlaşılır biçimde, realistik olarak görülebilmesidir (Whyte, 2002). Bu 3 boyutlu tasarım ve görselleştirme aşaması müteahhit firmalar için bir nevi demo çalışması görevi görürken, projeye talip olan müşteriler içinse bir tür mimari fragman niteliğindedir. 2B çizimler bu noktada teknik unsurlar olarak kalıp müşterilere yeteri kadar fikir verebilen veriler olmamaktadır. Yapının iç mekân ve dış mekân perspektiflerinden olmak üzere 3B render görselleri ve 3B plan render görseli şeklinde yapılacak anlatımlar projeleri anlatmak için daha etkili sunum araçları olmaktadır (Whyte, 2002). Bunların yanında ulusal veya uluslararası mimari proje yarışmaları, davetli proje yarışmaları gibi çeşitli rekabet organizasyonlarında da render konusu ön planda tutulmakta ve ciddi önem arz etmektedir.

4.1.Görselleştirmenin İşlevsel Özellikleri

3 boyutlu render önemli bir sunum aracıdır. Tanıtımı yapılacak olan ürünü ve özelliklerini yaratıcı ve özgün bir biçimde 3 boyutlu olarak görselleştirmek pazarlama için büyük önem arz etmektedir (Ulrich ve Eppinger, 2016). Kaliteli ve fotorealistik bir 3 boyutlu görsel ile ürünleri tanıtmak firmaları rakiplerinden öne taşımaktadır. Bu nedenle 3B ürün render hizmeti de mimari render kadar önemli ve yaygın bir hizmettir. Fotorealistik üst seviye görselleştirme

hizmeti ile ürünlerin güçlü yönlerini ön plana çıkararak satış potansiyelini arttırmak mümkündür (Pharr vd., 2023). Aynı zamanda rakiplerden farklı bir biçimde müşterilere ileri seviyede bir 3 boyutlu görsel sunum sağlanmasına imkân tanıyarak kurumsal kimliğin de kalitesinin yükselmesi gereklidir. Bu noktada kaliteli, üst düzey ve fotorealistik 3B çizim ve görselleştirme ile ürünleri pazarlamak beklentiler dahilindedir.

Render servisi farklı kalite ve deneyim içeren bir hizmettir. Bu hizmetin müşteriye en doğru verilmesi için etkili bir tasarım portfolyosu hazırlanarak müşterilere sunulması gerekmektedir. Güncel olarak hizmetlerle alakalı bilginin iletilmesi için kullanılan en yaygın mecra sosyal medyadadır. İşte bu noktada post-truth yaklaşımlarını neredeyse tamamen yansıtacak şekilde firmalar verdikleri hizmet tanımladıkları kelimeleri seçerken bazı senaryolarda kendilerini olduklarından farklı göstermeye çalışmaktadır (McIntyre, 2018). Bu farklı gösterme hizmetler, ürünler veya çalışanlar ile ilgili olabilir, her şekilde post-truth yaklaşımın bir sonucu olarak firmaya ait sanal bir kimlik oluşmaktadır (Baudrillard, 1994). Dikkat edilmesi gereken nokta üretimler ile firmanın kendini lanse ettiği söylemin uyuşmasıdır. Profesyonel bir çizim ve render hizmeti istendiği koşulda bakılması gereken firmaya ait portfolyodur. Portfolyoyu oluşturan görseller firma için referans niteliği taşıyan 3B görselleştirme çalışmalarıdır. Firma seçiminde portfolyoda yer alan görsellerin gerçekçi bir atmosfere (ışık, gölge, iklim, yapılı çevre, peyzaj) sahip olması; seramik, beton, sıva, metal gibi çeşitli kaplama malzemelerinin gerçekçi dokulara sahip olması; sahnede kullanılan insan, araç ve mobilya gibi objelerin etkili bir şekilde yerleştirilerek mekân kullanımının doğru bir kompozisyonla anlatılıyor olması, mimari projelerde yapı çevresindeki peyzajın etkili ve gerçekçi durması gibi parametreler nihai tercih nedeni olabilmektedir (Whyte, 2002).

5.TARTIŞMA

Çalışmaya ait tartışma bölümünde farklı tasarım alanlarına ait üretimler sunulmaktadır. Sunulan tasarımlar yazarın yürütücülüğünde farklı dersler kapsamında öğrenciler tarafından üretilmiş olan modelleme ve grafik uygulama örnekleridir. Tasarlanan modellemeler kullanılan yazılıma, render motoruna, ilgili tasarım alanına, içerik modele ve post-truth değere göre ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Değerlendirme bulguları bölüm sonunda sunulmaktadır.

5.1.Tasarım Alanlarına Göre Görselleştirme

Bölümde farklı tasarım alanlarına ait örnekler sunulmaktadır. Tasarımın disiplinler arası nitelikleri sebebiyle bazı üretimlerin birden fazla alana ait olması durumu mevcuttur.

5.1.1.Ürün Tasarımı

Bölümde endüstri ürünleri tasarımı veya endüstriyel tasarım alanına ait ürün örnekleri sunulmaktadır.



Resim 1. Hava temizleyici tasarımı



Resim 2. Philips ütü tasarımı

5.1.2.Grafik Ambalaj Tasarımı

Bölümde grafik ve ambalaj tasarımı alanlarına ait ürün örnekleri sunulmaktadır.



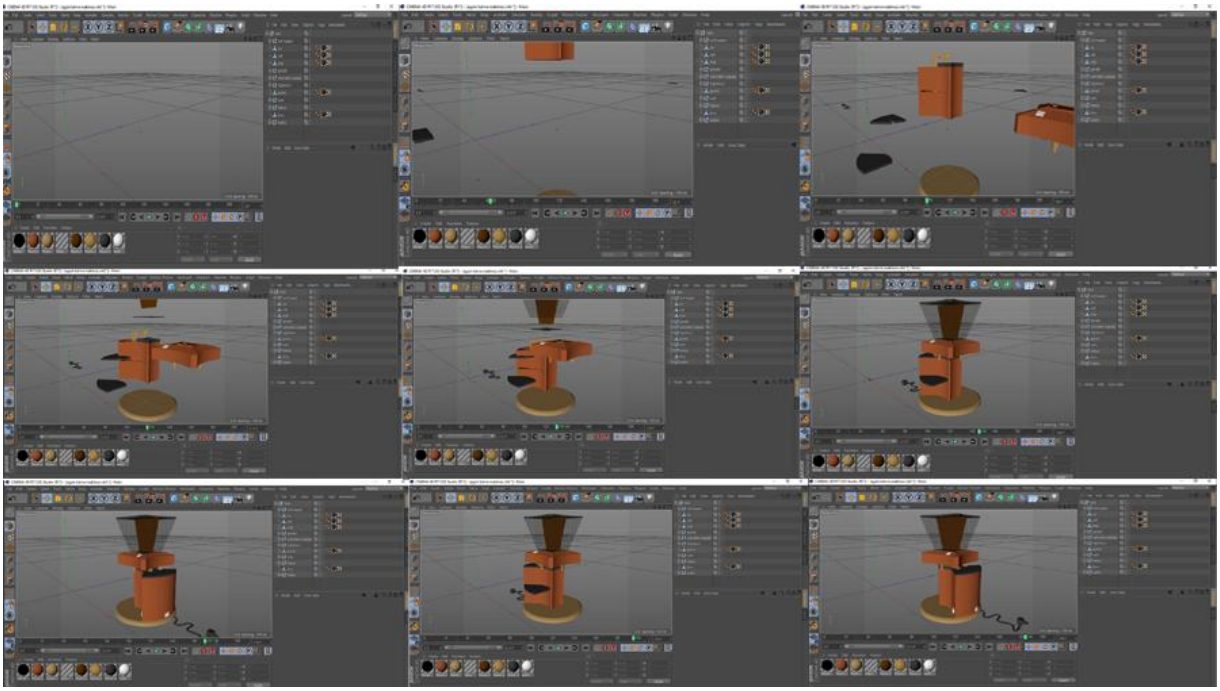
Resim 3. Cam Sil fiziksel ambalaj ve grafik etiket tasarımı



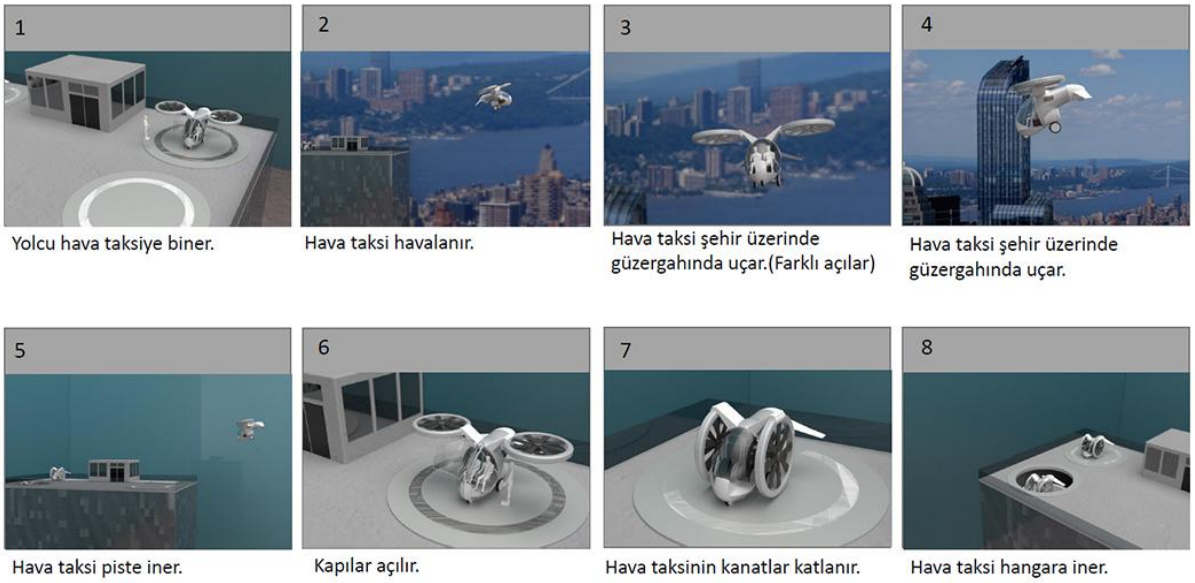
Resim 4. Şalgam paketi fiziksel ambalaj ve grafik etiket tasarımı

5.1.3.Animasyon Tasarımı

Bölümde animasyon tasarımı alanına Rhinoceros 3D yazılımında modellenerek Cinema 4D'de üretilmiş animasyon örnekleri sunulmaktadır.



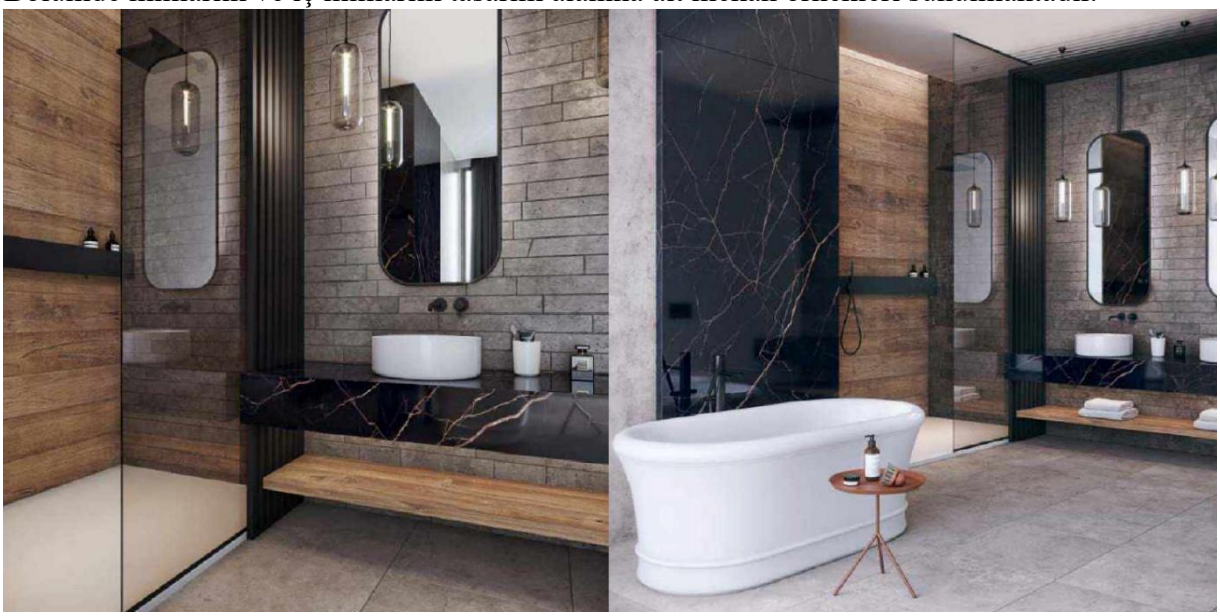
Resim 5. Meyve sıkacağı modelleme ve animasyon tasarımı



Resim 6. Hava taksi modelleme ve animasyon tasarımı

5.1.4.Mimarlık ve İç Mimarlık

Bölümde mimarlık ve iç mimarlık tasarım alanına ait mekân örnekleri sunulmaktadır.



Resim 7. Banyo modelleme ve mekân tasarımı



Resim 8. Çalışma alanı modelleme ve mekân tasarımı

5.1.5.Takı ve Mücevher Tasarımı

Bölümde sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm teması altında takı tasarımı alanına ait ürün örneği sunulmaktadır.



Resim 9. Oluklu karton temasıyla üretilen takı tasarımı

5.1.6.Yat Tasarımı

Bölümde gemi ve yat tasarım alanına ait ürün örnekleri sunulmaktadır.



Resim 10. Tasarım portfolyosunda yer alan tekne tasarımları

Gelecek bölümde farklı tasarım alanlarına ait ürünlerin belirlenen değerlendirme ölçütlerine dayanan değerlendirmesi yapılmaktadır.

5.2.Değerlendirme ve Bulgular

Bölümde tasarım alanında kullanılan yazılımlar, yazılımlarla ilişkili render motorları, tasarım alanı bilgisi ve içerik model değerlendirmesi yapılmaktadır. Sunulan tablonun ortaya koyduğu bulgular aşağıda açıklanmaktadır.

Tablo 1. Tasarım alanı ekseninde modelleme ve görselleştirme değerlendirme tablosu

Modelleme Yazılımı	Render Motoru	Tasarım Alanı	İçerik Model	Post-truth Değer
Rhinoceros	Keyshot	Ürün, Aksesuar ve Yat Tasarımı	Mücevher, Aksesuar, Yat ve Ürünler	Realist
Lumion	Lumion	İç Mimarlık, Mimarlık	Mekân ve Yapı	Manipülatif Simülatif
3D Max	Vray	İç Mimarlık, Mimarlık	Mekân ve Yapı	Manipülatif Simülatif
Cinema 4D	Corona	Ürün ve Etkileşim Tasarımı	Animasyon ve ürünler	Realist
Sketch Up	Vray	İç Mimarlık, Mimarlık	Mekân ve Yapı	Primitif
Rhinoceros, Cinema 4D	Keyshot, Corona	Grafik Tasarımı	Ambalaj	Realist

Değerlendirme bulguları bir sonraki bölümde sunulmaktadır.

5.3.Değerlendirme Bulguları

Bölümde tabloya bağlı olarak sonuçlar açıklanmakta ve değerlendirilmektedir. Çalışmada sunulan değerlendirme tablosuna bağlı olarak ortaya koyulabilecek farklı çıkarımlarda bulunulması mümkündür. Bu bağlamda ilk sıra modelleme yazılımını, ikinci sıra render motorunu, üçüncü sıra tasarım alanı ilişkisini ve dördüncü sıra içerik model özelliklerini sunmaktadır. Değerlendirmelerin başlangıç noktası olarak modelleme yazılımları referans alındığında elde edilen bulgularla ilgili açıklamalar aşağıda yapılmaktadır.

a) Rhinoceros yazılım ürün, ambalaj ve yat tasarımı açısından en efektif modelleme yazılımıdır. Keyshot render motorunun Rhino dosyalarını içeri aktarmadan direkt açması render motor tercihinin en belirgin sebebidir. Post-truth değer açısından CAD kurallara uygun çizimler gerçeğe yakındır.
b) Lumion yazılım iç mimarlık ve mimarlık alanında kullanılmaktadır. Bu tercihin temel sebebi Lumion'a ait kamera lenslerinin geniş açıya sahip olması, hızlı render, NPC nesneler ve paster renklerdir. Post-truth değer açısından kullanılan açılar, renkler ve malzemeler simülatiftir.
c) 3D Max yazılımı her sektörde kullanılan bir yazılımdır ancak fazla hafıza tüketmesi gibi bir problem bulunmaktadır. Kendi render motoru Mental Ray veya Vray ile uyumlu çalışan yazılımın render süreleri oldukça uzundur. Post-truth değer açısından kullanılan açılar, renkler ve malzemeler simülatiftir.
d) Cinema 4D yazılımı ürün modellemesi, animasyon, ambalaj ve mimari modellemede son derece efektif bir yazılımdır ancak modellenen elemanların CAD/CAM sisteminde olmaması üretilebilirlik açısından sorun teşkil edebilmektedir. Post-truth değer açısından CAD tabanlı olmamasına rağmen kamera açılarının doğal göz ayarları sayesinde gerçekçidir.
e) Sketch Up yazılımı yüzey, doku ve malzeme kalitesi düşük olmasına rağmen yüklü mimari dosyalar için etkin bir yazılımdır. Mekânsal veya yapısal detayların gösterilmesinde sıklıkla kullanılan yazılım ürün tasarımına uygun değildir. Post-truth değer açısından primitiftir. Renk, malzeme ve doku etkileri sınırlıdır.

6.SONUÇLAR

Gerçeklik-sonrası (post-truth) eğilimler ile çağdaş tasarım yaklaşımları birbirleriyle sıkı bir etkileşim içindedir; zira tasarım, insanların bilgiyi algılama, yorumlama ve ona güvenme biçimlerine giderek daha fazla aracılık etmektedir. Duygusal hitabetin, kişisel inançların ve görsel iknanın nesnel olguların önüne sıklıkla geçtiği bir gerçeklik-sonrası ortamda tasarım, yalnızca bir iletişim aracı olarak değil, aynı zamanda aktif bir anlam yapılandırıcısı olarak işlev görür. Görsel iletişim, etkileşim tasarımı, ürün tasarımı ve dijital arayüzler; benimsenen tasarım

yaklaşımına bağlı olarak duygusal bağı güçlendirebilir, bilişsel önyargıları pekiştirebilir veya eleştirel düşünmeyi teşvik edebilir. Sonuç olarak; yanlış bilgiyle mücadele etmek ve bilinçli karar vermeyi desteklemek adına etik, kullanıcı odaklı, şeffaf ve kanıta dayalı tasarım metodolojileri vazgeçilmez hale gelmiştir. Bu nedenle tasarımcıların, ikna edici estetik ile sorumluluk bilinci arasında bir denge kurmaları ve görsel anlatıların algıyı manipüle etmek yerine güvenilirliği desteklemesini sağlamaları beklenmektedir (Keyes, 2020; Norman, 2013; Fuller, 2018).

Tasarım alanında fikrin duygularla harmanlanarak gerçek olandan ziyade yapılan kurgu ile özgün olarak algılanması ve sosyal medyanın gücüyle yayılması sonucunda kullanıcı deneyimi oluşturması durumu yaşanmaktadır. Tasarım alanları açısından incelendiğinde fotogerçekçi görselleştirmenin yarattığı etki Post-truth yaklaşımları açısından gerçek üstü ve duyguları tetikleyen bir deneyim oluşturmaktadır. Sunulan imgelerin direkt anlamlarından ziyade gizli anlamlarını ifade etmeye yönelik iletişim kurma biçimlerine uygunluk bu yaklaşımın temelini oluşturmaktadır. Özellikle tasarım alanında fikir aşamasındaki bir tasarımın görselleştirilmesinin yarattığı iletişim gözlemciler açısından değerlidir zira zihin görselleştirmeyi gerçek olarak tanımlayıp kodlamaktadır. Zihnin manipüle edilmesinin yarattığı duygunun yaşatılması hedeflenen deneyime eşdeğer olması, yaratıcı süreçlerin tasarımın sonuçlarıyla ilişkilendirilmesi adına önem taşımaktadır. Çalışmanın ortaya koymayı hedeflediği üzere fikir olarak beliren tasarımın duygu yaratacak biçimde görselleştirilmesi, kreatif süreçlerin kullanıcı deneyimi tasarımı eksenindeki değerini açıklamaktadır. Gelecek çalışmalar post-truth yaklaşımlarının tasarımın diğer alanlarındaki etkisi ve üretimleri konusunda araştırma yapılması mümkündür.

KAYNAKÇA

Akenine-Möller, T., Haines, E., Hoffman, N., Pesce, A., Iwanicki, M., ve Hillaire, S. (2018). Real-time rendering (4th ed.). CRC Press.

Autodesk. (2021). 3ds Max. https://www.autodesk.com

Autodesk. (2021). Autodesk Maya. https://www.autodesk.com

Autodesk. (2021). Tinkercad. https://www.tinkercad.com

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Management in Engineering, 11(3), 241–252.

Baudrillard, J. (1994). Simulacra and simulation (S. F. Glaser, Trans.). University of Michigan Press. (Original work published 1981).

Blender Foundation. (2020). Blender Manual. https://www.blender.org

Chua, C. K., ve Leong, K. F. (2017). 3D printing and additive manufacturing: Principles and applications (5th ed.). World Scientific.

Cohen, M. F., ve Wallace, J. R. (1993). Radiosity and realistic image synthesis. Academic Press.

Dunne, A., ve Raby, F. (2013). Speculative everything: Design, fiction, and social dreaming. MIT Press.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., ve Liston, K. (2018). BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers (3rd ed.). Wiley.

Farin, G. (2002). Curves and surfaces for CAGD: A practical guide (5th ed.). Morgan Kaufmann.

Foley, J. D., van Dam, A., Feiner, S. K., ve Hughes, J. F. (1996). Computer graphics: Principles and practice (2nd ed.). Addison-Wesley.

Fuller, M. (Ed.). (2018). Postdigital aesthetics: Art, computation and design. Palgrave Macmillan.

Glassner, A. S. (Ed.). (1989). An introduction to ray tracing. Academic Press.
Gray, C. M., Kou, Y., Battles, B., Hoggatt, J., ve Toombs, A. L. (2018). The dark (patterns) side of UX design. Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Paper 534, 1–14. https://doi.org/10.1145/3173574.3174108
Keyes, O. (2020). The ethics of design in the age of misinformation. Interactions, 27(6), 32–35. https://doi.org/10.1145/3427787
Keyes, R. (2004). The post-truth era: Dishonesty and deception in contemporary life. St. Martin's Press.
Lewandowsky, S., Ecker, U. K. H., ve Cook, J. (2017). Beyond misinformation: Understanding and coping with the post-truth era. Journal of Applied Research in Memory and Cognition, 6(4), 353–369. https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2017.07.008
Lucie-Smith, E. (1979). Movements in art since 1945. Thames ve Hudson.
Lyotard, J.-F. (1984). The postmodern condition: A report on knowledge. University of Minnesota Press.
MAXON. (2021). Cinema 4D. https://maxon.net
McIntyre, L. (2018). Post-truth. MIT Press.
Meisel, L. K., ve Chase, L. (1980). Photorealism. Harry N. Abrams.
Norman, D. A. (2004). Emotional design: Why we love (or hate) everyday things. Basic Books.
Norman, D. A. (2013). The design of everyday things (Revised and expanded ed.). Basic Books.
Oxford Languages. (2016). Word of the Year 2016: Post-truth. https://languages.oup.com/word-of-the-year/2016/
Panofsky, E. (1991). Perspective as symbolic form (C. S. Wood, Trans.). Zone Books. (Original work published 1927).
Pharr, M., Jakob, W., ve Humphreys, G. (2023). Physically based rendering: From theory to implementation (4th ed.). MIT Press.
Pixologic. (2020). ZBrush Documentation. https://pixologic.com
Robert McNeel ve Associates. (2020). Rhinoceros. https://www.mcneel.com
Shirley, P., Marschner, S., ve Gleicher, M. (2019). Fundamentals of computer graphics (4th ed.). CRC Press.
Tesich, S. (1992). A government of lies. The Nation, 254(1), 12–14.
Trimble. (2021). SketchUp. https://www.sketchup.com
Ulrich, K. T., ve Eppinger, S. D. (2016). Product design and development (6th ed.). McGraw-Hill Education.
Wardle, C., ve Derakhshan, H. (2017). Information disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making. Council of Europe.
Whitted, T. (1980). An improved illumination model for shaded display. Communications of the ACM, 23(6), 343–349. https://doi.org/10.1145/358876.358882
Whyte, J. (2002). Virtual reality and the built environment. Architectural Press.
Wilson, G. (2018). The impact of visualization technologies on design education. Journal of Design and Technology Education, 23(3), 245–259.
Zeid, I. (2005). CAD/CAM theory and practice (2nd ed.). McGraw-Hill.

AKILLI SENSÖR VE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU İLE İŞ EKİPMANLARININ DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: İŞ KAZALARININ AZALTILMASINA YÖNELİK BİR MODEL ÖNERİSİ

Ph.D. Öğrencisi Özlem Ayşen BAYTÖRE
İstanbul Aydın Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Programı, İstanbul
ORCID ID: 0000-0001-6113-6882
Prof. Dr. Osman YILDIRIM
İstanbul Aydın Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı, İstanbul
ORCID ID: 0000-0002-8900-3050

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, geleneksel bir iş ekipmanını sensör, IoT ve yapay zekâ tabanlı analiz modülleri ile donatarak akıllı iş ekipmanına dönüştürmek ve bu dönüşüm yoluyla iş kazalarını azaltmaktır. Çalışma, özellikle yüksek riskli çalışma ortamlarında meydana gelen insan kaynaklı hataları ve ekipman arızalarından doğan kazaları önleyici bir sistem tasarımını hedeflemektedir. Yöntem olarak, ekipmana titreşim, sıcaklık, konum ve yük sensörleri entegre edilmiş; elde edilen veriler gerçek zamanlı olarak kablosuz iletişim altyapısı üzerinden merkezi bir veri işleme platformuna aktarılmıştır. Toplanan veriler üzerinde anomali tespiti ve risk sınıflandırması yapmak amacıyla makine öğrenmesi tabanlı algoritmalar uygulanmıştır. Sistem ayrıca, tehlikeli kullanım senaryolarında operatörü uyaran görsel–işitsel bildirim mekanizması ve kritik durumlarda otomatik durdurma fonksiyonu içerecek şekilde tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında saha testi yapılarak sistemin performansı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bulgular, akıllı sistem entegrasyonu sonrasında riskli kullanım durumlarının erken tespit oranının anlamlı biçimde arttığını ve potansiyel kaza senaryolarının büyük ölçüde önlenebildiğini göstermektedir. Ayrıca, kestirimci bakım yaklaşımı sayesinde arıza kaynaklı plansız duruş sürelerinde azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, iş ekipmanlarının akıllı sistemlerle dönüştürülmesi; iş sağlığı ve güvenliği performansını artırmakta, insan hatasını minimize etmekte ve sürdürülebilir üretim süreçlerine katkı sağlamaktadır. Geliştirilen model, farklı sektörlerdeki ekipmanlara uyarlanabilir niteliktedir.
Anahtar kelimeler: Akıllı iş ekipmanları, İş kazaları, Yapay zekâ, IoT

TRANSFORMATION OF WORK EQUIPMENT THROUGH SMART SENSOR AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION: A MODEL PROPOSAL FOR REDUCING WORKPLACE ACCIDENTS

ABSTRACT
The aim of this research is to transform traditional work equipment into smart work equipment by equipping it with sensor, IoT, and artificial intelligence-based analysis modules, and to reduce workplace accidents through this transformation. The study aims to design a preventive system to avoid human errors and equipment malfunctions that cause accidents, especially in high-risk working environments. As a method, vibration, temperature, location, and load sensors have been integrated into the equipment; the obtained data has been transferred in real-time to a central data processing platform via a wireless communication infrastructure. Machine learning-based algorithms have been applied to the collected data for anomaly detection and risk classification. The system has also been designed to include a visual-auditory notification mechanism to alert the operator in hazardous usage scenarios and an automatic stop function in

critical situations. Within the scope of the study, the system's performance was comparatively analysed through field testing. The findings indicate that after the integration of smart systems, the rate of early detection of risky usage situations has significantly increased, and potential accident scenarios have been largely prevented. Additionally, a decrease in unplanned downtime due to failures has been observed thanks to the predictive maintenance approach. In conclusion, the transformation of work equipment with smart systems enhances occupational health and safety performance, minimises human error, and contributes to sustainable production processes. The developed model is adaptable to equipment in different sectors.
Keywords: Smart work equipment, Workplace accidents, Artificial intelligence, IoT

1. Giriş

Sanayileşmenin ve üretim süreçlerinin karmaşıklığı arttıkça, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanındaki riskler de belirgin bir şekilde çoğalmıştır. Ağır sanayi, inşaat, madencilik ve üretim alanlarında kullanılan iş ekipmanları, çalışanların güvenliği açısından son derece önemli bir yer tutar. Geleneksel iş ekipmanları genellikle mekanik veya yarı otomatik sistemlere bağlıdır. Bu tür sistemlerde, operatör hataları, ekipman arızaları ve çevresel koşullar, iş kazalarının önemli nedenleri arasında yer almaktadır.

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) kaynaklarına göre, her yıl milyonlarca işçi, iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu ya hayatını kaybediyor ya da ağır yaralanmalar yaşıyor. Bu durum, iş ekipmanlarının güvenlik standartlarının yükseltilmesini ve risklerin erken dönemde tespit edilmesine yönelik yenilikçi teknolojik yöntemlerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Son yıllarda Endüstri 4. Nesnelerin İnterneti (IoT), akıllı sensör teknolojileri ve yapay zeka destekli veri analitiği gibi yenilikler, üretim süreçlerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Bu teknolojilerin iş sağlığı ve güvenliği alanına dâhil edilmesi, geleneksel ekipmanların hem daha güvenli hem de daha verimli olmasına imkan tanımaktadır. Özellikle sensör destekli veri toplama sistemleri, ekipman performansını anlık olarak takip edebilir ve olası riskleri önceden belirleyebilir.

Yapay zeka algoritmaları, geniş veri setlerini inceleyerek anomali tespiti, risk değerlendirmesi ve kestirimci bakım gibi önemli işlevlerin yerine getirilmesine yardımcı olmaktadır. Akıllı iş ekipmanları yaklaşımı, geleneksel araçların sensörler, veri iletişim sistemleri ve akıllı analiz teknolojileriyle donatılarak güvenliğin artırılmasını amaçlamaktadır. Bu sistemler, ekipmanın kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek tehlikeli durumları tespit ederek operatöre anında uyarılar iletebilir ve kritik anlarda ekipmanın otomatik olarak durdurulmasını sağlayabilir. Bu şekilde, hem insan kaynaklı hatalar en aza indirilmekte hem de ekipman arızalarından kaynaklanan kazaların önüne geçilmektedir.

Bu çalışmada, geleneksel bir iş ekipmanının sensörler, IoT tabanlı veri iletim sistemleri ve makine öğrenmesi algoritmaları aracılığıyla akıllı iş ekipmanına dönüştürülmesi amacıyla bir model önerisi sunulmuştur. Önerilen model çerçevesinde, ekipman kullanımıyla ilgili veriler titreşim, sıcaklık, konum ve yük sensörleri aracılığıyla toplanmakta ve bu bilgiler anlık olarak merkezi bir analiz platformuna iletilmektedir. Toplanan veriler üzerinde kullanılan yapay zeka algoritmaları, riskli kullanım durumlarını belirlemekte ve operatörlere görsel ve işitsel uyarılarla bilgi sunmaktadır. Bu çalışmanın ana hedefi, akıllı sensör ile yapay zekanın entegrasyonu aracılığıyla iş ekipmanlarının güvenliğini artırmak ve iş kazalarının azaltılmasına yardımcı olacak bir model oluşturmaktır. Bu çalışma, akıllı iş ekipmanları yönteminin çeşitli

sektörlerde uygulanabilirliğini göstermeyi ve iş sağlığı ile güvenliği alanında veri odaklı karar destek sistemlerinin kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

2. Literatür

Endüstri 4.0, üretim sistemlerinin dijitalleşmesi ve siber-fiziksel sistemlerin üretim süreçlerine eklenmesiyle ortaya çıkan yeni bir üretim şeklidir. Endüstri 4.0, gerçek zamanlı veri toplama, analiz etme ve kendi kararlarını alma yeteneğini geliştirmeyi hedefler. Lee ve arkadaşları tarafından siber-fiziksel sistem mimarisini geliştirildi. Siber-fiziksel sistem mimarisi, sensörler ve veri analitiğiyle üretim süreçlerini izlemeyi mümkün kılmakta ve Endüstri 4.0 tabanlı üretim sistemlerinin temel altyapısını oluşturmaktadır [1].

Endüstriyel sistemlerde, veri analitiği ve büyük veri teknolojileri kullanılmaktadır. Endüstriyel sistemlerde veri analitiği ve büyük veri teknolojileri, üretim sürecinde kestirimci bakım ve arıza tahmini çalışmalarının gelişmesine büyük katkı sağlamaktadır. Wan ve arkadaşları, büyük veri analitiğiyle ekipmanların aktif önleyici bakım süreçlerini daha etkili yönetebildiklerini gösterdi [2]. Qin ve arkadaşları, Endüstri 4.0 kapsamında, üretim sistemlerinin veri odaklı bir yapıya dönüşmesini ve veri odaklı bir yapıya dönüşmenin üretim verilerinin analizini daha önemli hâle getirdiğini vurguladı [3]. Makine öğrenmesi, fabrikalarda arızaları tahmin etmek ve sistemin nasıl çalıştığını modellemek için sıkça kullanılmaktadır.

Zhang ve arkadaşları, makine öğrenmesi algoritmasıyla bir model geliştirdi ve bu modelin arıza tahminini çok daha doğru yaptığını gösterdi [4]. Derin öğrenme de, yani, fabrikalarda arıza tespiti ve durum takibi için önemli bir konu haline geldi. Chen ve arkadaşları, derin öğrenme yöntemlerinin arıza tespitinde yüksek doğruluk sağladığını ortaya koydu [5]. İş sağlığı ve güvenliği alanında akıllı sensörler son yıllarda daha çok kullanılmaya başladı. Park ve ekibi, çalışanların güvenliğini artırmak için akıllı giyilebilir sistem geliştirdi. Akıllı giyilebilir sistem sensör verilerini anlık olarak izlemektedir. Akıllı giyilebilir sistem sensör verileri, iş güvenliği analizlerinde kullanılmaktadır [6].

Derin öğrenme modelleri, zaman serisi verilerini inceleyerek endüstriyel sistemlerde arıza bulmada önemli bir iş yapıyor. Zhao ve ekibi, LSTM tabanlı bir model geliştirdi. Bu model, sensörlerden gelen zaman serisi verileriyle makine arızalarını tespit etmenin etkili bir yol olduğunu gösterdi [7]. Nesnelerin İnterneti tabanlı sistemler, endüstriyel ekipmanların çalışma durumunu sürekli izleyebiliyor. Wang ve arkadaşları geliştirdiği Nesnelerin İnterneti tabanlı akıllı izleme sistemi, endüstriyel ekipmanların çalışma verilerini gerçek zamanlı olarak analiz edebilmektedir [8]. Bu sistemleri izlerken, endüstriyel ekipmanın çalışma durumunu anında görebiliyoruz.

Endüstri 4.0 teknolojileri gelişerek fabrikalarda dijital dönüşümü hızlandırdı. Zhou ve ekibi bu teknolojilerin akıllı üretim ortamları kurmaya yardımcı olduğunu ifade etmiştir [9]. Xu ve ekibi ise, Endüstri 4.0'ın veri odaklı karar mekanizmalarını geliştirdiğini vurgulamıştır [10]. Akıllı fabrika kavramı, Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim sistemlerine uygulanmasıyla ortaya çıkan yeni bir üretim modeli olarak tanımlanıyor. Wang ve arkadaşları, akıllı fabrikalarda üretim sistemlerinin sensörler ve veri analitiği yöntemleriyle sürekli izlenebildiğini göstermiş [11] . Benzer şekilde, Chen ve arkadaşları, akıllı fabrika sistemlerinin üretim süreçlerini daha güvenli, esnek ve verimli hâle getirdiğini belirtmiştir [12].

Makine arızalarını bulmak için, yapay zekâ kullanan yöntemler, yani, endüstriyel sistemlerin güvenli ve etkili çalışması için önemli bir araştırma konusudur. Li ve arkadaşları, döner makinelerdeki arızaları bulmak için yapay zekâ kullanan yöntemlerin çok doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir [13].

Makine öğrenmesi modellerinin performansını etkileyen bir faktör, veri setindeki özelliklerin doğru seçilmesidir. Özelliklerin doğru seçilmesi, modelin başarısını doğrudan etkiler. Tang ve arkadaşları, makine öğrenmesi modellerinde özellik seçiminin model doğruluğunu artırdığını belirtmiştir [14]. Goodfellow ve arkadaşları geliştirdiği derin öğrenme yöntemleri, büyük veri setlerini analiz etmek ve karmaşık sistem davranışlarını modellemek için güçlü araçlar olmaktadır [15].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Endüstri 4.0 teknolojileri, IoT tabanlı izleme sistemleri ve yapay zekâ tabanlı arıza teşhis yöntemlerinin endüstriyel sistemlerde önemli ilerlemeler sağladığı görülmektedir. Ancak iş ekipmanlarının güvenli kullanımına yönelik sensör verileri ve yapay zekâ yöntemlerini bütünleşik olarak ele alan çalışmaların sınırlı olduğu dikkat çekmektedir. Bu nedenle sensör verilerinin yapay zekâ algoritmaları ile analiz edilmesine dayanan akıllı güvenlik sistemlerinin geliştirilmesi, iş sağlığı ve güvenliği alanında önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır.

3. Metodoloji

Bu çalışmada, bir iş ekipmanını akıllı sensörler, nesnelerin interneti tabanlı veri iletişim sistemi ve yapay zekâ algoritmalarıyla akıllı bir ekipmana dönüştürmek için tam bir sistem yapısı oluşturulmuştur. Sistem üç ana parçadan oluşur: sensör veri toplama bölümü, veri gönderme ve saklama altyapısı ve yapay zekâ analiz bölümü.

3.1 Sensör Tabanlı Veri Toplama Sistemi

Bu çalışmada iş ekipmanının nasıl çalıştığını izlemek için farklı tipte sensörler yerleştirildi. Sensörler ekipmanın kullanım durumunu ve çevresel koşulları sürekli olarak kaydediyor, sensörler veri topluyor. Kullanılan sensör türleri aşağıdaki gibidir:

- Titreşim sensörleri, ekipman çalışırken oluşan mekanik titreşimleri ölçer. Bir anormallik tespit edilirse, titreşim sensörleri anormal bir çalışma durumunu belirler.
- Sıcaklık sensörleri, Motor ya da mekanik bileşenlerde, nerede olursa olsun, aşırı ısınma durumlarını tespit etmek için kullanılır. Böylece sistem güvenli kalır.
- Yük sensörleri, ekipmanın güvenli çalışma kapasitesini aşabilecek yük durumlarını tespit eder. Yani, bu sensörler, yükleri belirlemek amacıyla çalışır.
- Konum sensörleri (GPS veya IMU), yani cihazın hareketlerini ve konumunu, çalışma alanında izlemek için kullanılır. Konum sensörleri konumu ve hareketi takip eder.

Bu sensörlerden gelen veriler, ekipmanın çalışmasını anında izleyebileceğimiz bir akış oluşturur. Yani, bu araştırmada geliştirdiğimiz akıllı iş ekipmanı güvenlik sisteminin başarısı, sensör verilerinin doğruluğuna, çeşitliliğine ve sürekliliğine bağlıdır. Bu yüzden proje kapsamında hazırlayacağımız veri seti, iş ekipmanının çalışma koşullarını çok yönlü yansıtacak şekilde tasarlanır. Veri seti, ekipmanın mekanik davranışını, kullanım yoğunluğunu, çevresel durumunu ve operasyona bağlı risk göstergelerini kapsar. Bu veri seti, bir operatörün ekipmanı izlerken işini kolaylaştırmak için dört ana sensör grubundan gelen ölçümlerden oluşur: titreşim sensörleri, sıcaklık sensörleri, yük sensörleri ve Küresel Konumlandırma Sistemi ve

Eylemsizlik Ölçüm Birimi sensörleri. Titreşim sensörleri, ekipmanın normal ya da anormal mekanik davranışlarını izlemek için kullanılır, yani bir titreşim değişirse hemen fark eder.

Sıcaklık sensörleri, motor ve kritik parçaların aşırı ısınmasını tespit eder, böylece sıcaklık yükseldiğinde alarm verir. Yük sensörleri, ekipmanın kapasite sınırları içinde çalışıp çalışmadığını kontrol eder, yani bir aşırı yük oluşursa aşırı yükü bildirir. Küresel Konumlandırma Sistemi ve Eylemsizlik Ölçüm Birimi sensörleri, ekipmanın konumunu, eğimini, hareket yönünü ve ani hareket değişimlerini izler, yani bir yön değişikliği ya da ani hareket olursa kaydeder. Veri toplama sürecinde iki farklı veri yapısı var. Birincisi ham zaman serisi verileri; sensörlerden doğrudan gelen sürekli ölçümler. İkincisi ham zaman serisi verilerinden türetilen özellik verileri; ortalama, maksimum, minimum, standart sapma, titreşim frekans bileşenleri, sıcaklık artış hızı, yük değişim oranı ve hareket sapmaları gibi analiz için anlamlı parametreler. Özellik verileri, yapay zekâ modellerinin eğitimi ve performans karşılaştırmaları için daha uygun bir veri tabanı sunar. Özellik verileri tabanı, model eğitimi ve karşılaştırma işini kolaylaştırır.

Makine öğrenmesi modelleri eğitilerek veri seti, eğitim, doğrulama ve test bölümlerine ayrılmıştır. Veri etiketleme yapılmış ve her bir veri örneği “normal durum”, “düşük risk”, “orta risk” ve “yüksek risk” olarak sınıflandırılmıştır. Arıza ya da tehlikeli kullanım senaryoları “anomali” olarak işaretlenmiş, veri etiketleme ve sınıflandırma yapısı sayesinde Random Forest, Support Vector Machine ve Long Short-Term Memory modelleri hem sınıflandırma hem de anomali tespiti için kullanılabilecek duruma getirilmiştir.

3.2 IoT Tabanlı Veri İletişim Altyapısı

Sensörlerden gelen veriler kablosuz iletişim teknolojileriyle merkezi veri işleme sistemine gönderilerek, sensörlerden gelen veriler düşük enerji tüketimli Nesnelerin İnterneti iletişim protokolleriyle taşınır. Sistem mimarisi ise aşağıdaki bileşenlerden oluşuyor:

- Sensör veri toplama modülü,
- Mikrodenetleyici cihaz,
- Kablosuz veri iletim modülü,
- Bulut veri sunucusu.

Mikrodenetleyici cihazlar, sensör verilerinin ön işlemesini yapar, veri boyutunu küçültür ve veri aktarımını daha hızlı hale getirir. Mikrodenetleyici cihazlar sayesinde sistem gerçek zamanlı izleme yapabilir, veri depolama yapabilir ve böylece sistem yüksek performans gösterir.

3.3 Yapay Zekâ ile Veri Analizi

Toplanan sensör verileriyle anomali bulmak ve risk sınıflandırması yapmak için makine öğrenmesi algoritmaları kullanıldı. Bu aşamada veri seti aşağıdaki adımlardan geçti:

- Veri temizleme
- Özellik çıkarımı
- Model eğitimi
- Model doğrulama

Risk analizinde kullanılan makine öğrenmesi algoritmaları şunlardır:

- Random Forest
- Support Vector Machine
- Gradient Boosting

- LSTM tabanlı zaman serisi modeli.

Bu algoritmalar ekipman kullanım verilerini öğrenir. Algoritmalar riskleri tahmin eder ve özellikle titreşim ve sıcaklık verilerindeki anormal değişimleri erken uyarı olarak kullanır.

3.4 Risk Tespit ve Uyarı Sistemi

Geliştirilen sistem, tespit edilen risk seviyesine göre operatöre farklı uyarılar gönderiyor. Yani, geliştirilen sistem risk seviyesi ne olursa olsun operatöre uyarı atıyor. Uyarı mekanizması üç seviyede çalışıyor. Aslında uyarı mekanizması üç ayrı seviyede işliyor.

Seviye 1 - önleyici uyarı: Önleyici uyarı, bir sorunu önlemek için verilen bir işarettir.
Sistem operatöre görsel bir bildirim gönderir. Operatör bulunduğu yerde, aynı sistem operatöre mobil bir bildirim de gönderir.

Seviye 2 – Kritik Risk Uyarısı: Sesli uyarı, devreye girer ve hemen duyulur. Ekran bildirimleri, devreye girer.

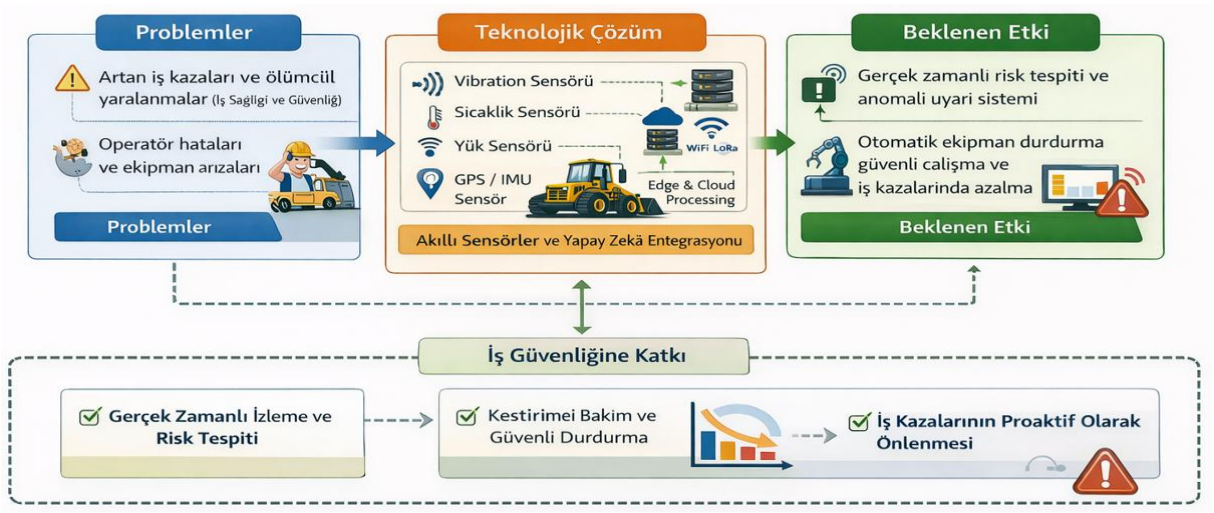
Seviye 3 – Acil Durum: Ekipman otomatik olarak durur, yani sistem güvenli moda geçer. Bu yöntem, operatör hatalarını azaltacak ve ekipman kaynaklı kazaları da önleyecektir.

3.5 Sistem Performans Değerlendirmesi

Geliştirilen modelin performansını ölçmek için saha testleri yapıldı. Test sırasında sensör verileri toplandı ve makine öğrenmesi algoritmalarının risk tespit doğruluğu incelendi. Performans değerlendirmesinde kullanılan metrikler şunlardır:

- Doğruluk oranı
- Hassasiyet
- Duyarlılık
- F1 skoru

Bu metrikler kullanılarak sistemin potansiyel risk durumlarını erken aşamada tespit edebilme başarısı ölçülmüştür.



Şekil 1: Kavramsal Model

Şekil 1'de araştırmanın kavramsal modelini gösterilmiştir. Araştırma, iş kazalarını azaltmak için ne yaptığını üç temel adımda gösteriyor.

a. Problemler: Modelin ilk kısmı iş sağlığı ve güvenliğiyle ilgili temel sorunları gösterir. Temel sorunlar, iş sağlığı ve güvenliği alanında karşılaşılan en yaygın problemler olarak listelenir.

Bu sorunlar özellikle:

- İş kazaları artışı, ölümcül yaralanmalar,
- Operatörlerin yaptığı hatalar
- İş ekipmanlarında oluşan arızalar.

b. Teknolojik Çözüm: İkinci bölümde önerilen teknolojik çözüm, yani teknolojik çözüm, burada bulunuyor. Teknolojik çözüm aşamasında, geleneksel iş ekipmanları, yani eski makineler, akıllı sensörler ve yapay zekâ teknolojileriyle donatılıyor. Sistem, şu bileşenlerden oluşuyor:

- Titreşim sensörü, mekanik arızaları tespit eder.
- Sıcaklık sensörü, aşırı ısınmayı kontrol eder.
- Yük sensörü (aşırı yüklenme tespiti)
- GPS / IMU sensörü (konum ve hareket izleme).

Şensörlerden gelen veriler Nesnelerin İnterneti sistemi üzerinden kenar ve bulut veri işleme sistemlerine aktarılır. Yani, sensörlerden gelen veriler kenar ve bulut veri işleme sistemlerinde işlenir. Sonra, sensörlerden gelen veriler yapay zeka algoritmalarıyla incelenir ve ekipman kullanımıyla ilgili riskli durumlar ortaya çıkar.

c. Beklenen Etki: Modelin üçüncü kısmında sistemin üreteceği sonuçlar gösteriliyor. Yapay zekâ analizi sayesinde:

- Riskler anlık olarak tespit edilir.
- Anomali uyarı sistemi operatörü bilgilendirir.
- Kritik durumlarda ekipman otomatik durur. Mekanizmalar sayesinde iş kazaları çok azalır, çalışanların güvenliği artar.

d. İş Güvenliğine Katkı: Modelin alt kısmında, projenin iş sağlığı ve güvenliği alanındaki katkılar özetlenir, araştırmanın iş sağlığı ve güvenliği alanındaki katkılar yer alır. Modelin alt kısmı, iş güvenliğine nasıl katkı sağladığını gösterir.

- Anlık izleme ve risk tespiti
- Kestirimci bakım uygulamaları, yani makinelerin ne zaman arızalanacağını önceden söyleyen yöntemler. Kestirimci bakım uygulamaları sayesinde maliyetler düşer, üretim kesintisiz devam eder.
- Güvenli ekipman durdurma mekanizması, ekipmanın güvenli bir şekilde durmasını sağlar.
- İş kazalarının proaktif olarak önlenmesi

Bu model, sensör teknolojileri, IoT veri iletişimi ve yapay zekâ analizi bir arada çalışınca iş ekipmanlarını daha güvenli hâle getirir. Araştırma, eski iş güvenliği yaklaşımları gibi kazalar olduktan sonra müdahale etmeyi değil, riskleri erken tespit ederek önlem almayı hedefler.

Araştırma Hipotezleri:

H1: Sensörler iş ekipmanına takılır, verileri anında izler ve tehlikeli durumları erken fark eder.

H2: Makine öğrenimi ile sensör verilerini analiz eder, eski izleme yöntemlerinden daha doğru bir şekilde ekipman risklerini tespit etmeye yardımcı olur.

H3: Yapay zekâ tabanlı risk analiz sistemleri, operatör hataları ve ekipman arızalarından kaynaklanan potansiyel kazaları önceden tahmin etmeye yardımcı olur. Yapay zekâ tabanlı risk analiz sistemleri riskleri azaltır.
H4: Kestirimci bakım sensör verileriyle yapılmış bir yöntem, ekipmanın arızasını erken bulur ve plansız duruş süresini azaltır.

H5: Akıllı sensör ve yapay zekâ birleştirilmesiyle geliştirilmiş iş ekipmanı güvenlik sistemi, yani iş ekipmanı güvenlik sistemi, iş kazalarını azaltmak için önceden önlem almayı hedefleyen bir iş güvenliği yönetimi yöntemi sunar.

4. Bulgular

Bu çalışmada, araştırmacılar akıllı iş ekipmanı sistemini sensör tabanlı veri toplama, IoT iletişim altyapısı ve yapay zekâ algoritmalarıyla control etmiştir. Akıllı iş ekipmanı sistemi sensör tabanlı veri toplama, IoT iletişim altyapısı ve yapay zekâ algoritmalarıyla test edilmiştir. Test sırasında, akıllı iş ekipmanı sisteminden gelen veri toplandı. Sistem performansı, saha testlerinden elde edilen veriyle incelendi. İncelen veri, titreşim, sıcaklık, yük ve konum gibi ekipmanın çalışma koşulu verileri içeriyordu. Toplanan veri, makine öğrenmesi algoritmalarıyla risk tespiti yapmak için kullanıldı. Sonuçta, makine öğrenmesi algoritmalarıyla risk tespiti yapıldı. Böylece, akıllı iş ekipmanı sistemi risk tespiti için makine öğrenmesi algoritmalarını kullandı.

4.1 Sensör Verilerinin Analizi

Titreşimde ve sıcaklıkta ani artışların ekipman arızalarının erken işareti olduğu belirlendi. Yük sensörlerinden gelen veriler, ekipmanın güvenli çalışma kapasitesinin aşıldığı durumlarda sistemin hatalarının büyük bir rol oynadığını gösterdi. Gerçek zamanlı veri analizi sayesinde bu riskli durumlar erken tespit edildi, operatörlere uyarı gönderilerek operatörlerin bu uyarılara hemen yanıt vermesi sağlandı. Böylece potansiyel kazaları önlemek için erken müdahale imkanı sağlandı.

4.2 Makine Öğrenmesi Modellerinin Performans Karşılaştırması

Veri seti toplanarak farklı makine öğrenmesi algoritmalarını uygulandı. Risk tespiti performansını ortaya koymak için kullanılan algoritmalar (Random Forest, Support Vector Machine, Gradient Boosting ve Long Short-Term Memory modelleri) karşılaştırıldı (Tablo 1).

Tablo 1: Makine Öğrenmesi Modellerinin Risk Tespit Performansı

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score
Random Forest	0.91	0.89	0.90	0.89
SVM	0.87	0.85	0.86	0.85
Gradient Boosting	0.92	0.90	0.91	0.90
LSTM	0.94	0.92	0.93	0.92

Tablo 1 incelendiğinde en yüksek performansın LSTM tabanlı zaman serisi modeli tarafından elde edildiği görülmektedir. Bu durum, 438ystem verilerinin zaman serisi niteliği taşıması nedeniyle derin öğrenme tabanlı modellerin daha yüksek doğruluk oranları sağlayabildiğini göstermektedir.

4.3 Akıllı Sistem Entegrasyonunun Güvenlik Performansına Etkisi

Geliştirilen sistemin iş güvenliği üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla akıllı sistem entegrasyonu öncesi ve sonrası riskli kullanım durumları karşılaştırılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2: Sistem Entegrasyonu Öncesi ve Sonrası Risk Tespiti

Performans Göstergesi	Geleneksel Sistem	Akıllı Sistem
Riskli kullanım tespit oranı	%62	%91
Operatör uyarı başarısı	%55	%88
Ekipman arıza erken tespiti	%48	%86
Plansız duruş süreleri	%100 (referans)	%63

Tablo 2'deki sonuçlara göre, akıllı sistemlerin entegre edilmesinin ardından riskli kullanım durumlarının tespitinde belirgin bir artış sağladığı ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, ekipman arızalarının erken saptanmasıyla birlikte beklenmedik duruş sürelerinde önemli ölçüde azalma yaşandığı gözlemlenmiştir.

4. Sonuçlar

Sistem aracılığıyla elde edilen sensör verileri, ekipmanın bakım süreçlerini daha etkili bir şekilde organize etmeyi mümkün kılmıştır. Tahminsel bakım yöntemi sayesinde ekipman arızaları önceden öngörülebilmiş ve bu doğrultuda bakım faaliyetleri planlanabilmiştir. Bu durum, üretim süreçlerindeki öngörülemeyen duraklamaların azalmasına yardımcı olmuştur. Araştırma bulguları, sensör verileri ile yapay zeka algoritmalarının bir arada kullanılmasının iş ekipmanlarının güvenli şekilde kullanılmasını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Geliştirilen sistem, iş kazalarını önlemeye yönelik önleyici bir yöntem sunmaktadır.

Bu araştırmada, geleneksel çalışma ekipmanlarının sensör teknolojileri, IoT tabanlı veri iletişim altyapısı ve yapay zeka algoritmalarını kullanarak akıllı sistemlere dönüştürülmesine ilişkin

bütüncül bir model sunulmuştur. Önerilen sistem, ekipmanın çalışma koşullarını anlık olarak takip ederek olası riskleri daha erken safhada tespit etmeye yardımcı olmaktadır. Bu sayede, operatör hataları ya da ekipman arızaları nedeniyle meydana gelebilecek iş kazalarının önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma çerçevesinde yapılan analizler, sensör tabanlı veri toplama sistemleri ile elde edilen bilgilerin makine öğrenmesi algoritmaları kullanılarak incelenmesinin risk tespitindeki doğruluğu önemli ölçüde artırdığını ortaya koymaktadır. Özellikle zaman serisi verileri için kullanılan LSTM tabanlı modellerin, yüksek doğrulukla riskli kullanım senaryolarını tahmin edebildiği ortaya konmuştur. Bu durum, akıllı veri analizi yöntemlerinin iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarında etkili bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Sistem entegrasyonu tamamlandıktan sonra, ekipman arızalarının erken dönemde tespit edilmesi sayesinde kestirimci bakım uygulamalarının uygulanabilir hale geldiği gözlemlenmiştir. Bu yaklaşım, üretim süreçlerinde meydana gelen beklenmedik duruş sürelerini azaltarak operasyonel verimliliği yükseltmekte ve bakım maliyetlerinin düşmesine yardımcı olmaktadır.

Bu araştırma, akıllı sensörler ile yapay zekanın entegrasyonunun iş ekipmanlarının güvenli kullanımını artırma potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Geliştirilen model, çeşitli sektörlerdeki iş ekipmanlarına uyum sağlaması açısından esneklik sunmakta ve özellikle yüksek riskli çalışma alanlarında iş kazalarının azaltılmasında önemli bir rol oynayabilir. Ayrıca, önerilen sistem mimarisi Endüstri 4.0 ile de entegre edilebilmektedir. Sıfır tabanlı üretim ortamlarında, veri odaklı iş güvenliği yönetimi yönteminin geliştirilmesine katkıda bulunan önemli unsurlar mevcuttur. Bu araştırmanın sonuçları, akıllı iş ekipmanlarının daha detaylı bir şekilde incelenmesini gerektirdiğini göstermektedir. Özellikle sensör verilerinin analizi, yapay zekâ destekli risk tahminleri ve otomatik güvenlik sistemlerinin entegrasyonu üzerine gerçekleştirilecek araştırmalar, gelecekte daha güvenli ve sürdürülebilir üretim alanlarının meydana gelmesine yardımcı olacaktır.

Kaynaklar

Lee, J.; Bagheri, B.; Kao, H.-A. A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems. *Manufacturing Letters* **2015**, *3*, 18–23. DOI: https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001

Wan, J.; Tang, S.; Li, D.; Wang, S.; Liu, C.; Abbas, H.; Vasilakos, A.V. A Manufacturing Big Data Solution for Active Preventive Maintenance. *IEEE Transactions on Industrial Informatics* **2017**, *13*, 2039–2047. DOI: https://doi.org/10.1109/TII.2017.2670505

Qin, S.; Liu, Y.; Grosvenor, R. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. *Procedia CIRP* **2016**, *52*, 173–178. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.043

Zhang, Y.; Wang, S.; Ji, G.; Phillips, P. A Prediction Model of Equipment Failure Based on Machine Learning. *Applied Sciences* **2019**, *9*, 239. DOI: https://doi.org/10.3390/app9020239

Chen, X.; Li, Y.; Huang, H. Deep Learning-Based Fault Diagnosis in Industrial Systems. *Sensors* **2020**, *20*, 432. DOI: https://doi.org/10.3390/s20020432

Park, J.; Kim, K.; Cho, Y. Development of Smart Wearable Systems for Construction Worker Safety. *Automation in Construction* **2017**, *83*, 134–142. DOI: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.03.015

Zhao, Z.; Chen, W.; Wu, X.; Chen, P. LSTM Network for Machinery Fault Diagnosis. *Mechanical Systems and Signal Processing* **2017**, *85*, 108–121. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2016.08.019

Wang, K.; Liu, Y.; Liang, X. IoT-Based Intelligent Monitoring System for Industrial Equipment. *IEEE Access* **2020**, *8*, 172211–172222. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024274

Zhou, K.; Liu, T.; Zhou, L. Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges. *Proceedings of the IEEE* **2015**, *103*, 167–171. DOI: https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2388958

Xu, L.D.; Xu, E.L.; Li, L. Industry 4.0: State of the Art and Future Trends. *International Journal of Production Research* **2018**, *56*, 2941–2962. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806

Wang, S.; Wan, J.; Li, D.; Zhang, C. Implementing Smart Factory of Industry 4.0. *International Journal of Distributed Sensor Networks* **2016**, *12*, 3159805. DOI: https://doi.org/10.1155/2016/3159805

Chen, B.; Wan, J.; Shu, L.; Li, P.; Mukherjee, M.; Yin, B. Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies and Applications. *IEEE Access* **2018**, *6*, 6505–6519. DOI: https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682

Li, X.; Zhang, W.; Ding, Q. Intelligent Fault Diagnosis Methods for Rotating Machinery. *Mechanical Systems and Signal Processing* **2019**, *133*, 106204. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106204

Tang, J.; Alelyani, S.; Liu, H. Feature Selection for Machine Learning. In *Data Classification: Algorithms and Applications*; Aggarwal, C.C., Ed.; Chapman & Hall/CRC: Boca Raton, USA, **2014**; pp. 37–64. DOI: https://doi.org/10.1201/b17320

Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. *Deep Learning*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, **2016**.
DOI: https://doi.org/10.7551/mitpress/10243.001.0001

ELEKTRONİK CİHAZLARDA KAPASİTİF INRUSH AKIM SINIRLAMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elektronik Tasarım Mühendisi Bahadır GÜVEN
ME-GE Teknik, Saray OSB Mahallesi 06980, Ankara
ORCID ID: 0000-0003-3814-1418

ÖZET
Ani kalkış akımı (inrush current), elektronik cihazlar ilk enerjilendirildiğinde kısa bir süre boyunca ortaya çıkan ve normal çalışma akımının oldukça üzerine çıkabilen geçici bir akımdır. Bu akım, özellikle giriş kapasitörlerinin şarj olması ve manyetik elemanların ilk mıknatıslanması sırasında oluşmaktadır. Yüksek ani kalkış akımı; sigortaların gereksiz yere açılmasına, anahtarlama elemanlarının aşırı zorlanmasına, giriş geriliminde geçici düşümlerin meydana gelmesine, güç kalitesinin bozulmasına ve sistem güvenilirliğinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle ani kalkış akımının uygun yöntemlerle sınırlandırılması, güç elektroniği sistemlerinin güvenilir, kararlı ve uzun ömürlü çalışmasının sağlanması açısından önemli bir tasarım kriteridir. Bu çalışmada, elektronik cihazlarda kullanılan kapasitif ani kalkış akımı sınırlama teknikleri ele alınmış ve literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler genel hatlarıyla incelenmiştir. Öncelikle kapasitif ani kalkış akımının oluşum mekanizması ve güç elektroniği sistemleri üzerindeki etkileri açıklanmıştır. Ardından çalışma prensipleri, kullanım alanları ve temel özellikleri bakımından değerlendirilmiştir. Ayrıca yöntemlerin maliyet, verim, güç kaybı, devre karmaşıklığı ve gibi temel tasarım kriterleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bunun yanında, her bir yöntemin avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak ele alınmış, literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda farklı akım sınırlama tekniklerinin performansını belirleyen başlıca faktörler değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, kapasitif ani kalkış akımı sınırlama tekniklerine ilişkin kapsamlı bir genel bakış sunmak ve farklı elektronik uygulamalarda kullanılabilecek yöntemlerin seçiminde yol gösterici bilgiler sağlamaktır. Elde edilen değerlendirmelerin, güç elektroniği alanında çalışan araştırmacılar ve tasarım mühendisleri için faydalı bir başvuru kaynağı oluşturması hedeflenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Inrush Akım, Inrush Akım Sınırlayıcısı, Güç Elektroniği,

AN INVESTIGATION OF CAPACITIVE INRUSH CURRENT LIMITING TECHNIQUES IN ELECTRONIC DEVICES

ABSTRACT
Inrush current is a transient current that occurs for a short period when electronic devices are first energized and can significantly exceed the normal operating current. This current is primarily caused by the charging of input capacitors and the initial magnetization of magnetic components. Excessive inrush current may lead to unnecessary fuse operation, excessive stress on switching devices, temporary input voltage drops, degradation of power quality, and reduced system reliability. Therefore, limiting inrush current using appropriate techniques is an important design consideration to ensure the reliable, stable, and long-term operation of power electronic systems. In this study, capacitive inrush current limiting techniques used in electronic devices are reviewed, and the methods commonly reported in the literature are examined. First, the formation mechanism of capacitive inrush current and its effects on power electronic systems are discussed. Subsequently, current limiting methods are evaluated in terms of their operating principles, application areas, and key characteristics. In addition, the impact of these methods on fundamental design criteria, including cost, efficiency, power loss, and circuit

complexity, is investigated. Furthermore, the advantages and disadvantages of each technique are comparatively analyzed, and the key factors influencing the performance of different current limiting methods are evaluated based on the existing literature. The aim of this study is to provide a comprehensive overview of capacitive inrush current limiting techniques and to offer guidance for selecting appropriate methods for various electronic applications. It is expected that the findings presented in this study will serve as a useful reference for researchers and design engineers working in the field of power electronics.

Keywords: Inrush Current, Inrush Current Limiter, Power Electronics

CSPBI₃ PEROVSKİT GÜNEŞ HÜCRELERİNİN SCAPS-1D SİMÜLASYONU, BOX-BEHNKEN TASARIMI (BBD) VE GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK OPTİMİZASYONU

Dr. Öğr. Üyesi Samed ÇETİNKAYA
Mersin University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Medical Services and Techniques, Program of Opticianry, 33343, Mersin, Turkey
Mersin University, Institute of Science, Department of Nanotechnology and Advanced Materials, 33343, Mersin, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-7476-9467

ÖZET

Tüm inorganik $CsPbI_3$ perovskit güneş pilleri, üstün termal kararlılıkları ve umut verici fotovoltaik performansları nedeniyle son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Bununla birlikte, cihaz verimi; soğurucu tabakanın kalınlığı, kusur yoğunluğu ve katkılama (doping) konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelere önemli ölçüde bağlıdır. Bu çalışmada, SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator one Dimensional) simülasyonu ile Box-Behnken Deney Tasarımı (BBD) yanıt yüzeyi metodolojisinin birlikte kullanılmasıyla $CsPbI_3$ tabanlı perovskit güneş pillerinin sayısal optimizasyonu gerçekleştirilmiştir [1–3].

Simülasyonu gerçekleştirilen güneş pili yapısı $FTO/TiO_2/CsPbI_3$/Spiro-OMeTAD/Au katmanlarından oluşmaktadır. Optimizasyon parametreleri olarak; soğurucu tabaka kalınlığı (400–1000 nm), kusur yoğunluğu (10^{13}–10^{17} cm^{-3}) ve akseptör katkılama konsantrasyonu (10^{14}–10^{16} cm^{-3}) olmak üzere üç bağımsız değişken seçilmiştir. Üç faktörlü Box-Behnken deney tasarımı kapsamında toplam 15 simülasyon gerçekleştirilmiş ve bu parametrelerin güç dönüşüm verimi (PCE) üzerindeki bireysel ve ortak etkileri incelenmiştir. Elde edilen simülasyon sonuçları, ikinci dereceden regresyon modelinin oluşturulması ve yanıt yüzeyi grafiklerinin elde edilmesi amacıyla MATLAB-Genetik Algoritma (GA) kullanılarak analiz edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, soğurucu tabakadaki kusur yoğunluğunun, cihaz verimini etkileyen en önemli parametre olduğunu göstermiştir. Kusur yoğunluğunun artması, Shockley-Read-Hall (SRH) yeniden birleşme (rekombinasyon) mekanizmasını artırarak fotovoltaik performansta belirgin bir düşüşe neden olmuştur. Yanıt yüzeyi analizleri, orta seviyede soğurucu tabaka kalınlığı ile düşük kusur yoğunluğunun en uygun çalışma bölgesini oluşturduğunu ortaya koymuştur. Optimum çalışma koşullarında, $CsPbI_3$ tabanlı perovskit güneş pili için %22'nin üzerinde güç dönüşüm verimi (PCE) elde edilmiştir.

Sunulan SCAPS–MATLAB tabanlı optimizasyon yaklaşımı, perovskit güneş pillerinin tasarımının optimize edilmesinde hesaplama maliyeti düşük, hızlı ve etkili bir yöntem sunmakta olup, diğer fotovoltaik cihaz mimarilerine de kolaylıkla uygulanabilecek potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: $CsPbI_3$, perovskit güneş pili, SCAPS-1D, Box-Behnken Deney Tasarımı, Yanıt Yüzeyi Metodolojisi, Genetik Algoritma, optimizasyon, güç dönüşüm verimi (PCE).

OPTIMIZATION OF CSPBI₃ PEROVSKITE SOLAR CELLS USING SCAPS-1D SIMULATION, BOX-BEHNKEN DESIGN (BBD) AND GENETIC ALGORITHM

ABSTRACT

All-inorganic $CsPbI_3$ perovskite solar cells have attracted considerable attention owing to their excellent thermal stability and promising photovoltaic performance. However, device efficiency strongly depends on several absorber layer parameters, including thickness, defect density, and doping concentration. In this study, a numerical optimization of $CsPbI_3$-based

perovskite solar cells was carried out using SCAPS-1D (Solar Cell Capacitance Simulator one Dimensional) simulation coupled with Box-Behnken (BBD) response surface methodology [1-3].

The simulated device structure consisted of FTO/TiO_2/$CsPbI_3$/Spiro-OMeTAD/Au layers. Three independent variables, namely absorber thickness (400-1000 nm), defect density (10^{13}-$10^{17}cm^{-3}$), and acceptor concentration (10^{14}-10^{16} cm^{-3}), were selected as optimization parameters. A three-factor Box-Behnken design requiring fifteen simulation runs employed to evaluate the combined effects of these parameters on power conversion efficiency (PCE). The obtained simulation results were analyzed using MATLAB-Genetic algorithm (GA) to establish a second-order regression model and generate response surface plots.

The results demonstrated that absorber defect density is the most influential parameter affecting device efficiency. Increasing defect density significantly reduced the photovoltaic performance due to enhanced Shockley-Read-Hall recombination. The response surface analysis revealed an optimum region corresponding to moderate absorber thickness and low defect density. Under optimized conditions, the CsPbI3 solar cell achieved a predicted efficiency exceeding 22%.

The presented SCAPS-MATLAB framework provides an efficient and computationally economical approach for optimizing perovskite solar cells and can extended to other photovoltaic device architectures.

Keywords: $CsPbI_3$, Perovskite Solar Cell, SCAPS-1D, Box-Behnken Design, Response Surface Methodology, MATLAB.

BİR BÜTÜN OLARAK SUBMANDİBULAR LOJA DEPLASE OLMUŞ ALT 20 YAŞ DİŞİNİN İNTRAORAL YAKLAŞIMLA ÇIKARILMASI: OLGU SUNUMU

Uzm. Dt. Mustafa Can GÜRBÜZ
Sahinbey Oral and Dental Health Hospital, Oral and Maxillofacial Surgery, Sahinbey, Gaziantep
RCID ID: 0000-0001-5392-7238

ÖZET
Bu çalışmada, çekim esnasında bir bütün olarak submandibular loja yer değiştiren alt 20 yaş dişi olgusunun cerrahi tedavisi sunulmuş ve benzer vakaların tedavi sürecine katkı sağlanması amaçlanmıştır. 40 yaş erkek hasta, 48 nolu alt 20 yaş diş çekiminin elevasyon aşamasında dişin bir bütün olarak linguale hareketi ve gözden kaybolması hikayesiyle cerrahi kliniğimize yönlendirilmiştir. CBCT incelemesinde hastanın alt 20 yaş dişi, lingual kemik plakasıyla birlikte bir bütün olarak submandibular lojda izlenmiştir. İntraoral yaklaşımla lokal anestezi altında bukkal ve lingual flap kaldırılmıştır. Dişin daha derin dokulara deplase olmasını engellemek adına ekstraoral basıyla beraber submandibular loja doğru diseksiyon yapılarak diş ve kemik plakası tek parça halinde çıkarılmıştır. Bölge süture edilip, hastaya postoperatif ilaçlar reçete edilmiş ve postoperatif tavsiyeler verilmiştir. Takip sürecinde hastada ciddi bir ağrı veya ödem bulgusu izlenmemiştir. Dil, dudak veya çevre dokularda uyuşukluk hissi görülmemiştir. Diş çekimi sırasında alt 20 yaş dişi veya fragmanlarının anatomik lojlara deplase olması intraoperatif komplikasyonlardan biridir. Submandibular loja kaçan dişin çıkarılmasında lokal anestezi altında uygulanan intraoral yaklaşım en az invaziv yöntem olması sebebiyle tercih edilebilecek bir yöntemdir.
Anahtar kelimeler: Diş deplasmanı, Submandibular loj, Yirmi yaş diş çekimi

EXTRACTION OF A DISPLACED LOWER TWENTY-YEAR-OLD WISDOM TOOTH IN THE SUBMANDIBULAR LODGE VIA INTRAORAL APPROACH: CASE REPORT

ABSTRACT
This study presents the surgical treatment of a case of a lower wisdom tooth that displaced entirely into the submandibular chamber during extraction, aiming to contribute to the treatment process of similar cases. A 40-year-old male patient was referred to our surgical clinic with a history of lingual displacement and disappearance of his lower wisdom tooth, number 48, during the elevation phase of extraction. A CT scan revealed the lower wisdom tooth, along with its lingual bone plate, intact in the submandibular chamber. An intraoral approach with local anesthesia was used to raise the buccal and lingual flaps. To prevent displacement of the tooth into deeper tissues, dissection was performed towards the submandibular chamber with extraoral pressure, and the tooth and bone plate were removed in one piece. The area was sutured, and the patient was prescribed postoperative medications and given postoperative advice. During follow-up, the patient did not experience significant pain or edema. There was no numbness in the tongue, lips, or surrounding tissues. Displacement of the lower wisdom tooth or its fragments into anatomical sockets during tooth extraction is one of the intraoperative complications. Intraoral approach under local anesthesia is a preferred method for extracting a tooth that has displaced into the submandibular socket, as it is the least invasive method.
Keywords: Submandibular lodge, Tooth displacement, Wisdom tooth extraction

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

RUTİN MUAYENEDE SAPTANAN NAZOPALATİN KANAL KİSTİNİN ENÜKLEASYONLA TEDAVİSİ: OLGU SUNUMU

Uzm. Dt. Mustafa Can GÜRBÜZ
Sahinbey Oral and Dental Health Hospital, Oral and Maxillofacial Surgery, Sahinbey, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0001-5392-7238

ÖZET
Çenelerdeki nonodontojenik kistlerin en yaygını olan nazopalatin kanal kisti, insisiv kanal kisti olarak da bilinir ve üst çene orta hatta görülür. Erkeklerde görülme sıklığı kadınlara göre 3 kat daha fazladır ve genellikle 40-60 yaş aralığında görülür. Bu çalışma, implant öncesi planlama aşamasında tespit edilen nazopalatin kanal kistinin tanı ve tedavi sürecinin paylaşılması amacıyla yapılmıştır. 68 yaş alt üst çene tam dişsiz erkek hasta sabit diş talebiyle cerrahi kliniğine başvurmuştur. Anamnezde 5 yıl önce koroner anjio operasyonu geçirdiği ve stent taşıdığı, antikoagülan ilaç tedavisi aldığı öğrenilmiştir. İmplant planlaması için alınan CBCT değerlendirmesi sırasında üst çene anteriorda orta hatta 2 cm çapında sınırları belirgin radyolusent alan görülmüştür. Hastanın ilgili bölgede herhangi bir şikayeti yoktur ve ağız içi muayenede şişlik, kızarıklık gibi bir bulgu görülmemiştir. Radyolojik öntanı nasopalatin kanal kistini düşündürmüş ve lezyonun enükleasyonuna karar verilmiştir. Lokal anestezi altında mukoperiosteal flep kaldırılarak lezyonun tamamı çıkarılmış aynı seansta üst çeneye 6 adet dental implant uygulanarak bölge sütüre edilmiştir. Postoperatif ilaçlar reçete edilerek hastaya gerekli öneriler verilmiştir. Histopatolojik inceleme sonucunda lezyonun nazopalatin kanal kisti olduğu saptanmıştır. Takip eden süreçte kist çıkarılan bölgenin 3. ayda büyük oranda kemikleştiği görülmüştür. Dental implantların osteointegrasyonunda herhangi bir problem yaşanmamıştır. Asemptomatik olan ve çoğunlukla rutin muayenede karşımıza çıkan nazopalatin kanal kistlerinin tanısında radyolojik görüntüleme önemlidir. Lezyon cerrahi enükleasyonla tamamen tedavi edilebilmektedir.
Anahtar kelimeler: Enükleasyon, İnsisiv kanal kisti, Nazopalatin kanal kisti

TREATMENT OF NAZOPALATINE CANAL CYST DETECTED DURING ROUTINE EXAMINATION WITH ENUCLEATION: CASE REPORT

ABSTRACT
Nasopalatine canal cysts, also known as incisive canal cysts, are the most common nonodontogenic cysts in the jaws and are seen in the midline of the upper jaw. They are three times more common in men than in women and usually occur between the ages of 40 and 60. This study was conducted to share the diagnosis and treatment process of a nasopalatine canal cyst detected during the pre-implant planning stage. A 68-year-old male patient with complete edentulism (lower and lower jaw) presented to the surgical clinic with a request for fixed dental implants. His medical history revealed that he had undergone coronary angiography 5 years prior, had a stent, and was receiving anticoagulant medication. During a CBCT evaluation for implant planning, a 2 cm diameter, well-defined radiolucent area was observed in the midline of the anterior upper jaw. The patient had no complaints in the affected area, and intraoral examination revealed no swelling or redness. The preliminary radiological diagnosis suggested a nasopalatine canal cyst, and enucleation of the lesion was decided upon. Under local anesthesia, a mucoperiosteal flap was raised, the entire lesion was removed, and 6 dental implants were placed in the upper jaw in the same procedure, after which the area was sutured.

Postoperative medications were prescribed, and the patient was given necessary advice. Histopathological examination confirmed the lesion to be a nasopalatine canal cyst. In the follow-up period, significant ossification was observed in the area from which the cyst was removed by the 3rd month. No problems were encountered during the osseointegration of the dental implants. Radiological imaging is important in the diagnosis of nasopalatine duct cysts, which are asymptomatic and often discovered during routine examination. The lesion can be completely treated with surgical enucleation.
Keywords: Enucleation, Incisive duct cyst, Nasopalatine duct cyst

ÇOCUKLARIN OYUNLARINA YÖNELİK ALGI VE TUTUMLARININ BOŞ ZAMAN SOSYOLOJİSİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ[98]

ABDULCEBBAR ÖZDEMİR
Milli Eğitim Bakanlığı
0009-0006-2379-5311
ERDAL ÇETİN
Batman Üniversitesi
0000-0003-4258-123X

ÖZET
Bu çalışma, çocukların yaşamlarında önemli bir yer tutan oyun olgusunu ele almakta ve çocukların oyun algılarını ve açık alanda oyuna yönelik tutumlarını sosyolojik bir bakış açısıyla incelemektedir. Araştırmada nicel araştırma yöntemi kullanılmış ve araştırma deseni olarak ilişkisel modeli benimsenmiştir. Çocuk katılımcılardan bilgi toplamak amacıyla demografik form, Çocukların Oyunlarına Yönelik Algıları Ölçeği ile Açık Alanda Oyuna Yönelik Tutumları Ölçeğinden faydalanılmıştır. Siirt'in Kurtalan ilçesindeki ilkokulda okuyan 4. sınıf öğrencilerini kapsayan çalışmaya 193 (%51,7) erkek, 180 (%48,3) kız öğrenci katılmıştır. Araştırmada elde edilen veriler t-testi ve ANOVA ile analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre çocukların oyunlarına yönelik algıları ile ilişkili olarak Okul Dışı Zaman Etkinliği alt boyutunda cinsiyete göre anlamlı bir fark ($p=0,02$) olduğu ve erkek çocukların kız çocuklarına göre daha yüksek puan ortalamasına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çocukların Oyunlarına Yönelik Algıları Ölçeği alt boyut puanlarının yaşadığı yere göre farklılaşıp farklılaşmadığına bakıldığında ise Sosyallik alt boyutunda ilçede yaşayan çocukların ortalamalarının ($\bar{x}=11,36$), köyde yaşayan çocukların ortalamalarından ($\bar{x}=10,55$) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir ölçek olan Çocukların Açık Alanda Oyun Tutumları Ölçeği alt boyutları cinsiyete göre değerlendirildiğinde Korkular alt boyutunda kız çocukların ortalamalarının ($\bar{x}=12,29$), erkek çocukların ortalamalarından ($\bar{x}=11,13$) yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda kızların oyunlarına yönelik tutumları konusunda erkek çocuklara göre daha fazla korku tutumu geliştirdiği görülmektedir. Yine her iki ölçek puanı ile çocukların ebeveyn özellikleri ve konut yapıları incelenmiş ve anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Son olarak çocukların oyunlarına yönelik algıları ve açık alanda oyun tutumu alt boyutları arasındaki ilişkiye bakılmış, Sosyallik algısı alt boyutu ($r=0,13$; $p<0,05$) ile Faydalar ve Yapılandırılmamış Oyun alt boyutları arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Sonuç olarak elde edilen veriler çocukların etkinliklerinde oyun-mekan ilişkisi bağlamında yerleşik bazı davranış örüntüleri görülmekle birlikte teknolojik ilerlemeler ile birlikte toplumsal yapıların değişime uğradığı ve bu değişimin boş zaman etkinliklerine yansıdığı belirlenmiştir.
Anahtar Kelimeler : Boş zaman, çocuk, oyun algısı, oyuna yönelik tutum.

[98] Bu çalışmada, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü bünyesinde hazırlanan "Çocukların Oyunlarına Yönelik Algıları ve Açık Alanda Oyuna Yönelik Tutumlarının İncelenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden elde edilen veriler kullanılmıştır.

EVALUATION OF CHILDREN'S PERCEPTIONS OF PLAY AND ATTITUDES TOWARD OUTDOOR PLAY FROM THE PERSPECTIVE OF THE SOCIOLOGY OF LEISURE

ABSTRACT

This study examines the phenomenon of play, which occupies a significant place in children's lives, by investigating children's perceptions of play and their attitudes toward outdoor play from a sociological perspective. A quantitative research method was employed, and the study was designed using a relational model. Data were collected using a demographic questionnaire, the Children's Perceptions of Play Scale, and the Attitudes Toward Outdoor Play Scale. The study sample consisted of 193 (51.7%) boys and 180 (48.3%) girls enrolled in the fourth grade at a primary school in the Kurtalan district of Siirt Province, Türkiye. The collected data were analysed using independent samples t-tests and one-way analysis of variance (ANOVA). The findings revealed a statistically significant gender difference in the Out-of-School Activities sub-dimension of the Children's Perceptions of Play Scale ($p = 0.02$), with boys obtaining higher mean scores than girls. In addition, the Sociability sub-dimension differed significantly according to place of residence. Children living in the district centre ($\bar{x} = 11.36$) reported higher mean scores than those living in villages ($\bar{x} = 10.55$). With regard to the Attitudes Toward Outdoor Play Scale, girls obtained significantly higher mean scores ($\bar{x} = 12.29$) than boys ($\bar{x} = 11.13$) on the Fear sub-dimension, indicating higher levels of fear associated with outdoor play among girls. Furthermore, no statistically significant differences were found in either scale according to parental characteristics or housing type. Finally, the relationship between children's perceptions of play and their attitudes toward outdoor play was examined. A significant positive correlation was identified between the Sociability sub-dimension of the Children's Perceptions of Play Scale and the Benefits and Unstructured Play sub-dimensions of the Attitudes Toward Outdoor Play Scale ($r = 0.13$, $p < 0.05$). Overall, the findings reveal persistent behavioural patterns regarding the relationship between children's play and the environments in which it occurs. At the same time, they suggest that technological developments have contributed to changes in social structures, and that these transformations are reflected in children's leisure activities.

Keywords: Attitude toward outdoor play, child, leisure, perception of play.

SÜT DİŞLERİNDE İNTRÜZİV LÜKSASYONUN KLİNİK VE RADYOGRAFİK TAKİBİ: İKİ OLGU SUNUMU

Arş. Gör. İrem Demir
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,Merkez,Rize,Türkiye
ORCID:0009-0002-0033-525X
Arş. Gör. Gizem Nur Baykan
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,Merkez,Rize,Türkiye
ORCID: 0009-0000-8321-5936
Öğr. Gör. Sena SAKIN ULUBAY
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,Merkez,Rize,Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4086-1502
Öğr. Gör. İrem OKUMUŞ
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi,Merkez,Rize,Türkiye
ORCID: 0000-0003-1471-4605

Amaç: Süt dişlerinde intrüziv lüksasyon, sık görülen travmatik dental yaralanmalardan biridir. Bu olgu sunumunun amacı, travma sonucu intrüze olan iki süt kesici dişin klinik ve radyografik değerlendirilmesi, uygulanan tedavi yaklaşımları ve takip sonuçlarının sunulmasıdır.
Olgu 1: Dört yaşındaki erkek hasta, düşme sonucu oluşan dental travma nedeniyle kliniğimize başvurdu. Klinik muayenede 61 numaralı dişte intrüziv lüksasyon saptandı. Nazal taban palpasyonunda intrüze dişin kronu palpe edildi. Radyografik incelemede dişin intrüzyonu doğrulandı ve daimi diş germi ile ilişkisi değerlendirildi .Oral hijyen eğitimi verilerek spontan reerüpsiyon amacıyla takip kararı alındı. Bir hafta sonraki kontrolde ilgili dişte akut apikal enfeksiyon ve apse geliştiği belirlendi. Enfeksiyon varlığı ve kooperasyon eksikliği nedeniyle diş genel anestezi altında çekildi. Takip kontrollerinde çekim soketinin sorunsuz iyileştiği, radyografik değerlendirmelerde daimi diş germine ilişkin herhangi bir patolojik bulgu izlenmediği görüldü. Hastanın klinik ve radyografik takipleri sürdürülmektedir.
Olgu 2: İki yaşındaki erkek hasta, masaya çarpma sonucu oluşan dental travma nedeniyle kliniğimize başvurdu. Klinik muayenede 61 numaralı dişte intrüziv lüksasyon saptandı. Radyografik incelemede intrüzyon doğrulandı ve daimi diş germi ile ilişkisi değerlendirildi. Oral hijyen eğitimi verilerek spontan reerüpsiyon amacıyla takip kararı alındı. Bir hafta sonraki kontrolde spontan reerüpsiyonun gerçekleştiği, enfeksiyon, patolojik mobilite veya başka bir komplikasyon gelişmediği gözlendi. Takiplerde dişin klinik ve radyografik olarak normal iyileştiği belirlendi. Takipleri sürdürülmektedir.
Sonuç: Süt dişlerinde intrüziv lüksasyonun prognozu, travmanın şiddetine ve gelişebilecek biyolojik yanıta bağlı olarak değişebilir. Sunulan olgularda biri spontan reerüpsiyonla iyileşirken diğerinde akut apikal enfeksiyon nedeniyle çekim gerekmiştir. Bu bulgular, bireyselleştirilmiş tedavi planlaması ve düzenli klinik-radyografik takibin önemini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Dental travma, intrüziv lüksasyon, süt dişleri

CLINICAL AND RADIOGRAPHIC FOLLOW-UP OF INTRUSIVE LUXATION IN PRIMARY TEETH: TWO CASE REPORTS

Aim: Intrusive luxation is one of the most common traumatic dental injuries in primary teeth. This case report aims to present the clinical and radiographic evaluation, treatment approaches, and follow-up outcomes of two primary maxillary incisors affected by traumatic intrusive luxation.

Case 1: A four-year-old boy presented to our clinic after a fall-related dental trauma. Clinical examination revealed intrusive luxation of tooth 61. The crown of the intruded tooth was palpable at the nasal floor. Radiographic examination confirmed the intrusion and its relationship with the permanent tooth germ. Oral hygiene instructions were provided, and follow-up was planned for spontaneous re-eruption. At the one-week follow-up, acute apical infection and abscess formation were detected. Due to the presence of infection and the patient's lack of cooperation, the tooth was extracted under general anesthesia. Follow-up examinations showed uneventful healing of the extraction socket without pathological findings involving the permanent tooth germ. Clinical and radiographic follow-up is ongoing.

Case 2: A two-year-old boy presented to our clinic after sustaining dental trauma by hitting a table. Clinical examination revealed intrusive luxation of tooth 61. Radiographic examination confirmed the intrusion and its relationship with the permanent tooth germ. Oral hygiene instructions were provided, and follow-up was planned for spontaneous re-eruption. At the one-week follow-up, spontaneous re-eruption had occurred without infection, pathological mobility, or other complications. Subsequent follow-up examinations demonstrated normal clinical and radiographic healing. Follow-up is ongoing.

Conclusion: The prognosis of intrusive luxation in primary teeth may vary depending on the severity of the trauma and the biological response. In the present cases, one tooth healed by spontaneous re-eruption, whereas the other required extraction because of acute apical infection. These findings emphasize the importance of individualized treatment planning and regular clinical and radiographic follow-up.

Keywords: Dental trauma; Intrusive luxation; Primary teeth.

PARKİNSON HASTALIĞINDA KANNABİNOİDLERİN MOTOR VE MOTOR OLMAYAN SEMPTOMLARIN YÖNETİMİNDEKİ KLİNİK ETKİNLİĞİ: GÜNCEL KLİNİK KANITLARIN SİSTEMATİK DERLEMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Gökçe ÇALIŞKAN
Ankara Medipol University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacology, 06050 Altındağ,Ankara
ORCID ID: 0000-0001-6360-2293
Dr. Öğr. Üyesi A. Süveyda TEZGELEN
Ankara Medipol University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacology, 06050 Altındağ,Ankara
ORCID ID: 0000-0002-0726-1161

ÖZET

Parkinson hastalığı (PH), dopaminerjik nöron kaybı ile karakterize, motor ve motor olmayan semptomların birlikte görüldüğü ilerleyici bir nörodejeneratif hastalıktır. Mevcut farmakolojik tedaviler motor semptomların kontrolünde etkili olmakla birlikte, özellikle anksiyete, uyku bozuklukları, ağrı ve yaşam kalitesini etkileyen motor olmayan semptomların yönetiminde sınırlılıklar bulunmaktadır. Endokannabinoid sistemin bazal gangliyon devreleri üzerindeki düzenleyici etkisi nedeniyle kannabinoidler son yıllarda tamamlayıcı tedavi seçeneği olarak dikkat çekmektedir. Bu sistematik derlemenin amacı, Parkinson hastalığında kannabinoidlerin motor ve motor olmayan semptomlar üzerindeki klinik etkinliği ve güvenliliğine ilişkin güncel kanıtları sentezlemektir. Literatür taraması PubMed veri tabanında 'Parkinson disease', 'cannabinoids', 'cannabidiol (CBD)', 'tetrahydrocannabinol (THC)', 'nabilone', 'motor symptoms' ve 'non-motor symptoms' anahtar sözcükleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 2015–2026 yılları arasında yayımlanan İngilizce klinik çalışmalar ve randomize kontrollü çalışmalar değerlendirilmiş, kayıtlar Rayyan platformunda bağımsız olarak taranmıştır. Belirlenen 16 çalışmadan uygunluk kriterlerini karşılayan 8 çalışma derlemeye dahil edilmiştir. Bulgular, kannabinoidlerin özellikle anksiyete, REM uyku davranış bozukluğu ve diğer motor olmayan semptomlarda klinik iyileşme sağlayabildiğini, motor semptomlar üzerindeki etkinliğin ise sınırlı ve çalışmalar arasında tutarsız olduğunu göstermektedir. Dahil edilen çalışmalarda ciddi güvenlilik sorunu bildirilmemiş olmakla birlikte, küçük örneklem büyüklükleri, kısa takip süreleri ve metodolojik heterojenlik kanıt düzeyini sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak mevcut veriler, kannabinoidlerin Parkinson hastalığında özellikle motor olmayan semptomların yönetiminde umut vadeden bir yardımcı tedavi yaklaşımı olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte, rutin klinik uygulamadaki yerinin belirlenebilmesi için daha geniş örneklemli, çok merkezli ve yüksek metodolojik kaliteye sahip randomize kontrollü çalışmalara gereksinim vardır.

Anahtar Kelimeler: Parkinson hastalığı, kannabinoidler, cannabidiol, nabilon, tetrahidrokannabinol

CLINICAL EFFICACY OF CANNABINOIDS IN THE MANAGEMENT OF MOTOR AND NON-MOTOR SYMPTOMS IN PARKINSON'S DISEASE: A SYSTEMATIC REVIEW OF CURRENT CLINICAL EVIDENCE

ABSTRACT

Parkinson's disease (PD) is a progressive neurodegenerative disorder characterized by dopaminergic neuronal loss, with both motor and non-motor symptoms. While current pharmacological treatments are effective in controlling motor symptoms, they have limitations in managing non-motor symptoms, particularly anxiety, sleep disturbances, pain, and those affecting quality of life. Cannabinoids have gained attention in recent years as a complementary treatment option due to their regulatory effect on basal ganglia circuits of the endocannabinoid system. The aim of this systematic review is to synthesize current evidence regarding the clinical efficacy and safety of cannabinoids on motor and non-motor symptoms in Parkinson's disease. The literature search was conducted using the keywords 'Parkinson disease', 'cannabinoids', 'cannabidiol (CBD)', 'tetrahydrocannabinol (THC)', 'nabilone', 'motor symptoms', and 'non-motor symptoms' in the PubMed database. English-language clinical trials and randomized controlled trials published between 2015 and 2026 were evaluated, and records were independently searched on the Rayyan platform. Of the 16 studies selected, 8 that met the eligibility criteria were included in the review. The findings show that cannabinoids can provide clinical improvement, particularly in anxiety, REM sleep behavior disorder, and other non-motor symptoms, while their efficacy on motor symptoms is limited and inconsistent across studies. Although no serious safety issues were reported in the included studies, small sample sizes, short follow-up periods, and methodological heterogeneity limit the level of evidence. In conclusion, the current data suggest that cannabinoids may be a promising adjunctive treatment approach in Parkinson's disease, particularly in the management of non-motor symptoms. However, larger sample sizes, multicenter randomized controlled trials with high methodological quality are needed to determine their place in routine clinical practice.

Keywords: Parkinson's disease, cannabinoids, cannabidiol, nabilone, tetrahydrocannabinol

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EARLY PREDICTION OF STUDENT ACADEMIC SUCCESS THROUGH NOTE-TAKING ANALYTICS AND MACHINE LEARNING

Dr. Olcay TOSUN
Sinop University, Data Management Office, 57000 Sinop
ORCID ID: 0000-0003-0064-2276

ABSTRACT

With the increasing use of developing technology in the field of education, it has become possible to predict student performance in advance and develop early intervention systems. The purpose of this study is to predict students' final exam success with high accuracy by using students' note-taking behavior during class and midterm exam performance as early indicators. In this study, a dataset containing students' note-taking behaviors (comprehensive notetaking, partial notetaking, or no notetaking) during 10 weeks of classes, midterm exam scores, and final exam scores of 168 students from 4 different departments studying at Sinop University Faculty of Education and taking the same course was utilized. In the dataset, note-taking data was encoded as categorical variables, while midterm exam scores were encoded as numerical values. Final exam scores were converted to letter grades and transformed into categorical data. Due to the small size of the dataset, RF (Random Forest) algorithm was selected from machine learning methods. RF was preferred because it provides strong performance in classification problems on small-sized datasets and is resistant to overfitting issues. To measure model performance, the 5-fold cross-validation method was applied. Grid search technique was conducted to find the best parameters. Due to the imbalanced nature of the dataset, the weighted F1 score metric was selected for model evaluation. The optimized RF classifier demonstrated robust predictive performance achieving average weighted F1 score of 0.93 across cross-validation iterations. Additionally, the performance of machine learning methods such as SVM, XGBoost, and MLP were compared. It has been revealed that RF model was quite successful in predicting students' final exam success using note-taking habits and midterm exam scores. This study has demonstrated that machine learning methods can be successfully applied in interpreting educational data and predicting student success. These results underscore the significance of establishing data-driven policies within education, paralleling practices established within computer science domains. Future studies would benefit from dataset expansion incorporating larger student cohorts and enriched feature sets (including attendance metrics, assignment completion rates, and classroom engagement indicators), thereby enabling the evaluation of deep learning architectures' predictive capabilities.

Keywords: Machine Learning, Random Forest Classification, Student Academic Performance Prediction, Early Warning Systems, Higher Education Assessment

TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TÜRLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane

ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ÖZET
Tarihi yapılar, kültürel kimliğin, mimari ve estetik değerlerin ile geçmiş dönemin teknik birikiminin gelecek nesillere aktarılması açısından hayati bir öneme sahiptir. Zamanın yıpratıcı etkilerine, doğal afetlere ve insan kaynaklı müdahalelere maruz kalmış tarihi yapılar, zaman içinde çeşitli fiziksel, kimyasal ve yapısal bozulmalara ve hasarlara uğramaktadır. Bu durum yapının özgünlüğünü, taşıyıcı sistemini ve bütünlüğünü tehdit ederek yıkılma ve yok olma riskini artırır.
Kültürel mirasımız olan bu yapılarda karşılaşılan hasarlar; zemin davranışı ve temel kaynaklı hasarlar, taşıyıcı sistem tasarımına bağlı hasarlar, yanlış malzeme kullanımı ve kötü işçilik kaynaklı hasarlar, doğal afetler ve insan kaynaklı hasarlar, hava kirliliği ve trafik etkilerinden kaynaklanan hasarlar olarak kabul edilmektedir. Yığma yapıların taşıyıcı duvarlarında oluşan hasarlar; duvar ve döşeme birleşimlerinde oluşan yatay çatlaklar, duvarların birleşim bölgelerinde meydana gelen düşey çatlaklar, dış duvarda ayrılma, duvarlarda meydana gelen diyagonal çatlaklar, duvarların kısmi olarak yıkılması veya bozulması, yapının kısmen ya da tamamen göçmesi, temel zeminindeki hareketlerden kaynaklanan hasarlar olarak özetlenebilmektedir. Bununla birlikte, sıcaklık değişimi, nem, yağış, donma-çözülme etkileri gibi iklimsel etmenler; çevre kirliliğinden kaynaklanan klorür ve sülfat içeren çözeltilerin yıpratıcı etkileri ile yanlış ve hatalı kullanım ve bilinçsiz onarımlar, yapıda önemli hasarlara neden olabilmekte ve yapının hizmet ömrünü kısaltabilmektedir.

Bu nedenle, tarihi yapılarda uygun koruma, onarım ve gerekli olduğu durumlarda güçlendirme uygulamalarının planlanabilmesi için mevcut hasarın doğru şekilde belirlenmesi ve değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışma kapsamında, tarihi yapılarda görülen hasar türleri geniş bir çerçevede ele alınacaktır.
Anahtar kelimeler: Hasar sınıflandırması, tarihi yapı, yapısal hasar, yığma yapı.

CLASSIFICATION AND EVALUATION OF DAMAGE TYPES OBSERVED IN HISTORICAL BUILDINGS

ABSTRACT
Historical structures are vital in transmitting cultural identity, architectural and aesthetic values, and technical knowledge of the past to future generations. Historical structures, exposed to the ravages of time, natural disasters, and human-induced interventions, suffer various physical, chemical, and structural deteriorations and damages over time. This situation threatens the originality, load-bearing system, and integrity of the structure, increasing the risk of collapse and destruction. The damages encountered in these structures, which are part of our cultural heritage, are considered to be: damages originating from soil behavior and foundations, damages related to load-bearing system design, damages resulting from the use of incorrect materials and poor workmanship, damages from natural disasters and human-induced damages, and damages resulting from air pollution and traffic effects. Damages occurring in the load-

bearing walls of masonry structures can be summarized as: horizontal cracks at wall and floor junctions, vertical cracks occurring at wall joints, separation in the exterior wall, diagonal cracks in the walls, partial collapse or deterioration of walls, partial or complete collapse of the structure, and damages resulting from movements in the foundation soil. However, climatic factors such as temperature changes, humidity, precipitation, and freeze-thaw cycles; the corrosive effects of chloride- and sulfate-containing solutions from environmental pollution; and improper and faulty use and uninformed repairs can cause significant damage to structures and shorten their service life.

Therefore, accurately identifying and evaluating existing damage is crucial for planning appropriate conservation, repair, and, where necessary, strengthening applications in historical buildings. This study will broadly address the types of damage observed in historical structures.
Keywords: Damage classification, historical buildings, structural damage, masonry buildings.

TARİHİ YAPILARDA KORUMA SÜRECİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLARIN KAVRAMSAL OLARAK SINIFLANDIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane
ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ÖZET
Asırlardır farklı medeniyetlere ev sahipliği yapan ve kültürel açıdan oldukça zengin ülkemizde, farklı dönemlere ve medeniyetlere ait birçok eser bulunmaktadır. Bu eserler tarihi, kültürel, sanatsal ve çevresel değerlerimizi oluşturmakta ve geçmişimizi yansıtan varlıklar olarak önem kazanmaktadır. Bu değerler, geçmiş uygarlıkların birikimlerini, gelenek ve göreneklerini, sanat ve estetik anlayışlarını, geleneksel kentsel dokuyu ve mekânları yansıtan; geçmişten günümüze ulaşmış ve korunması gereken kültürel miras unsurlarını oluşturmaktadır. Kültürel mirasların kalıcılığı ve sonraki nesillere aktarımı, korunarak sağlanabilir.
Bu yapıların korunması yalnızca fiziksel bütünlüklerinin sürdürülmesini değil, aynı zamanda özgün yapı malzemesi, inşa tekniği ve tarihi kimliklerinin gelecek kuşaklara aktarılmasını da amaçlamaktadır. Ancak bu mirasın korunmasında birtakım güçlükler yaşanmaktadır. Bunlar ekonomik, teknik, yönetimsel ve kullanıcı kaynaklı güçlükler olarak sınıflandırılabilir. Literatürde bu sorunlar genellikle belirli yapı türleri, restorasyon ve koruma uygulamaları veya tekil vaka çalışmaları kapsamında ele alınmıştır. Yapıların koruma sürecini etkileyen sorunların bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla ele alındığı çalışmalar ise kapsamlı biçimde ele alınmamıştır.
Bu çalışmanın amacı, tarihi yapılarda görülen koruma sorunlarını literatür doğrultusunda inceleyerek kavramsal bir çerçevede sınıflandırmak ve bu sorunları değerlendirmektir. Bu kapsamda geçmişten günümüze yayımlanan bilimsel çalışmalar ile koruma alanındaki temel ilke ve yaklaşımlar incelenmiştir. Literatürde sıklıkla karşılaşılan sorunlar ortak özellikleri dikkate alınarak sistematik biçimde sınıflandırılmıştır. Bu sorunlar, kaynakları, koruma sürecine etkisi, görülme sıklığı, yapıya etkisi, müdahale önceliği ve çözüm güçlüğü gibi ölçütler kapsamında detaylıca değerlendirilmiştir.
Önerilen kavramsal sınıflandırma çerçevesinin, farklı yapı türleri arasında karşılaştırmalı analizlerin yapılmasını kolaylaştıracağı, tarihi yapıların korunması ve gelecek nesillere aktarılmasına yönelik çalışmalara ortak bir değerlendirme altyapısı sunacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca, tarihi yapılarda koruma gereksinimlerinin belirlenmesi ile önceliklendirilmesine yönelik geliştirilecek gelecekteki yöntemsel çalışmalara temel oluşturacağı öngörülmektedir.
Anahtar kelimeler: Koruma, koruma sorunları, kültürel miras, tarihi yapı,

CONCEPTUAL CLASSIFICATION AND EVALUATION OF PROBLEMS ENCOUNTERED IN THE CONSERVATION PROCESS OF HISTORICAL BUILDINGS

ABSTRACT
Our country, which has hosted different civilizations for centuries and is culturally rich, possesses numerous artifacts from different periods and civilizations. These artifacts constitute our historical, cultural, artistic, and environmental values and gain importance as assets reflecting our past. These values reflect the accumulated knowledge, traditions, customs, artistic and aesthetic understandings, traditional urban fabric, and spaces of past civilizations; they form

cultural heritage elements that have survived from the past to the present and need to be preserved. The permanence and transmission of cultural heritage to future generations can be ensured through preservation. The preservation of these structures aims not only to maintain their physical integrity but also to transmit their original building materials, construction techniques, and historical identities to future generations. However, certain difficulties are encountered in the preservation of this heritage. These can be classified as economic, technical, managerial, and user-related difficulties. In the literature, these problems have generally been addressed within the scope of specific building types, restoration and conservation practices, or individual case studies. However, studies that address the problems affecting the conservation process of structures with a holistic and systematic approach have not been comprehensively examined. The aim of this study is to examine the conservation problems observed in historical buildings within a conceptual framework, based on the literature, and to evaluate these problems. In this context, scientific studies published from the past to the present, as well as fundamental principles and approaches in the field of conservation, have been examined. Problems frequently encountered in the literature have been systematically classified, taking into account their common characteristics. These problems have been evaluated in detail based on criteria such as their sources, impact on the conservation process, frequency of occurrence, impact on the building, priority of intervention, and difficulty of solution. It is considered that the proposed conceptual classification framework will facilitate comparative analyses between different building types and provide a common evaluation infrastructure for studies aimed at the preservation and transmission of historical buildings to future generations. Furthermore, it is foreseen that it will form the basis for future methodological studies aimed at identifying and prioritizing conservation needs in historical buildings.
Keywords: Historical Building, cultural heritage, conservation, conservation problems

ÜNİVERSİTE KÜTÜPHANESİ KULLANICILARININ TEKNOLOJİ KULLANIM TUTUMLARI İLE DİJİTAL OYUN OYNAMA TUTUMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Doç. Dr. Mehmet RAMAZANOĞLU
Kahramanmaraş İstiklal University, Faculty of Communication, Department of Digital Game Design, 6100 Dulkadiroğlu/Kahramanmaraş
ORCID ID: 0000-0001-6860-0895
Kübra KÖYLÜ
Kahramanmaraş İstiklal University, Faculty of Communication, Department of Digital Game Design,46100 Dulkadiroğlu/Kahramanmaraş
ORCID ID: 0009-0003-4238-8381

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, üniversite kütüphanesi kullanıcılarının teknoloji kullanım tutumları ile dijital oyun oynama tutumları arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırmada, nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli kullanılmıştır. Araştırmanın evrenini, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi'nde öğrenim gören ve Merkez Kütüphane hizmetlerinden aktif olarak yararlanan öğrenciler oluşturmaktadır. Örneklem seçiminde olasılıksız örnekleme yöntemlerinden kolayda örnekleme tercih edilmiştir. Bu kapsamda araştırmanın örneklemini; kütüphanede hazır bulunan, araştırmaya gönüllü katılım sağlayan ve yüz yüze veri toplama sürecine dahil edilen farklı akademik kademelerdeki 115 üniversite öğrencisi oluşturmaktadır. Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından hazırlanan Kişisel Bilgi Formu ile alanyazında geçerlik ve güvenirliği kanıtlanmış Teknoloji Kullanım Tutumu Ölçeği ve Dijital Oyun Oynama Tutumu Ölçeği kullanılmıştır. Verilerin analizinde, bağımsız örneklemler için t-testi, Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA), Mann-Whitney U Testi, Kruskal-Wallis H testi ile Pearson ve Spearman korelasyon analizleri tercih edilmiştir. Araştırma sonucunda öğrencilerin teknoloji kullanım tutumlarının genel olarak yüksek düzeyde, dijital oyun oynama tutumlarının ise orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Cinsiyet değişkenine göre, katılımcıların teknoloji kullanım tutumlarında anlamlı bir farklılık bulunmazken, dijital oyun oynama tutumlarının tüm alt boyutlarında erkek öğrenciler lehine anlamlı farklılıklar bulunmuştur. Öğrenim kademesi değişkeni açısından bakıldığında ise katılımcıların teknoloji kullanımına ve dijital oyun oynama tutumlarında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Katılımcıların teknoloji kullanımına yönelik tutumları ile dijital oyun oynama tutumları arasındaki ilişki incelendiğinde, teknoloji tüketim tutumu ile duyuşsal oyun tutumu arasında düşük düzeyde negatif yönde anlamlı bir ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar kelimeler: Üniversite kütüphanesi, teknoloji kullanım tutumu, dijital oyun oynama tutumu, kütüphane kullanıcıları.

THE RELATIONSHIP BETWEEN TECHNOLOGY USAGE ATTITUDES AND DIGITAL GAMING ATTITUDES OF UNIVERSITY LIBRARY USERS

ABSTRACT
The aim of this research is to examine the relationship between the technology usage attitudes and digital gaming attitudes of university library users. Among quantitative research approaches, the correlational research design was employed in the research. The population of the research consists of students studying at Kahramanmaraş İstiklal University during the 2025–2026 academic year who actively benefit from the Central Library services. In the sample selection, convenience sampling, one of the non-probability sampling approaches, was

preferred. In this context, the sample of the research consists of 115 university students from different academic levels who were present in the library, participated voluntarily, and were included in the face-to-face data collection process. As data collection instruments, a Personal Information Form developed by the researchers, alongside the Technology Usage Attitude Scale and the Digital Gaming Attitude Scale, both of which have established validity and reliability in the literature, were utilized. In the analysis of the data, independent samples t-test, One-Way Analysis of Variance (ANOVA), Mann-Whitney U test, Kruskal-Wallis H test, as well as Pearson and Spearman correlation analyses were employed. The research revealed that students' attitudes towards technology use were generally at a high level, while their attitudes towards playing digital games were at a moderate level. According to the gender variable, no significant difference was found in the participants' technology usage attitudes, while significant differences favoring male students were observed in all sub-dimensions of digital gaming attitudes. In terms of the academic level variable, no significant difference was identified in the participants' attitudes toward technology usage and digital gaming. When the relationship between the participants' attitudes toward technology usage and digital gaming was examined, it was concluded that there was a weak, statistically significant negative relationship between technology consumption attitude and affective gaming attitude.
Keywords: University library, technology usage attitude, digital gaming attitude, library users.

BESLENME PSİKİYATRİSİ VE BAĞIRSAK-BEYİN AKSI: PSİKİYATRİK BAKIMDA BESLENME YAKLAŞIMLARI

Arş. Gör. Kübra PASLIOĞLU
Erciyes University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 38260, Melikgazi, Kayseri
ORCID ID: 0009-0004-5606-3905

ÖZET
Beslenme Psikiyatrisi (Nutritional Psychiatry), bağırsak mikrobiyotası, diyet kalitesi ve besin takviyelerinin mental sağlık üzerindeki etkilerini inceleyen bir disiplindir. Psikiyatrik bozukluklar; genetik, inflamasyon ve yaşam tarzı faktörlerinin etkileşimi ile ortaya çıkmaktadır. Nörolojik işlevler için önemli risk faktörlerinden bazıları, Batı tarzı diyetin neden olduğu düşük posa alımı ve mikrobesin öğesi (çinko, magnezyum ve folat gibi) eksiklikleridir. Bu besin öğelerinin mental sağlık üzerindeki koruyucu ve onarıcı etkileri üç temel mekanizma yoluyla gerçekleşmektedir. Bunlar mikrobiyota-bağırsak-beyin aksı, immün sistemin düzenlenmesi ve nörotransmitter ve nörojenez modülasyonudur. Nörotransmitter ve nörojenez modülasyonunda B vitaminlerinin metilasyon döngüsündeki rolü ve omega-3 çoklu doymamış yağ asitlerinin Beyin Kaynaklı Nörotrofik Faktörü (BKNF) artırması öne çıkmaktadır. Bağırsak mikrobiyotasındaki disbiyozis, bağırsakların geçirgenliğini artırmakta ve lipopolisakkaritlerin dolaşıma girmesine izin vermektedir. Bu durum sistemik inflamasyona ve nöroinflamasyona neden olmaktadır. Yapılan araştırmalar, antiinflamatuar içeriğe sahip Akdeniz diyetinin, majör depresyon riskini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Ayrıca, standart tedaviye dahil edilen besin takviyeleri (Omega-3, çinko, S-adenozil metiyonin, N-asetilsistein) ve probiyotikler (Lactobacillus, Bifidobacterium) semptom yönetimini ve tedavinin etkinliğini artırmaktadır. Ek olarak, ketojenik diyetin hayvan modellerinde hücresel enerji metabolizmasını stabilize ederek şizofreni ve anksiyete ile ilgili bulguları iyileştirdiği bulunmuştur. Psikiyatrik hastaların yaklaşık yarısı advers etkiler nedeniyle ilaç tedavilerini erken bırakmakta ve geleneksel tedaviler sıklıkla yetersiz kalmaktadır. Özellikle şizofreni spektrum bozukluğu olan hastaların yaşam sürelerinin kısalması göz önüne alındığında, kişiselleştirilmiş tıbbi beslenme müdahalelerinin rutin bakımda yer alması önemli bir gerekliliktir. Psikiyatrik bakımda gelecekteki klinik uygulamaların etkinliği; psikiyatrist, diyetisyen ve gastroenterologları içeren multidisipliner çalışma ekiplerinin kurulması ile mümkün olacaktır.
Anahtar Kelimeler: Beslenme Psikiyatrisi, Bağırsak-Beyin Aksı, Psikiyatrik Bakım.

NUTRITIONAL PSYCHIATRY AND THE GUT–BRAIN AXIS: NUTRITIONAL APPROACHES IN PSYCHIATRIC CARE

ABSTRACT
Nutritional Psychiatry is a discipline that examines the effects of the gut microbiota, diet quality, and nutritional supplements on mental health. Psychiatric disorders arise from the interaction of genetic, inflammatory, and lifestyle-related factors. Low dietary fiber intake and micronutrient deficiencies, such as zinc, magnesium, and folate deficiencies, resulting from a Western-style diet, are among the major risk factors affecting neurological function. The protective and restorative effects of these nutrients on mental health occur through three primary mechanisms: the microbiota–gut–brain axis, regulation of the immune system, and modulation of neurotransmission and neurogenesis. In modulating neurotransmission and neurogenesis, the role of B vitamins in the methylation cycle and the ability of omega-3 polyunsaturated fatty acids to increase brain-derived neurotrophic factor (BDNF) are particularly noteworthy.

Dysbiosis of the gut microbiota increases intestinal permeability, allowing lipopolysaccharides to enter the systemic circulation. This process contributes to systemic inflammation and neuroinflammation. Research has shown that the Mediterranean diet, which has anti-inflammatory properties, significantly reduces the risk of major depression. Furthermore, nutritional supplements incorporated into standard treatment, including omega-3 fatty acids, zinc, S-adenosylmethionine, N-acetylcysteine, and probiotics such as Lactobacillus and Bifidobacterium, may improve symptom management and enhance treatment effectiveness. In addition, ketogenic diets have been shown to improve schizophrenia- and anxiety-related outcomes in animal models by stabilizing cellular energy metabolism. Approximately half of psychiatric patients discontinue pharmacological treatment prematurely because of adverse effects, and conventional treatments frequently remain insufficient. Considering the reduced life expectancy of patients with schizophrenia spectrum disorders in particular, the integration of personalized medical nutrition interventions into routine care represents an important necessity. The effectiveness of future clinical practices in psychiatric care will depend on establishing multidisciplinary teams comprising psychiatrists, dietitians, and gastroenterologists.

Keywords: Nutritional Psychiatry, Gut–Brain Axis, Psychiatric Care.

ULTRA İŞLENMİŞ BESİNLER VE YEME BOZUKLUKLARI İLE İLİŞKİSİ

Arş. Gör. Kübra PASLIOĞLU
Erciyes University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics, 38260, Melikgazi, Kayseri
ORCID ID: 0009-0004-5606-3905

ÖZET
NOVA Besin Sınıflandırma Sistemi, besinleri maruz kaldıkları endüstriyel işlemenin özelliklerine, kapsamına ve amacına göre dört farklı gruba ayıran bir sınıflandırma sistemidir. Grup 1 işlenmemiş veya minimum düzeyde işlenmiş besinleri (taze sebze meyveler, kurubaklagiller, yumurta vb.), grup 2 işlenmiş mutfak bileşenlerini (şeker, tuz, zeytinyağı vb.), grup 3 işlenmiş besinleri (peynir, konserve sebze, tuzlu sert kabuklu yemişler vb.) ve grup 4 ultra işlenmiş besinleri (gazlı içecekler, paketli atıştırmalıklar, hazır çorbalar vb.) kapsamaktadır. Ultra işlenmiş besinler, çoğunlukla endüstriyel kullanıma özgü bileşenlerden oluşan ve bir dizi endüstriyel işlemden geçtikten sonra oluşturulan formülasyonlardır. Bu nedenle "ultra işlenmiş" olarak bilinirler. Ultra işlenmiş besinler enerji, şeker ve doymuş yağ bakımından zenginken; düşük miktarda posa içermektedirler. Son yıllarda dünya çapında tüketimleri hızla artmaktadır. Yapılan araştırmalar, ultra işlenmiş besin tüketimi ile özellikle kısıtlayıcı olmayan yeme bozuklukları (Tıkınırcasına Yeme Bozukluğu ve Bulimia Nervoza) arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir. Tıkınırcasına Yeme Bozukluğu ve Bulimia Nervoza'da, özellikle yeme atağı dönemlerinde tüketilen besinlerin neredeyse tamamı ultra işlenmiş besinlerden oluşmaktadır. Uzun süreli diyet kısıtlamaları, beden imajı memnuniyetsizliği ve vücut ağırlığında dalgalanmalar gibi çeşitli faktörlerin bu durumda etkili olduğu düşünülmektedir. Ultra işlenmiş besinlerin dopaminerjik sistemleri etkilemesi bağımlılık benzeri davranışlara neden olmaktadır. Ayrıca maruz kaldıkları endüstriyel işlemler sonucunda hücresel matrislerinin bozulmuş olması, emilim hızlarını artırarak ince bağırsaktan salgılanan tokluk hormonlarının (Glukagon Benzeri Peptit -1 (GLP-1) ve Peptit YY (PYY)) fizyolojik yanıtını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra içerdikleri yapay tatlandırıcılar, emülgatörler ve katkı maddeleri bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkilemekte ve disbiyozis gelişimine zemin hazırlamaktadır. Disbiyozis ise bağırsak-beyin aksı üzerinden yeme davranışlarını ve duygu durumunu olumsuz etkilemektedir. Sonuç olarak, ultra işlenmiş besinler yalnızca yüksek enerji yoğunlukları ve dengesiz besin öğesi profilleri ile değil, aynı zamanda hedonik açlığı tetikleyen nörobiyolojik, hormonal ve mikrobiyotal mekanizmalar yoluyla da kısıtlayıcı olmayan yeme bozukluklarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu durum bireylerin yeme davranışlarını olumsuz etkilemekte ve öz denetimlerini zorlaştırmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Ultra İşlenmiş Besin, Yeme Bozuklukları, Tıkınırcasına Yeme Bozukluğu, Bulimia Nervoza.

ULTRA-PROCESSED FOODS AND THEIR ASSOCIATION WITH EATING DISORDERS

ABSTRACT
The NOVA Food Classification System categorizes foods into four groups according to the nature, extent, and purpose of the industrial processing to which they are subjected. Group 1 includes unprocessed or minimally processed foods, such as fresh fruits and vegetables, legumes, and eggs; Group 2 includes processed culinary ingredients, such as sugar, salt, and olive oil; Group 3 includes processed foods, such as cheese, canned vegetables, and salted nuts; and Group 4 includes ultra-processed foods, such as carbonated beverages, packaged snacks,

and instant soups. Ultra-processed foods are formulations composed primarily of ingredients intended for industrial use and manufactured through a series of industrial processes. For this reason, they are referred to as “ultra-processed.” Ultra-processed foods are generally high in energy, sugar, and saturated fat, while containing low amounts of dietary fiber. Their consumption has increased rapidly worldwide in recent years. Research has demonstrated a strong association between ultra-processed food consumption and non-restrictive eating disorders, particularly Binge-Eating Disorder and Bulimia Nervosa. In Binge-Eating Disorder and Bulimia Nervosa, almost all foods consumed during binge-eating episodes are ultra-processed. Various factors, including prolonged dietary restriction, body-image dissatisfaction, and fluctuations in body weight, are thought to contribute to this situation. The effects of ultra-processed foods on dopaminergic systems may lead to addiction-like behaviors. Furthermore, disruption of their cellular matrices by industrial processing increases their absorption rate, thereby attenuating the physiological responses to satiety hormones secreted by the small intestine, including glucagon-like peptide-1 (GLP-1) and peptide YY (PYY). In addition, the artificial sweeteners, emulsifiers, and other additives in these foods may adversely affect the gut microbiota and predispose individuals to dysbiosis. Dysbiosis, in turn, may negatively affect eating behaviors and mood through the gut–brain axis. In conclusion, ultra-processed foods may play an important role in non-restrictive eating disorders not only because of their high energy density and unbalanced nutrient profiles, but also through neurobiological, hormonal, and microbiota-related mechanisms that stimulate hedonic hunger. These effects may negatively influence individuals’ eating behaviors and make self-regulation more difficult.

Keywords: Ultra-Processed Foods, Eating Disorders, Binge-Eating Disorder, Bulimia Nervosa.

İŞ VE İNŞAAT MAKİNELERİ ÜRETİMİNDE CNC TEZGÂHLARININ OEE TABANLI PERFORMANS ANALİZİ

Dr. Hacı SARI
Pi Makina Otomotiv, Genel Müdür, GOP Mah.79/1. Sok. No:6, Gölbaşı, Ankara
ORCID ID: 0000-0003-1114-2808

ÖZET
İş ve inşaat makineleri sektöründe yüksek yatırım maliyetine sahip CNC tezgâhlarının etkin kullanılması; üretim kapasitesi, teslimat performansı ve üretim verimliliği açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, iş ve inşaat makineleri üreten bir işletmenin talaşlı imalat bölümündeki CNC tezgâhlarının Toplam Ekipman Etkinliği (Overall Equipment Effectiveness–OEE) yaklaşımıyla performansını değerlendirmek, başlıca kayıp kaynaklarını belirlemek ve iyileştirme önerileri geliştirmektir. Araştırmada, işletmede bulunan 20 CNC tezgâhına ait bir aylık üretim ve duruş verileri kullanılmıştır. Her tezgâh için kullanılabilirlik, performans ve kalite oranları hesaplanmış; OEE değerleri belirlenmiş ve kayıp nedenleri Pareto analiziyle incelenmiştir.
Analiz sonucunda CNC tezgâhlarının ortalama kullanılabilirlik oranı %90, performans oranı %80 ve kalite oranı yaklaşık %97 olarak bulunmuş; ortalama OEE değeri yaklaşık %70 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürde yaygın olarak kullanılan %85 düzeyindeki referans OEE değerinin altında kalmaktadır. Pareto analizi, kayıpların önemli bölümünün hazırlık süreleri, takım değiştirme işlemleri ve kısa süreli üretim duruşlarından kaynaklandığını göstermiştir. İncelenen dönemde plansız arıza kayıplarının sınırlı olması ve kalite oranının yüksek düzeyde gerçekleşmesi, iyileştirme çalışmalarının özellikle kullanılabilirlik ve performans bileşenlerine odaklanması gerektiğine işaret etmektedir.
Bulgular doğrultusunda hazırlık sürelerinin standartlaştırılması, takım ön ayarlama uygulamalarının yaygınlaştırılması, benzer parçaların ardışık planlanması, OEE göstergelerinin tezgâh bazında düzenli izlenmesi ve Toplam Verimli Bakım uygulamalarının sürdürülmesi önerilmektedir. Çalışma, iş ve inşaat makineleri üretiminde CNC tezgâhlarının makine bazlı performans kayıplarını ortaya koyarak benzer üretim sistemleri için uygulamaya dönük bir değerlendirme çerçevesi sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Toplam Ekipman Etkinliği, OEE, CNC tezgâhları, Pareto analizi, Talaşlı imalat

OEE-BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF CNC MACHINE TOOLS IN CONSTRUCTION AND HEAVY MACHINERY MANUFACTURING

ABSTRACT
The effective utilization of CNC machine tools, which require substantial capital investment, is essential for improving production capacity, delivery performance, and operational efficiency in the construction and heavy machinery industry. This study aims to evaluate the performance of CNC machine tools in the machining department of a construction machinery manufacturer using the Overall Equipment Effectiveness (OEE) approach, identify the main sources of performance losses, and develop improvement recommendations. The study was conducted using one month of production and downtime data collected from 20 CNC machine tools. Availability, performance, and quality rates were calculated for each machine, OEE values were determined, and the main causes of production losses were examined using Pareto analysis.

The results showed that the average availability, performance, and quality rates of the CNC machine tools were 90%, 80%, and approximately 97%, respectively. Accordingly, the average OEE value was calculated as approximately 70%, which was below the 85% reference level commonly cited in the literature. The Pareto analysis revealed that a significant proportion of the performance losses resulted from setup operations, tool-changing activities, and short production stoppages. The limited level of unplanned breakdown losses and the high-quality rate observed during the study period indicated that improvement activities should primarily focus on the availability and performance components of OEE.

Based on the findings, it is recommended to standardize setup procedures, expand the use of tool presetting practices, schedule similar parts consecutively, regularly monitor machine-level OEE indicators, and maintain Total Productive Maintenance practices. The study provides an application-oriented evaluation framework for identifying machine-level performance losses in CNC-based production systems within the construction and heavy machinery industry.

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, OEE, CNC machine tools, Pareto analysis, Machining

BİYOBETON UYGULAMALARI İÇİN DENİZ KAYNAKLI BAKTERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Assoc. Prof. Dr. Ecren UZUN YAYLACI
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Fisheries, 53100, Rize
ORCID ID: 0000-0002-2558-2487

ÖZET

Biyobeton teknolojisi, mikroorganizmaların biyomineralizasyon mekanizmalarından yararlanarak beton yapılarda zamanla oluşan çatlakların kendiliğinden onarılmasını sağlayan yenilikçi ve sürdürülebilir bir yapı malzemesi yaklaşımıdır. Bu teknoloji, yapıların servis ömrünü uzatmanın yanı sıra bakım ve onarım maliyetlerinin azaltılmasına da katkı sağlamaktadır. Biyobeton uygulamalarındaki başarının temelini, yüksek biyomineralizasyon kapasitesine sahip, alkali ortamlarda canlılığını sürdürebilen ve etkin kalsiyum karbonat çökelmesi gerçekleştirebilen uygun bakteri suşlarının seçimi oluşturmaktadır. Son yıllarda, ekstrem çevresel koşullara adaptasyon yetenekleri nedeniyle deniz kaynaklı bakteriler, biyobeton uygulamalarında kullanılabilecek alternatif mikroorganizma grupları arasında öne çıkmaktadır.

Bu çalışmada, deniz kaynaklı bakteri izolatlarının biyobeton uygulamalarındaki potansiyeli değerlendirilmiştir. İzolatlar; üreaz aktivitesi, kalsiyum karbonat oluşturma yeteneği, alkali koşullarda gelişebilme ve biyomineralizasyon performansı açısından incelenmiş; ayrıca biyobeton uygulamalarında kullanılacak bakterilerin seçiminde dikkate alınması gereken temel özellikler güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Bunun yanında, spor oluşturma yeteneği, çevresel stres faktörlerine dayanıklılık ve beton matrisi içerisinde canlılığını sürdürebilme özelliklerinin biyobeton performansı üzerindeki olası etkileri ele alınmıştır.

Yapılan değerlendirmeler, biyobeton uygulamalarında kullanılacak bakteri seçiminde yalnızca yüksek üreaz aktivitesinin yeterli olmadığını; etkin kalsiyum karbonat çökelme kapasitesi, çevresel dayanıklılık, uzun süreli metabolik aktivite ve beton ortamına uyum gibi özelliklerin de belirleyici olduğunu göstermektedir. Deniz kaynaklı bakterilerin sahip oldukları fizyolojik ve biyokimyasal özellikler sayesinde biyobeton teknolojileri için önemli bir biyolojik kaynak oluşturabilecekleri ve sürdürülebilir yapı malzemelerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilecekleri düşünülmektedir. Bu çalışma, biyobeton uygulamalarında kullanılabilecek deniz kaynaklı bakteri izolatlarının seçimine yönelik temel kriterlerin ortaya konulması açısından yol gösterici niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Biyobeton, deniz kaynaklı bakteriler, biyomineralizasyon, MICP, üreaz aktivitesi, kalsiyum karbonat.

EVALUATION OF MARINE-DERIVED BACTERIA FOR BIOCONCRETE APPLICATIONS

ABSTRACT

Bio-concrete technology is an innovative and sustainable approach to construction materials that use microbial biomineralization to enable the autonomous repair of cracks in concrete structures over time. In addition to extending the service life of concrete, this technology helps reduce maintenance and repair costs. The effectiveness of bio-concrete largely depends on the selection of appropriate bacterial strains capable of exhibiting high biomineralization potential, surviving under highly alkaline conditions, and efficiently inducing calcium carbonate precipitation. In recent years, marine-derived bacteria have attracted increasing attention as

promising candidates for bio-concrete applications due to their remarkable adaptability to extreme environmental conditions.

In this study, the potential of marine-derived bacterial isolates for bio-concrete applications was evaluated. The isolates were assessed in terms of urease activity, calcium carbonate precipitation capability, tolerance to alkaline conditions, and overall biomineralization performance. Furthermore, the key selection criteria for bacterial strains suitable for bio-concrete applications were comprehensively reviewed based on current literature. Particular emphasis was placed on the influence of bacterial characteristics such as endospore-forming ability, resistance to environmental stresses, and long-term viability within the concrete matrix, all of which are considered critical determinants of bio-concrete performance.

The findings indicate that the selection of bacterial strains for bio-concrete applications should not rely solely on high urease activity. Rather, efficient calcium carbonate precipitation capacity, environmental resilience, sustained metabolic activity, and adaptability to the concrete environment are equally important factors. Owing to their distinctive physiological and biochemical characteristics, marine-derived bacteria represent a valuable biological resource with considerable potential for the development of sustainable bio-concrete technologies. This study provides a comprehensive framework for the selection of marine-derived bacterial isolates and offers guidance for future research aimed at improving the performance and durability of bio-concrete systems.

Keywords: Bio-concrete, marine-derived bacteria, biomineralization, MICP, urease activity, calcium carbonate precipitation.

WETTABILITY AND MECHANICAL DURABILITY OF PFDTES-MODIFIED CHEMICALLY ETCHED AISI 304 AND AISI 316 STAINLESS STEELS

Dr. Çiğdem OVACI BEJİ
Kırklareli University, Continuing Education Application and Research Center, 39010, Kırklareli
ORCID ID: 0000-0001-5787-9392
Assoc.Prof. Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN
Trakya University, Faculty of Engineering, 22020, Edirne
ORCID ID: 0000-0003-2251-3889

ABSTRACT

The development of durable hydrophobic and superhydrophobic stainless steel surfaces has become increasingly important because enhanced surface water repellency can effectively mitigate corrosion-related degradation and extend the service life of engineering materials. However, producing such stainless steel surfaces remains challenging, as the high chemical stability of the passive oxide layer limits effective surface modification.

In this study, the wettability and durability of PFDTES-modified chemically etched AISI 304 and AISI 316 stainless steels were investigated. Chemical etching was initially carried out using an HF/H_2O_2 solution, followed by PFDTES-assisted surface modification in an HF-based solution. Static water contact angle measurements were performed over treatment durations of 30–70 min. The morphology of the modified surfaces was characterized by scanning electron microscopy, while energy-dispersive spectroscopy was employed to examine the surface composition. In addition, the durability of the modified surfaces were systematically evaluated under representative mechanical conditions. The highest contact angle of 174.46° was obtained for AISI 304 following a 50 min. treatment, indicating pronounced superhydrophobic behavior. Similarly, AISI 316 achieved its maximum contact angle of 139.3° following a 40 min. treatment, corresponding to hydrophobic behavior. The PFDTES-modified AISI 304 surface exhibited superior mechanical durability, retaining its hydrophobicity after both tape and abrasion tests with only a slight reduction in water contact angle. In contrast, AISI 316 showed a more pronounced decrease in contact angle, indicating greater damage to the surface micro/nanostructure under mechanical loading. The results demonstrate that durable hydrophobic and superhydrophobic stainless steel surfaces can be successfully achieved through the proposed surface modification process under optimized processing conditions.

Keywords: Superhydrophobic Surfaces**,** Surface Modification, Chemical Etching, Contact Angle, PFDTES, Durability.

Acknowledgments: This study was supported by Trakya University Research Fund (TÜBAP-2020/135).

COMPARATIVE EFFECTS OF CATIONIC AND ANIONIC SURFACTANTS ON THE MORPHOLOGY AND WETTABILITY OF CHEMICALLY ETCHED AISI 304 AND AISI 316 STAINLESS STEELS

Dr. Çiğdem OVACI BEJİ
Kırklareli University, Continuing Education Application and Research Center, 39010, Kırklareli
ORCID ID: 0000-0001-5787-9392
Assoc.Prof.Dr. Nilhan ÜRKMEZ TAŞKIN
Trakya University, Faculty of Engineering, 22020, Edirne
ORCID ID: 0000-0003-2251-3889

ABSTRACT
Chemical etching combined with surfactant-assisted modification provides a simple approach for controlling the wettability of stainless steel surfaces. In this study, the effects of cationic Hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB) and anionic Sodium dodecyl sulfate (SDS) on chemically etched AISI 304 and AISI 316 stainless steels were comparatively investigated. The specimens were initially etched in an HF/H_2O_2 solution and subsequently treated in HF-based solutions containing CTAB or SDS for total treatment durations of 30–70 minutes. Surface roughness, static water contact angle, surface morphology, and elemental composition were evaluated.

CTAB treatment produced maximum contact angles of 139.31° for AISI 304 and 129.39° for AISI 316 after 30 minutes. However, prolonged treatment reduced the contact angles to 54.37° and 77.65°, respectively. SDS-treated surfaces exhibited predominantly hydrophilic behavior. The contact angle of AISI 304 decreased from 85.19° to 13.48°, while AISI 316 exhibited values between 58.24° and 87.13°. The results demonstrate that the ionic character of surfactants plays an important role in determining the wetting response of chemically etched stainless steels. Under the investigated conditions, the cationic surfactant CTAB promoted significantly greater hydrophobicity than the anionic surfactant SDS.

Keywords: Wettability, Surface Modification, Chemical Etching, Surface Active Agents, Contact Angle.

Acknowledgments: This study was supported by Trakya University Research Fund (TÜBAP-2020/135).

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BALLISTIC BEHAVIOR OF GLASS FIBER AND CARBON FIBER PLATES

OĞULTAY UZUNCA
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Kayseri/Türkiye
0009-0006-8120-1390
Prof. Dr. RECEP GÜNEŞ
Erciyes University, Dept. of Mechanical Engineering, Kayseri/Türkiye
0000-0001-8902-0339

ABSTRACT Glass fiber and carbon fiber reinforced materials are widely used in many fields, such as aerospace, defense, and automotive industries, due to their low weight and high mechanical strength. Determining the behavior of these materials under ballistic impacts is particularly important for the design of protective structures and for selecting suitable materials. In this study, 10 mm-thick glass fiber and carbon fiber reinforced plates with 0°/90° fiber orientation were manufactured using Araldite epoxy resin, and their ballistic impact behavior was experimentally compared.

Glass- and carbon-fiber-reinforced specimens were prepared under the same manufacturing conditions, and ballistic tests were conducted using a single-stage gas gun. A total of four shots were applied to the glass fiber reinforced specimens at approximately 536 m/s, 500 m/s, 500 m/s, and 411 m/s. A single shot was applied to the carbon fiber reinforced specimen at approximately 436 m/s. After the ballistic tests, the damage, penetration behavior, and delamination formation in the specimens were examined, and the ballistic impact behavior of the two fiber materials was evaluated.

As a result of the ballistic tests, "+" shaped delamination regions caused by the 0°/90° orientation of the layers were observed in both materials. Due to its high stiffness, the carbon fiber-reinforced specimen exhibited brittle fracture behavior and lost structural integrity at an impact velocity of approximately 436 m/s. In contrast, the glass fiber-reinforced specimens exhibited greater ductility and dissipated impact energy more effectively at high velocities. The results indicate that, in addition to stiffness, energy absorption capacity, damage behavior, and ductility should also be considered in material selection for ballistic applications.

Keywords: Aerospace Structures, Carbon Fiber, Glass Fiber, Ballistic Impact.

ALZHEIMER HASTALIĞI, HUNTINGTON HASTALIĞI VE DEMANS OLMAYAN KONTROLLERİN AYIRT EDİLMESİ İÇİN KORUNMUŞ 30 GENLİK BİR İMZANIN ENTEGRE ÇOK SINIFLI MAKİNE ÖĞRENMESİ VE TRANSKRİPTOMİK PROFİLLENMESİ

Doç. Dr. Emine GÜVEN
Düzce University, Faculty of Engineering, Department of Biomedical Enginnering, 81000, Düzce
ORCID ID: 0000-0001-9324-0879

ÖZET
Alzheimer hastalığı (AD) ve Huntington hastalığı (HD) gibi nörodejeneratif bozukluklar, klinik olarak ayırt edilmelerini ve hastalığa özgü biyobelirteçlerin keşfini zorlaştıran ortak patolojik özellikler paylaşmaktadır. Yüksek boyutlu transkriptomik verilere uygulanan makine öğrenimi, tanısal imzaların belirlenmesi için güçlü bir strateji sunmaktadır. Bu çalışma; sağlıklı kontrolleri hastalıklı insan beyin dokularından ayırmak amacıyla, 15'i artmış (örn. ADCYAP1, VGF, TAC1 ve SCG3) ve 15'i azalmış (örn. SLC6A12, ADAM33, ADORA2A-AS1 ve TEPSIN) genlerden oluşan, elle küratörlüğü yapılmış 30 genlik bir biyobelirteç panelinin sınıflandırma performansını ve moleküler özelliklerini değerlendirmiştir. GSE33000 verisetinden (N = 624; 157 kontrol, 157 HD ve 310 AD) kamuya açık prefrontal korteks mikrodizin (microarray) verileri, yalnızca bu 30 genle sınırlandırılmış ifade profilleri kullanılarak analiz edilmiştir. İkili diferansiyel ifade analizi, Benjamini–Hochberg yanlış keşif oranı (FDR) düzeltmeli Student t-testleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Altı denetimli makine öğrenimi algoritması (RF, SVM-Radial, GBM, GLM, PLS ve NNET), tekrarlanan 5 katlı çapraz doğrulama kullanılarak eğitilmiştir. Güçlü bir genelleştirme sağlamak için veri sızıntısız (leakage-free) yuvalanmış (nested) 5 katlı çapraz doğrulama çerçevesi uygulanmıştır. Volkan grafikleri (volcano plots) hastalığa özgü diferansiyel ifade kalıplarını tanımlarken, ölçeklendirilmiş ısı haritası (heatmap) analizi klinik fenotiplerle uyumlu belirgin transkriptomik kümelenmeleri ortaya koymuştur. RF sınıflandırıcısı en yüksek ortalama çapraz doğrulanmış doğruluk oranına (%80,31) ulaşmış, bunu SVM-Radial (%79,94) ve GBM (%79,46) izlemiştir. Tarafsız yuvalanmış çapraz doğrulama ise kararlı bir tanısal performansı (%79,64) doğrulamıştır. Bu bulgular, 30 genlik kompakt bir transkriptomik imzanın AD, HD ve sağlıklı kontrolleri etkili bir şekilde ayırdığını göstermekte; nörodejeneratif hastalıkların sınıflandırılmasında açıklanabilir makine öğreniminin ve hedeflenmiş biyobelirteçlerin değerini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Nörodejeneratif hastalıklar, Transkriptomik, Makine öğrenmesi, Biyobelirteçler, Rastgele Orman (Random Forest), Diferansiyel gen ekspresyonu.

INTEGRATED MULTI-CLASS MACHINE LEARNING AND TRANSCRIPTOMIC PROFILING OF A CONSERVED 30-GENE SIGNATURE FOR DISTINGUISHING ALZHEIMER'S DISEASE, HUNTINGTON'S DISEASE, AND NON-DEMENTED CONTROLS

ABSTRACT
Neurodegenerative disorders such as Alzheimer's disease (AD) and Huntington's disease (HD) share common pathological features, compromising their clinical distinction and the discovery of disease-specific biomarkers. Machine learning applied to high-dimensional transcriptomic data provides a powerful strategy for identifying diagnostic signatures. This study evaluated the classification performance and molecular characteristics of a manually curated 30-gene

biomarker panel comprising 15 up-regulated (e.g., *ADCYAP1, VGF, TAC1,* and *SCG3*) and 15 down-regulated (e.g., *SLC6A12, ADAM33, ADORA2A-AS1,* and *TEPSIN*) genes to discriminate healthy controls from diseased human brain tissues. Publicly available prefrontal cortex microarray data from GSE33000 (N = 624; 157 controls, 157 HD, and 310 AD) were analyzed using expression profiles restricted to these 30 genes. Pairwise differential expression was assessed using Student's *t*-tests with Benjamini–Hochberg false discovery rate correction. Six supervised machine learning algorithms (RF, SVM-Radial, GBM, GLM, PLS, and NNET) were trained using repeated 5-fold cross-validation. A leakage-free nested 5-fold cross-validation framework was implemented to ensure robust generalization. Volcano plots identified disease-specific differential expression patterns, while scaled heatmap analysis revealed distinct transcriptomic clustering consistent with clinical phenotypes. The RF classifier achieved the highest mean cross-validated accuracy (80.31%), followed by SVM-Radial (79.94%) and GBM (79.46%). Unbiased nested cross-validation confirmed stable diagnostic performance (79.64%). These findings demonstrate that a compact 30-gene transcriptomic signature effectively discriminates AD, HD, and healthy controls, highlighting the value of interpretable machine learning and targeted biomarkers for neurodegenerative disease classification.

Keywords: Neurodegenerative diseases, Transcriptomics, Machine learning, Biomarkers, Random Forest, Differential gene expression

SƏRİŞTƏLİLİK MÜASİR MÜƏLLİMİN BAŞLICA KEYFİYYƏTİDİR

Assoc. Prof. Dr. Anvar Abbasov
Baku Slavic University, Faculty of Education, Department of pedagogy Republic of Azerbaijan
ORCID İD:0000-0002-0811-549X

XÜLASƏ
Məqalədə XXI əsrin qlobal sosial-iqtisadi, elmi-texnoloji çağırışları və rəqəmsal transformasiya fonunda müasir müəllim fəaliyyətinə verilən yeni tələblər elmi-pedaqoji baxımdan təhlil olunur. Təhsilin bilikyönümlü modeldən sərişdəyönümlü modelə keçidi şəraitində müəllimin rolu ənənəvi bilik ötürücüsündən öyrənmə prosesinin dizayneri, fasilitator, mentor və tədqiqatçı istiqamətinə dəyişmişdir. Yazıda sərişdə və sərişdəlilik anlayışlarının mahiyyəti araşdırılır; fənn, pedaqoji-metodik, psixoloji, rəqəmsal, kommunikativ və reflektiv fəaliyyət kimi əsas peşə sərişdələrinin strukturu və onların təlim prosesinin keyfiyyətinə təsiri ətraflı izah edilir.
Tədqiqatda Azərbaycan Respublikasının təhsil siyasəti, o cümlədən "Təhsilin İnkişafı üzrə Dövlət Strategiyası" və "Milli Prioritetlər" sənədi çərçivəsində müəllim hazırlığı, sertifikatlaşdırma mexanizmləri və davamlı peşəkar inkişafın rolu ön plana çəkilir. Eyni zamanda, Finlandiya, Sinqapur və Estoniya kimi ölkələrin qabaqcıl beynəlxalq təcrübələri, eləcə də yerli və xarici alimlərin (L. Shulman, J. Hattie, F. Rüstəmov və b.) elmi mülahizələri müqayisəli şəkildə araşdırılır. Süni intellekt alətlərinin və innovativ pedaqoji yanaşmaların (STEAM, layihəəsaslı təlim) təhsilə inteqrasiyası fonunda gələcəyin müəllim modeli xarakterizə olunur. Yekunda belə nəticəyə gəlinir ki, müəllim sərişdəliliyi yalnız fərdi peşəkarlıq göstəricisi deyil, həm də ölkədə rəqabətqabiliyyətli insan kapitalının formalaşmasını və bütövlükdə təhsil sisteminin inkişafını təmin edən strateji amildir.
Açar sözlər: müəllim sərişdəliliyi, sərişdəyönümlü təhsil, rəqəmsal transformasiya, peşəkar inkişaf, insan kapitalı.

DILIGENCE IS THE MAIN QUALITY OF A MODERN TEACHER

ABSTRAKT
The article provides a scientific and pedagogical analysis of the new requirements imposed on modern teaching activities in the light of 21st-century global socio-economic, scientific-technological challenges, and digital transformation. In the context of shifting from a knowledge-oriented to a competency-based educational model, the role of a teacher has evolved from a traditional transmitter of information to a learning designer, facilitator, mentor, and researcher. The paper explores the essence of "competence" and "competency," breaking down core professional dimensions such as subject-matter, pedagogical-methodological, psychological, digital, communicative, and reflective competencies, while detailing their direct impact on the quality of the instruction.
The study highlights teacher training, certification mechanisms, and continuous professional development within the framework of the educational policy of the Republic of Azerbaijan, specifically referencing the "State Strategy for the Development of Education" and "National Priorities." Furthermore, it presents a comparative analysis of leading international practices (Finland, Singapore, Estonia) alongside pedagogical insights from prominent local and global scholars (L. Shulman, J. Hattie, F. Rüstəmov, etc.). The model of the future teacher is characterized against the backdrop of integrating artificial intelligence tools and innovative pedagogical approaches (STEAM, Project-Based Learning). The article concludes that teacher competency is not merely an indicator of individual professionalism, but a strategic factor that

ensures the cultivation of competitive human capital and the overall advancement of the educational system.

Keywords: teacher competency, competency-based education, digital transformation, professional development, human capital.

GİRİŞ

XXI əsrin qlobal miqyasda baş verən sosial-iqtisadi, elmi-texnoloji və informasiya-kommunikasiya sahələrindəki sürətli dəyişikliklər təhsil sisteminin qarşısında da yeni vəzifələr müəyyənləşdirdi. Onlardan ən başlıcası müasir dövrdə təhsilin əsas məqsədinə çevrilən çəxsiyyətin formalaşdırılması idi. Elə bir şəxsiyyət ki, yalnız biliklərin ötürülməsi ilə məhdudlaşmasın, dəyişən cəmiyyətin tələblərinə uyğun düşünsün, yaradıcı, tənqidi təfəkkürə malik olsun, rəqabətqabiliyyətli və ömürboyu öyrənməyə hazır şəxsiyyət kimi cəmiyyətdə yer tuta bilsin (UNESCO, 2020; OECD, 2019). Bu məqsədlərin reallaşdırılmasında həlledici amillərdən biri müəllimin peşəkar səriştəliliyidir. Çünki təhsildə həyata keçirilən bütün islahatların uğuru, tətbiq olunan innovativ yanaşmaların səmərəliliyi və təlim nəticələrinin keyfiyyəti, ilk növbədə, müəllimin peşəkarlıq səviyyəsindən asılıdır (Darling-Hammond, 2017; Fullan, 2020).

Azərbaycan Respublikasında da təhsilin inkişafı dövlət siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biri kimi müəyyən edilmiş, müəllim hazırlığının keyfiyyətinin yüksəldilməsi, peşəkar inkişafın dəstəklənməsi və səriştəyönümlü müəllim modelinin formalaşdırılması istiqamətində mühüm addımlar atılmışdır (Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2013-cü il 24 oktyabr tarixli Sərəncamı; "Təhsil haqqında" Azərbaycan Respublikasının Qanunu, 2009). Həyata keçirilən islahatlar müəllimin peşəkar inkişafının davamlılığını təmin etməklə yanaşı, onun müasir təhsil mühitində innovativ fəaliyyət göstərməsini də zərurətə çevirir. Müasir beynəlxalq təhsil trendləri də müəllimin yalnız bilik ötürən deyil, həm də öyrənmə prosesini təşkil edən, tədqiqat aparan, rəqəmsal texnologiyalardan səmərəli şəkildə yararlanan və fasiləsiz inkişaf edən peşəkar kimi fəaliyyət göstərməsini tələb edir (European Commission, 2013; OECD, 2020).

Bu baxımdan məqalənin məqsədi səriştəliliyin müasir müəllimin əsas peşə keyfiyyəti kimi mahiyyətini elmi-pedaqoji baxımdan əsaslandırmaq, onun müəllim hazırlığında və təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsində rolunu Azərbaycan Respublikasının təhsil siyasəti, beynəlxalq təcrübə və müasir elmi-pedaqoji tədqiqatlar kontekstində təhlil etməkdir.

2.YANAŞMALAR VƏ METODLAR

2.1. Müasir dövrün yenilikləri və müəllim qarşısında qoyulan tələblər

XXI əsr elmi-texniki tərəqqinin, rəqəmsal transformasiyanın və qloballaşmanın sürətlə inkişaf etdiyi bir dövr kimi cəmiyyətin bütün sahələrində, xüsusilə də təhsil sistemində fundamental dəyişikliklərə səbəb olmuşdur. İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının geniş tətbiqi, süni intellekt, böyük verilənlər (Big Data), bulud texnologiyaları və rəqəmsal platformaların inkişafı təlim prosesinin məzmununa, təşkili formalarına və müəllimin peşə fəaliyyətinə yeni məzmun qazandırmışdır (OECD, 2023; UNESCO, 2023). Əgər əvvəlki dövrlərdə müəllimin əsas funksiyası bilikləri şagirdlərə çatdırmaq hesab olunurdusa, müasir dövrdə onun əsas vəzifəsi öyrənmə prosesini təşkil etmək, şagirdlərin müstəqil düşünmə, tədqiqat aparma, problem həll etmə və əməkdaşlıq bacarıqlarını inkişaf etdirməkdən ibarətdir.

Müasir təhsil fəlsəfəsinin əsas istiqamətlərindən biri bilikyönümlü təlim modelindən səriştəyönümlü təlim modelinə keçiddir. Bu yanaşmada əsas diqqət şagirdin yalnız nəzəri biliklər əldə etməsinə deyil, həmin bilikləri real həyatda tətbiq etmək bacarığının formalaşdırılmasına yönəldilir. Bu baxımdan müəllim tədris prosesində bilik mənbəyi olmaqla yanaşı, fasilitator, mentor, məsləhətçi və öyrənmə mühitinin təşkilatçısı kimi çıxış edir (European Commission, 2018). Belə bir yanaşma müəllimdən yüksək peşəkarlıq, çeviklik və daim yenilənən bilik və bacarıqlara malik olmağı tələb edir.

Qloballaşma şəraitində əmək bazarında baş verən dəyişikliklər də müəllim hazırlığına yeni baxışın formalaşmasına səbəb olmuşdur. Dünya İqtisadi Forumunun proqnozlarına görə yaxın illərdə peşələrin əhəmiyyətli hissəsi avtomatlaşdırılacaq, bununla yanaşı, analitik düşünmə, yaradıcılıq, emosional intellekt, liderlik, kommunikasiya və rəqəmsal savadlılıq kimi bacarıqlara tələbat daha da artacaqdır (World Economic Forum, 2025). Bu bacarıqların şagirdlərdə formalaşdırılması isə ilk növbədə, həmin kompetensiyalara malik müəllimlərin fəaliyyətindən asılıdır. Deməli, müəllimin peşəkar inkişafı yalnız təhsil sisteminin deyil, bütövlükdə cəmiyyətin davamlı inkişafının əsas şərtlərindən biri kimi qiymətləndirilməlidir.

Müasir dövrdə təhsildə müşahidə olunan digər mühüm tendensiya inklüzivliyin, fərdiləşdirilmiş öyrənmənin və ömürboyu təhsil konsepsiyasının geniş tətbiqidir. Müxtəlif sosial, mədəni və fərdi xüsusiyyətlərə malik şagirdlərlə işləmək müəllimdən diferensial təlim strategiyalarını mənimsəməyi, müxtəlif qiymətləndirmə üsullarından istifadə etməyi və hər bir şagird üçün əlverişli öyrənmə mühiti yaratmağı tələb edir (UNESCO, 2020). Bu isə müəllimin yalnız fənn biliklərinə deyil, həm də pedaqoji, psixoloji, kommunikativ və sosial səriştələrə malik olmasını zəruri edir.

Azərbaycan Respublikasında da təhsil islahatlarının əsas istiqamətlərindən biri müəllimin peşəkar inkişafının gücləndirilməsi və səriştəyönümlü müəllim modelinin formalaşdırılmasıdır. "Azərbaycan Respublikasında Təhsilin İnkişafı üzrə Dövlət Strategiyası"nda müəllim hazırlığının keyfiyyətinin yüksəldilməsi, müəllimlərin peşəkar inkişaf sisteminin təkmilləşdirilməsi və müasir kompetensiyalara malik müəllim korpusunun formalaşdırılması prioritet vəzifələrdən biri kimi müəyyən edilmişdir (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2013). Son illərdə müəllimlərin işə qəbulu prosesinin təkmilləşdirilməsi, sertifikatlaşdırma mexanizminin tətbiqi, rəqəmsal təhsil resurslarının genişləndirilməsi və davamlı peşəkar inkişaf proqramlarının həyata keçirilməsi bu istiqamətdə atılmış mühüm addımlardır. Bütün bunlar göstərir ki, müasir dövrdə müəllim peşəsi yalnız biliklərin ötürülməsinə deyil, dəyişiklikləri idarə edən, innovasiyaları tətbiq edən və cəmiyyətin inkişafına töhfə verən yüksək səriştəli mütəxəssis modelinə əsaslanır.

Müasir təhsil mühitində müəllimin peşəkar fəaliyyətinə verilən tələblər yalnız fənn üzrə dərin biliklərlə məhdudlaşmır. Müəllim, eyni zamanda, təlim prosesini elmi əsaslarla planlaşdırmağı, müasir pedaqoji texnologiyaları tətbiq etməyi, şagird nailiyyətlərini obyektiv qiymətləndirməyi, valideynlərlə və digər maraqlı tərəflərlə səmərəli əməkdaşlıq qurmağı bacarmalıdır. Bu baxımdan müəllimin peşəkar inkişafı fasiləsiz xarakter daşımalı, dəyişən təhsil mühitinə uyğun olaraq daim yenilənməlidir. OECD-nin müəllim siyasəti ilə bağlı araşdırmalarında vurğulanır ki, yüksək nəticə göstərən təhsil sistemlərini fərqləndirən əsas amillərdən biri müəllimlərin davamlı peşəkar inkişafının institusional şəkildə dəstəklənməsidir (OECD, 2020).

Azərbaycan pedaqoji fikir tarixində də müəllimin peşəkarlığı təhsilin keyfiyyətini müəyyən edən başlıca amillərdən biri kimi qiymətləndirilmişdir. Akademik Misir Mərdanov müəllim şəxsiyyətini cəmiyyətin intellektual potensialının formalaşmasında aparıcı qüvvə hesab edir və qeyd edir ki, təhsil islahatlarının uğuru, ilk növbədə, müəllimin peşəkarlıq səviyyəsi ilə şərtlənir (Mərdanov, 2011). Fərrux Rüstəmov isə müəllimin yalnız bilik verən deyil, həm də milli-mənəvi dəyərləri yaşadan, yaradıcı düşüncəni inkişaf etdirən və cəmiyyətin sosial sifarişini həyata keçirən şəxs olduğunu vurğulayır (Rüstəmov, 2010). Bu yanaşmalar müasir kompetensiya əsaslı müəllim modelinin mahiyyəti ilə səsləşir.

Rəqəmsal transformasiya müəllimin peşə fəaliyyətinə yeni məzmun gətirmişdir. Elektron təhsil resursları, öyrənmənin idarəedilməsi sistemləri (LMS), virtual laboratoriyalar, adaptiv öyrənmə platformaları və süni intellekt əsaslı tətbiqlər tədris prosesinin ayrılmaz hissəsinə çevrilməkdədir. Müəllim bu texnologiyalardan yalnız texniki vasitə kimi deyil, təlim

məqsədlərinə uyğun şəkildə pedaqoji cəhətdən əsaslandırılmış formada istifadə etməlidir. Xüsusilə generativ süni intellekt alətlərinin meydana çıxması müəllimin rolunu zəiflətməmiş, əksinə, onun kurator, məsləhətçi və öyrənmə prosesinin təşkilatçısı funksiyalarını daha da aktuallaşdırmışdır. Buna görə də rəqəmsal savadlılıq və süni intellektdən etik istifadə bacarığı müasir müəllimin vacib səriştələri sırasına daxil edilir (UNESCO, 2023).

Son illərdə geniş tətbiq olunan STEAM təhsili, layihəəsaslı öyrənmə (Project-Based Learning), probleməsaslı öyrənmə (Problem-Based Learning), çevrilmiş sinif (Flipped Classroom) və qarışıq təlim (Blended Learning) kimi innovativ pedaqoji yanaşmalar müəllimdən daha yüksək metodik hazırlıq tələb edir. Bu metodların uğurlu tətbiqi müəllimin yalnız nəzəri biliklərə deyil, həm də yaradıcı düşünməyə, reflektiv fəaliyyətə və tədqiqatçılıq bacarıqlarına malik olmasını zəruri edir. John Hattie (2023) öz tədqiqatlarında göstərir ki, şagird nailiyyətlərinə ən güclü təsir göstərən amillərdən biri müəllimin peşəkar kompetensiyası, reflektiv fəaliyyəti və təlim prosesini elmi əsaslarla idarə etmək bacarığıdır.

Azərbaycan Respublikasında müəllim peşəsinin inkişafına yönəlmiş islahatlar da məhz bu məqsədlərə xidmət edir. Müəllimlərin sertifikatlaşdırılması, peşəkar inkişaf proqramlarının genişləndirilməsi, rəqəmsal təhsil resurslarının tətbiqi və müəllimlərin karyera inkişafının stimullaşdırılması onların peşə səriştələrinin davamlı inkişafına əlverişli zəmin yaradır. Bu tədbirlər "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədində insan kapitalının inkişafı istiqamətində müəyyən edilmiş hədəflərlə də uzlaşır (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2021).

Beləliklə, müasir dövrün çağırışları müəllimin peşə fəaliyyətinə münasibətdə keyfiyyətcə yeni yanaşmanın formalaşmasını zəruri etmişdir. Artıq müəllim yalnız müəyyən həcmdə biliklərə malik mütəxəssis deyil, həm də innovativ düşünən, rəqəmsal texnologiyalardan səmərəli istifadə edən, tədqiqat aparan, dəyişiklikləri idarə edən və ömürboyu öyrənmə fəlsəfəsini şəxsi peşə fəaliyyətində reallaşdıran peşəkar kimi çıxış edir. Bu baxımdan müasir müəllimin uğurunu müəyyən edən əsas göstərici onun malik olduğu səriştələrin səviyyəsi və həmin səriştələri təlim prosesində yaradıcı şəkildə tətbiq etmək bacarığıdır. Məhz buna görə də müəllim səriştəliliyinin mahiyyətinin və strukturunun elmi-pedaqoji baxımdan araşdırılması müasir təhsil nəzəriyyəsinin və praktikasının mühüm istiqamətlərindən biri hesab olunur.

2.2. Keyfiyyətli müəllim hazırlığı cəmiyyətimizin və dövlətimizin tələbi kimi

Müasir dövrdə cəmiyyətlərin sosial-iqtisadi inkişaf səviyyəsi, innovasiya potensialı və rəqabət qabiliyyəti bilavasitə insan kapitalının keyfiyyətindən asılıdır. İnsan kapitalının formalaşmasında isə təhsil sistemi, xüsusilə müəllim amili həlledici rol oynayır. Bu səbəbdən dünyanın inkişaf etmiş ölkələrində müəllim hazırlığı təkcə pedaqoji məsələ deyil, həm də dövlətin strateji inkişaf siyasətinin mühüm istiqamətlərindən biri kimi qiymətləndirilir (OECD, 2023). Müəllimin peşə hazırlığının keyfiyyəti yalnız təlim nəticələrinə deyil, həm də gələcək vətəndaşın intellektual, mənəvi və sosial inkişafına, ölkənin elmi, iqtisadi və mədəni potensialına birbaşa təsir göstərir.

Azərbaycan Respublikasında da müəllim hazırlığının təkmilləşdirilməsi dövlət təhsil siyasətinin prioritet istiqamətlərindən biri kimi müəyyən edilmişdir. "Azərbaycan Respublikasında Təhsilin İnkişafı üzrə Dövlət Strategiyası"nda müəllim hazırlığının müasir tələblərə uyğun yenidən qurulması, müəllim peşəsinin nüfuzunun artırılması, peşəkar inkişaf sisteminin təkmilləşdirilməsi və səriştəyönümlü müəllim modelinin formalaşdırılması əsas strateji hədəflər sırasında göstərilir (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2013). Bununla yanaşı, "Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər" sənədində insan kapitalının gücləndirilməsi ölkənin uzunmüddətli inkişafının əsas istiqamətlərindən biri kimi müəyyən edilmiş, bu məqsədin reallaşdırılmasında keyfiyyətli müəllim hazırlığının əhəmiyyəti xüsusi vurğulanmışdır (Azərbaycan Respublikası Prezidenti, 2021).

Pedaqoji təhsil müəssisələrinin fəaliyyətində baş verən yeniliklər də bu strateji məqsədlərin həyata keçirilməsinə xidmət edir. Son illərdə müəllim hazırlığı proqramlarının məzmununun yenilənməsi, kompetensiya əsaslı kurikulumların tətbiqi, pedaqoji təcrübənin genişləndirilməsi və rəqəmsal texnologiyaların tədris prosesinə inteqrasiyası müəllim hazırlığında keyfiyyətin yüksəldilməsinə yönəlmiş mühüm addımlar hesab olunur. Bu dəyişikliklər ali pedaqoji təhsil müəssisələrinin məzunlarını yalnız nəzəri biliklərlə deyil, həm də praktik bacarıqlar, peşə etikası, tədqiqatçılıq mədəniyyəti və innovativ fəaliyyət səriştələri ilə təmin etməyi qarşıya məqsəd qoyur.

Müəllim hazırlığının keyfiyyəti yalnız ali təhsil dövrü ilə məhdudlaşmamalıdır. Müasir pedaqoji nəzəriyyədə müəllimin peşəkar inkişafı fasiləsiz və ömürboyu davam edən proses kimi qəbul edilir (Darling-Hammond, 2017). Müəllim peşəyə başladıqdan sonra da yeni bilik və bacarıqlar əldə etməli, dəyişən kurikulum tələblərinə uyğunlaşmalı, müasir tədris texnologiyalarını mənimsəməli və öz fəaliyyətini davamlı şəkildə təhlil etməlidir. Bu baxımdan peşəkar inkişaf kursları, mentorluq proqramları, fəaliyyət əsaslı tədqiqatlar (Action Research), peşəkar öyrənmə icmaları (Professional Learning Communities – PLC) və rəqəmsal öyrənmə platformaları müəllimin səriştələrinin inkişafında mühüm rol oynayır.

Azərbaycan təhsil sistemində son illərdə tətbiq edilən müəllimlərin sertifikatlaşdırılması mexanizmi də peşəkar inkişafın stimullaşdırılmasına xidmət edən mühüm islahatlardan biridir. Sertifikatlaşdırmanın əsas məqsədi müəllimlərin peşə bilik və bacarıqlarını qiymətləndirmək, onların inkişaf ehtiyaclarını müəyyənləşdirmək və davamlı peşəkar inkişaf üçün motivasiya yaratmaqdır. Bu yanaşma müəllimin fəaliyyətinin yalnız nəzarət obyekti deyil, həm də inkişaf prosesinin iştirakçısı kimi qiymətləndirilməsi baxımından mühüm əhəmiyyət daşıyır. Sertifikatlaşdırmanın nəticələri müəllimlərin özünütəhlil bacarıqlarının formalaşmasına, fərdi inkişaf planlarının hazırlanmasına və tədrisin keyfiyyətinin yüksəldilməsinə şərait yaradır.

Keyfiyyətli müəllim hazırlığının səmərəliliyi beynəlxalq təcrübədə də öz təsdiqini tapmışdır. Təhsil sahəsində yüksək nəticələr əldə etmiş ölkələrin təcrübəsi göstərir ki, uğurlu təhsil sistemlərinin əsasında yüksək peşəkarlığa malik müəllim korpusu dayanır. Məsələn, Finlandiyada müəllim peşəsi ən nüfuzlu peşələrdən biri hesab olunur və müəllim hazırlığı ciddi seçim meyarlarına əsaslanır. Müəllim olmaq istəyən namizədlər yalnız yüksək akademik göstəricilərə görə deyil, həm də tədqiqat aparmaq, analitik düşünmək və pedaqoji prosesə maraq yaratmaq baxımından qiymətləndirilirlər. Müəllim hazırlığı magistratura səviyyəsində həyata keçirilir və elmi-tədqiqat fəaliyyəti proqramının ayrılmaz tərkib hissəsini təşkil edir (Sahlberg, 2021).

Sinqapurun müəllim hazırlığı modeli də dünya miqyasında uğurlu nümunələrdən biri hesab edilir. Bu ölkədə müəllim peşəsi dövlət tərəfindən strateji insan kapitalı kimi qiymətləndirilir. Müəllimlərin peşəkar inkişafı karyera boyu sistemli şəkildə planlaşdırılır, hər bir müəllim üçün fərdi inkişaf trayektoriyası müəyyən edilir və onların davamlı təlimlərdə iştirakı təmin olunur. Michael Fullan (2020) qeyd edir ki, təhsildə davamlı keyfiyyət yalnız müəllimin öz peşə inkişafını fasiləsiz şəkildə davam etdirdiyi sistemlərdə mümkündür. Bu yanaşma müəllimin öyrədən olmaqla yanaşı, daim öyrənən peşəkar kimi formalaşmasını təmin edir.

Son illərdə Estoniya da müəllim hazırlığın sahəsində rəqəmsal transformasiyanın uğurlu tətbiqi ilə diqqəti cəlb edir. Rəqəmsal texnologiyaların pedaqoji məqsədlərlə inteqrasiyası, müəllimlərin rəqəmsal səriştələrinin sistemli inkişafı və məktəblərdə innovativ öyrənmə mühitinin yaradılması bu ölkənin beynəlxalq qiymətləndirmələrdə yüksək nəticələr əldə etməsinə mühüm töhfə vermişdir (OECD, 2023). Bu təcrübə göstərir ki, müasir müəllimin hazırlığında yalnız fənn biliklərinin deyil, həm də rəqəmsal pedaqogikanın, məlumatların təhlili bacarıqlarının və süni intellekt texnologiyalarından etik istifadə kompetensiyalarının inkişaf etdirilməsi vacibdir.

Azərbaycan alimləri də müəllim hazırlığının keyfiyyətini milli təhsil sisteminin inkişafında əsas amillərdən biri kimi qiymətləndirirlər. Akademik Hüseyn Əhmədov müəllim peşəsinin cəmiyyətin mənəvi və intellektual inkişafında müstəsna rolunu qeyd edərək vurğulayır ki, müəllimin yüksək peşə hazırlığı yalnız təlimin səmərəliliyini artırmır, eyni zamanda milli-mənəvi dəyərlərin gələcək nəsillərə ötürülməsində mühüm vasitəyə çevrilir (Əhmədov, 2010). Fərrux Rüstəmov müəllim hazırlığında elmi biliklə praktik fəaliyyətin vəhdətini əsas şərtlərdən biri hesab edir və qeyd edir ki, müəllim yalnız universitetdə əldə etdiyi biliklərlə kifayətlənməməli, peşə fəaliyyəti boyunca özünü inkişaf etdirməlidir (Rüstəmov, 2010). Hikmət Əlizadə isə müəllimin psixoloji-pedaqoji hazırlığının, ünsiyyət mədəniyyətinin və emosional intellektinin təlim prosesinin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərdiyini vurğulayır (Əlizadə, 2018).

Müasir müəllim hazırlığında innovativ yanaşmaların tətbiqi də xüsusi aktuallıq kəsb edir. STEAM təhsili, dizayn təfəkkürü (Design Thinking), layihəəsaslı öyrənmə, fəaliyyət əsaslı tədqiqat (Action Research), mikroöyrənmə (Microlearning), qarışıq təlim (Blended Learning) və süni intellekt dəstəkli öyrənmə mühitləri müəllim hazırlığı proqramlarının mühüm komponentlərinə çevrilməkdədir. Bu yanaşmalar müəllim namizədlərində yalnız peşə biliklərini deyil, eyni zamanda problem həll etmə, yaradıcı düşünmə, əməkdaşlıq, refleksiya və innovativ qərarvermə bacarıqlarını inkişaf etdirir. UNESCO (2024) müəllim hazırlığında rəqəmsal transformasiyanın uğurla həyata keçirilməsi üçün pedaqoji innovasiyaların texnoloji yeniliklərlə uzlaşdırılmasını əsas şərtlərdən biri kimi göstərir.

Beləliklə, həm beynəlxalq təcrübə, həm də Azərbaycan təhsilinin inkişaf istiqamətləri göstərir ki, keyfiyyətli müəllim hazırlığı yalnız ali pedaqoji təhsil müəssisələrinin vəzifəsi deyil, dövlət, cəmiyyət və təhsil müəssisələrinin qarşılıqlı əməkdaşlığı əsasında həyata keçirilən kompleks və davamlı prosesdir. Müəllimin peşəkar inkişafına yönəlmiş məqsədyönlü siyasət, elmi əsaslandırılmış hazırlıq proqramları və innovativ təlim yanaşmaları təhsil sisteminin keyfiyyətinin yüksəldilməsinin əsas təminatlarından biri kimi çıxış edir. Məhz buna görə də müasir dövrdə müəllim hazırlığında əsas diqqət yalnız biliklərin mənimsədilməsinə deyil, peşəkar səriştələrin formalaşdırılmasına yönəldilir.

2.3. Səriştəliliyin müəllimin başlıca keyfiyyəti olmasının elmi-pedaqoji cəhətdən əsaslandırılması

Müasir təhsil nəzəriyyəsində və pedaqoji praktikada müəllimin peşəkarlığını müəyyən edən əsas meyarlardan biri onun səriştəlilik səviyyəsidir. Əgər ənənəvi təhsil modelində müəllimin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi, əsasən, onun fənn üzrə biliklərinin həcmi ilə əlaqələndirilirdisə, müasir səriştəyönümlü təhsil yanaşmasında müəllimin peşəkar fəaliyyəti bilik, bacarıq, dəyər, münasibət və şəxsi keyfiyyətlərin qarşılıqlı vəhdəti əsasında dəyərləndirilir. Bu yanaşma müəllimin yalnız öyrədən deyil, həm də öyrənmə prosesini layihələndirən, təhsil mühitini idarə edən, şagirdlərin fərdi inkişafını dəstəkləyən və cəmiyyətin dəyişən tələblərinə çevik uyğunlaşan peşəkar şəxsiyyət kimi formalaşmasını nəzərdə tutur (European Commission, 2018; OECD, 2019).

Pedaqoji ədəbiyyatda "səriştə" (competence) və "səriştəlilik" (competency) anlayışları bir-biri ilə sıx bağlı olsa da, onların məzmununda müəyyən fərqlər mövcuddur. Səriştə konkret fəaliyyət sahəsində uğurlu nəticə əldə etməyə imkan verən bilik, bacarıq, dəyər və təcrübələrin məcmusunu ifadə edir. Səriştəlilik isə həmin səriştələrin real peşə fəaliyyətində məqsədyönlü, yaradıcı və səmərəli tətbiq olunması qabiliyyətidir (Perrenoud, 2004). Başqa sözlə, müəllimin malik olduğu biliklərin praktik fəaliyyətə çevrilməsi yalnız səriştəlilik səviyyəsinin yüksək olduğu halda mümkündür.

Philippe Perrenoud müəllim səriştəsini peşə fəaliyyətində qarşıya çıxan mürəkkəb pedaqoji problemləri müxtəlif bilik və bacarıqları inteqrasiya etməklə həll etmək qabiliyyəti kimi

xarakterizə edir (Perrenoud, 2004). Lee Shulman isə müəllim peşəkarlığının əsasını pedaqoji məzmun biliyi (Pedagogical Content Knowledge) təşkil etdiyini göstərərək vurğulayır ki, müəllim yalnız fənni dərindən bilməklə kifayətlənməməli, həmin biliyi şagirdlərin yaş və inkişaf xüsusiyyətlərinə uyğun şəkildə təqdim etməyi də bacarmalıdır (Shulman, 1987). Linda Darling-Hammond bu yanaşmanı inkişaf etdirərək qeyd edir ki, müasir müəllim səriştəliliyi fənn bilikləri ilə yanaşı, reflektiv düşünmə, əməkdaşlıq, inklüziv təlim, qiymətləndirmə və davamlı peşəkar inkişaf bacarıqlarını da özündə birləşdirən kompleks anlayışdır (Darling-Hammond, 2017).

Azərbaycan pedaqoji elmində də səriştə anlayışı müasir təhsil islahatlarının əsas istiqamətlərindən biri kimi dəyərləndirilir. Fərrux Rüstəmovun fikrincə, müəllimin peşəkarlığı yalnız nəzəri hazırlıqla deyil, əldə etdiyi bilikləri konkret pedaqoji situasiyalarda yaradıcı şəkildə tətbiq etmək bacarığı ilə müəyyən olunur (Rüstəmov, 2010). Misir Mərdanov müəllim hazırlığının məzmununda səriştə yanaşmasının gücləndirilməsini təhsilin keyfiyyətinin yüksəldilməsinin başlıca şərtlərindən biri hesab edir və vurğulayır ki, müasir müəllim daim öz üzərində işləyən, yeniliklərə açıq olan və dəyişən təhsil mühitinə uyğunlaşa bilən peşəkar olmalıdır (Mərdanov, 2011). Bu baxımdan müəllimin səriştəliliyi yalnız fərdi keyfiyyət deyil, həm də ölkənin təhsil strategiyasının uğurla həyata keçirilməsini təmin edən mühüm amildir.

Müasir beynəlxalq sənədlərdə də müəllim səriştələri təhsilin keyfiyyətinin əsas göstəricilərindən biri kimi qəbul edilir. Avropa Komissiyasının "Ömürboyu öyrənmə üçün əsas səriştələr" sənədində müəllimin rəqəmsal savadlılıq, vətəndaşlıq məsuliyyəti, təşəbbüskarlıq, mədəni müxtəlifliyə hörmət və öyrənməyi öyrətmək bacarığı əsas kompetensiyalar sırasında göstərilir (European Commission, 2018). UNESCO-nun müəllim siyasətinə dair tövsiyələrində isə müəllim səriştəliliyinin yalnız akademik nailiyyətlərin yüksəldilməsinə deyil, həm də inklüziv, ədalətli və davamlı təhsil sisteminin formalaşdırılmasına xidmət etdiyi vurğulanır (UNESCO, 2024).

Müəllim səriştəliliyinin strukturuna müxtəlif komponentlər daxildir. Bunlara fənn səriştəsi, pedaqoji-metodik səriştə, psixoloji-pedaqoji hazırlıq, kommunikativ bacarıqlar, rəqəmsal səriştə, qiymətləndirmə səriştəsi, tədqiqatçılıq bacarıqları, etik davranış, liderlik və reflektiv fəaliyyət daxildir. Bu komponentlər bir-birindən ayrı deyil, qarşılıqlı əlaqədə fəaliyyət göstərərək müəllimin peşəkar fəaliyyətinin bütöv sistemini təşkil edir. Hər hansı komponentin zəif inkişafı ümumi peşəkarlıq səviyyəsinə mənfi təsir göstərə bilər. Buna görə də müasir müəllim hazırlığında bu səriştələrin inteqrativ şəkildə formalaşdırılması əsas metodoloji prinsip kimi qəbul edilir.

Beləliklə, aparılan elmi-pedaqoji təhlil göstərir ki, səriştəlilik müəllimin peşə fəaliyyətinin ayrılmaz keyfiyyət göstəricisidir. O, müəllimin yalnız bilik səviyyəsini deyil, həmin bilikləri müxtəlif pedaqoji situasiyalarda yaradıcı, çevik və məqsədyönlü şəkildə tətbiq etmək qabiliyyətini əks etdirir. Məhz buna görə də müasir təhsil sistemində müəllimin peşəkarlığının qiymətləndirilməsi onun malik olduğu diplom və ya nəzəri hazırlıqla deyil, səriştələrinin real təlim prosesində necə təzahür etməsi ilə müəyyən edilir.

2.3.1. Müəllimin əsas peşə səriştələri və onların təlim prosesində rolu

Müəllimin peşəkar səriştəliliyi bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan müxtəlif kompetensiyaların məcmusundan ibarətdir. Müasir pedaqoji ədəbiyyatda bu səriştələr vahid sistem kimi qiymətləndirilir və onların hər biri təlim prosesinin keyfiyyətinə özünəməxsus təsir göstərir (European Commission, 2018). Müəllimin peşəkar fəaliyyətinin səmərəliliyi yalnız bu səriştələrin ayrı-ayrılıqda mövcudluğu ilə deyil, onların inteqrativ şəkildə tətbiq olunması ilə müəyyən edilir.

İlk növbədə, müəllim yüksək səviyyədə fənn səriştəsinə malik olmalıdır. Fənn səriştəsi müəllimin tədris etdiyi elm sahəsinin məzmununu dərindən bilməsini, həmin sahədə baş verən

yenilikləri izləməsini və onları təlim prosesinə inteqrasiya etməsini nəzərdə tutur. Bununla yanaşı, müəllim mürəkkəb elmi anlayışları şagirdlərin yaş xüsusiyyətlərinə uyğun şəkildə sadələşdirərək təqdim etməyi bacarmalıdır. Lee Shulman (1987) bunu "pedaqoji məzmun biliyi" (Pedagogical Content Knowledge) adlandırır və müəllim peşəkarlığının əsas göstəricilərindən biri hesab edir.

Müəllimin pedaqoji-metodik səriştəsi təlim məqsədlərinin düzgün müəyyənləşdirilməsi, məzmunun planlaşdırılması, müasir təlim strategiyalarının seçilməsi və şagirdyönümlü öyrənmə mühitinin yaradılması ilə bağlıdır. Müasir müəllim müxtəlif təlim metodlarını yaradıcı şəkildə tətbiq etməli, layihəəsaslı, probleməsaslı öyrənmə, tədqiqat yönümlü təlim və əməkdaşlığa əsaslanan fəaliyyətlər vasitəsilə şagirdlərin fəal iştirakını təmin etməlidir. John Hattie (2023) qeyd edir ki, müəllimin metodik hazırlığı və təlim prosesini reflektiv şəkildə idarə etməsi şagird nailiyyətlərinə ən güclü təsir göstərən amillərdən biridir.

Psixoloji-pedaqoji səriştə şagirdlərin yaş, fərdi və sosial-emosional xüsusiyyətlərini nəzərə alınmasını, onların motivasiyasının dəstəkləməsini və müsbət psixoloji iqlim yaradılmasını əhatə edir. Müasir məktəbdə müəllim yalnız bilik ötürən şəxs deyil, həm də şagirdlərin emosional rifahını və sosial inkişafını dəstəkləyən mentor rolunu yerinə yetirir. Bu baxımdan emosional intellekt, empatiya, münaqişələrin konstruktiv həlli və inklüziv yanaşma müəllimin peşəkar fəaliyyətinin ayrılmaz tərkib hissəsinə çevrilmişdir (Goleman, 1995; UNESCO, 2020).

Rəqəmsal transformasiya şəraitində rəqəmsal səriştə müəllimin əsas peşə keyfiyyətlərindən biri hesab olunur. Müəllim rəqəmsal platformalar, elektron qiymətləndirmə vasitələri, virtual öyrənmə mühitləri və süni intellekt əsaslı alətlərdən pedaqoji məqsədlərə uyğun şəkildə istifadə etməyi bacarmalıdır. Bununla yanaşı, o, şagirdlərdə informasiya təhlükəsizliyi, rəqəmsal etik davranış və media savadlılığının formalaşdırılmasına da rəhbərlik edir müəllimlərin rəqəmsal səriştəsini XXI əsr təhsilinin əsas şərtlərindən biri kimi qiymətləndirir UNESCO (2023).

Müasir müəllim üçün kommunikativ səriştə də xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Effektiv ünsiyyət yalnız müəllim və şagird arasında deyil, həm də müəllim-valideyn, müəllim-həmkar və müəllim-cəmiyyət münasibətlərində qarşılıqlı etimadın formalaşmasını təmin edir. Açıq ünsiyyət, aktiv dinləmə, konstruktiv geribildirim vermək və əməkdaşlıq mədəniyyəti müəllimin peşəkar nüfuzunu artıran əsas amillərdəndir. Andy Hargreaves (2021) vurğulayır ki, müasir məktəbin inkişafı müəllimlər arasında peşəkar əməkdaşlıq mədəniyyətinin formalaşmasından əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır.

Müəllimin qiymətləndirmə səriştəsi də təlim prosesinin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir. Müasir qiymətləndirmə yalnız nəticənin ölçülməsi deyil, həm də öyrənmənin dəstəklənməsi funksiyasını yerinə yetirir. Formativ qiymətləndirmə, rubriklər, portfoliolar, özünüqiymətləndirmə və qarşılıqlı qiymətləndirmə kimi metodlardan səmərəli istifadə edən müəllim şagirdlərin fərdi inkişaf dinamikasını daha obyektiv izləyə bilir. Black və Wiliamın (1998) tədqiqatları göstərmişdir ki, formativ qiymətləndirmənin sistemli tətbiqi şagird nailiyyətlərinin yüksəlməsində mühüm rol oynayır.

Bununla yanaşı, müasir müəllim tədqiqatçılıq və reflektiv fəaliyyət səriştəsinə malik olmalıdır. Tədris prosesində yaranan problemlərin elmi əsaslarla araşdırılması, fəaliyyət əsaslı tədqiqatların aparılması və əldə olunan nəticələrin praktikaya tətbiqi müəllimin peşəkar inkişafını sürətləndirir. Donald Schön (1983) reflektiv müəllim modelini irəli sürərək qeyd edir ki, müəllim öz fəaliyyətini davamlı təhlil etmədən peşəkar inkişafını təmin edə bilməz. Bu yanaşma onun reflektiv müəllimlər qrupunun fəal üzvünə çevrilməsinə imkan yaradır.

Nəhayət, müasir müəllimin etik və liderlik səriştəsi onun peşə fəaliyyətinin sosial məsuliyyətini müəyyən edir. Müəllim peşə etikası prinsiplərinə riayət etməli, demokratik dəyərləri təbliğ etməli, inklüziv və təhlükəsiz təlim mühiti yaratmalı, məktəbdə müsbət dəyişikliklərin təşəbbüskarı kimi çıxış etməlidir. Təhsil liderliyi yalnız inzibati vəzifə daşıyan şəxslərə aid

deyildir. Hər bir müəllim öz sinfində və məktəb icmasında liderlik funksiyasını həyata keçirə bilər. Bu baxımdan liderlik, təşəbbüskarlıq və sosial məsuliyyət müəllimin səriştəliliyinin mühüm komponentləri hesab edilir.

Beləliklə, müəllimin peşəkar səriştələri bir-birini tamamlayan və vahid sistem təşkil edən komponentlərdir. Bu səriştələrin harmonik inkişafı müəllimin fəaliyyətinin səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, şagirdlərin akademik nailiyyətlərinin yüksəlməsinə, onların XXI əsr bacarıqlarına yiyələnməsinə və təhsilin ümumi keyfiyyətinin yüksəldilməsinə mühüm töhfə verir. Məhz buna görə də müasir müəllim hazırlığında əsas məqsəd yalnız bilik vermək deyil, yüksək səviyyədə peşəkar səriştələrə malik müəllim şəxsiyyətini formalaşdırmaqdan ibarətdir.

2.3.2. Səriştəli müəllimin təhsilin keyfiyyətinə təsiri və gələcəyin müəllim modeli

Müasir pedaqoji tədqiqatlar göstərir ki, təhsilin keyfiyyətinə təsir edən amillər sırasında müəllim amili həlledici mövqeyə malikdir. Məktəbin maddi-texniki bazası, tədris proqramları və rəqəmsal resurslar nə qədər mükəmməl olsa da, onların səmərəli tətbiqi müəllimin peşəkar səriştəliliyindən daha çox asılıdır. John Hattie (2023) minlərlə empirik tədqiqatın nəticələrini ümumiləşdirərək belə qənaətə gəlmişdir ki, şagird nailiyyətlərinə ən güclü təsir göstərən amillərdən biri müəllimin peşəkar fəaliyyəti, onun təlim prosesini məqsədyönlü planlaşdırmaq, şagirdlərin fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə almaq və öyrənməyə davamlı geribildirim vermək bacarığıdır. Bu baxımdan müəllimin səriştəliliyi təhsilin keyfiyyətinin əsas indikatorlarından biri kimi qəbul edilməlidir.

Səriştəli müəllim yalnız biliklərin ötürülməsini təmin etmir, həm də şagirdlərdə müstəqil öyrənmə, tənqidi düşünmə, yaradıcılıq, əməkdaşlıq və məsuliyyət kimi XXI əsr bacarıqlarını formalaşdırır. OECD-nin "Learning Compass 2030" konsepsiyasında vurğulandığı kimi, gələcəyin cəmiyyətində uğur qazanmaq üçün şagirdlərin yalnız akademik biliklərə deyil, dəyişən şəraitdə qərar qəbul etmək, problemləri yaradıcı şəkildə həll etmək və ömürboyu öyrənmək bacarıqlarına da malik olması vacibdir (OECD, 2019). Bu bacarıqların inkişafı isə müəllimin səriştəyönümlü təlimi təşkil etmək qabiliyyəti ilə birbaşa bağlıdır.

Səriştəli müəllim inklüziv təhsil prinsiplərinin həyata keçirilməsində də mühüm rol oynayır. Müxtəlif sosial-mədəni mühitdən gələn, fərqli öyrənmə ehtiyaclarına malik şagirdlərlə işləmək müəllimdən yüksək peşəkarlıq, empatiya və çevik pedaqoji yanaşma tələb edir. İnklüziv təhsil yalnız xüsusi qayğıya ehtiyacı olan uşaqların təhsil alması deyil, bütün şagirdlər üçün bərabər və keyfiyyətli öyrənmə imkanlarının yaradılması deməkdir (UNESCO, 2020). Buna görə də müəllimin səriştəliliyi təhsildə sosial ədalətin və bərabər imkanların təmin edilməsinin də mühüm şərtidir.

Müasir dövrdə müəllimin peşəkar fəaliyyətinə təsir edən ən mühüm amillərdən biri süni intellekt texnologiyalarının sürətli inkişafıdır. Ümumi süni intellekt sistemləri, adaptiv öyrənmə platformaları və təhsil analitikası müəllimə təlim prosesini daha səmərəli planlaşdırmaq, fərdiləşdirilmiş tapşırıqlar hazırlamaq və şagird nailiyyətlərini operativ izləmək imkanı yaradır. Bununla belə, bu texnologiyalar müəllimi əvəz etmir. Əksinə, müəllimin pedaqoji qərarvermə, etik məsuliyyət, tərbiyəvi təsir və sosial-emosional dəstək funksiyalarını daha da ön plana çıxarır (UNESCO, 2023). Süni intellekt məlumat təqdim edə bilər, lakin şagirdin şəxsiyyətinin formalaşması, dəyərlər sisteminin inkişafı və mənəvi tərbiyəsi yalnız peşəkar müəllimin rəhbərliyi ilə mümkün olur.

Bu baxımdan gələcəyin müəllim modeli ənənəvi pedaqoji təsəvvürlərdən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Müasir müəllim bilik mənbəyindən daha çox öyrənmə prosesinin dizayneri, fasilitatoru, mentoru və tədqiqatçısı kimi çıxış edir. O, şagirdləri hazır informasiyanı əzbərləməyə deyil, onu təhlil etməyə, müqayisə etməyə, qiymətləndirməyə və yeni bilik yaratmağa istiqamətləndirir. Michael Fullan (2020) bu yanaşmanı "dəyişikliklərə liderlik edən

müəllim" modeli kimi xarakterizə edir. Və vurğulayır ki, müasir müəllim yalnız sinif daxilində deyil, bütövlükdə məktəbin və cəmiyyətin inkişafına təsir göstərən peşəkar lider olmalıdır.

Azərbaycan təhsil sistemində həyata keçirilən islahatlar da məhz belə bir müəllim modelinin formalaşdırılmasına yönəlmişdir. Müəllimlərin sertifikatlaşdırılması, fasiləsiz peşəkar inkişaf proqramları, rəqəmsal resurslardan istifadənin genişləndirilməsi və kurikulum islahatları müəllimin səriştələrinin inkişafını stimullaşdıran mühüm mexanizmlərdir. Lakin bu prosesin davamlı olması üçün ali pedaqoji təhsil müəssisələri, məktəblər və peşəkar inkişaf mərkəzləri arasında əməkdaşlığın gücləndirilməsi, fəaliyyət əsaslı tədqiqatların genişləndirilməsi və müəllimlərin innovativ təşəbbüslərinin dəstəklənməsi məqsədəuyğun hesab edilir.

Belə mülahizə etmək olar ki, yaxın gələcəkdə müəllimin peşəkarlığının qiymətləndirilməsi yalnız fənn bilikləri və pedaqoji bacarıqlarla məhdudlaşmayacaq. Rəqəmsal pedaqogika, süni intellektdən etik və səmərəli istifadə, təhsil analitikası ilə işləmək bacarığı, mədəniyyətlərarası kommunikasiya, dayanıqlı inkişaf dəyərlərinin tədrisə inteqrasiyası və reflektiv peşə fəaliyyəti müəllim səriştələrinin ayrılmaz komponentlərinə çevriləcəkdir. Bu səbəbdən müəllim hazırlığı proqramlarının da çevik, innovativ və gələcəyə yönəlmiş məzmun əsasında yenilənməsi zəruridir.

Bütün bunlar onu göstərir ki, səriştəlilik müəllimin peşə fəaliyyətinin bütün istiqamətlərini əhatə edən inteqrativ keyfiyyətdir. O, müəllimin yalnız peşə fəaliyyətinin nəticələrini deyil, həm də təhsil sisteminin inkişaf potensialını müəyyənləşdirən əsas amillərdən biridir. Müasir təhsil mühitində keyfiyyətli təlim, innovativ məktəb və rəqabətqabiliyyətli insan kapitalı yalnız yüksək səriştəyə malik müəllimlərin fəaliyyəti sayəsində formalaşa bilər.

NƏTİCƏ

Aparılan elmi-pedaqoji təhlil göstərir ki, səriştəlilik müasir müəllimin peşə fəaliyyətini müəyyən edən əsas keyfiyyət göstəricisidir. XXI əsrdə təhsilin məqsədlərinin dəyişməsi, rəqəmsal transformasiya və qloballaşma şəraitində müəllimdən təkcə bilik ötürmək deyil, həm də öyrənmə prosesini idarə etmək, şagirdlərdə XXI əsr bacarıqlarını formalaşdırmaq və innovativ təlim mühitini təşkil etmək tələb olunur. Bu baxımdan müəllimin səriştəliliyi onun pedaqoji, psixoloji, rəqəmsal, kommunikativ və tədqiqatçılıq bacarıqlarının inteqrasiyası kimi çıxış edir. Azərbaycan təhsil siyasəti və beynəlxalq təcrübə də göstərir ki, keyfiyyətli təhsil sisteminin formalaşdırılması məhz yüksək səriştəyə malik müəllim korpusundan asılıdır. Nəticə etibarilə, səriştəlilik müəllimin yalnız peşəkar göstəricisi deyil, həm də təhsil sisteminin inkişafını təmin edən strateji amildir.

İSTİNADLAR

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti. (2013). Azərbaycan Respublikasında təhsilin inkişafı üzrə Dövlət Strategiyası. Bakı.

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti. (2021). Azərbaycan 2030: sosial-iqtisadi inkişafa dair Milli Prioritetlər. Bakı.

“Təhsil haqqında” Azərbaycan Respublikasının Qanunu. (2009). Bakı.

Black, P., & Wiliam, D. (1998). Assessment and classroom learning. Assessment in Education, 5(1), 7–74.

Darling-Hammond, L. (2017). Empowered educators: How high-performing systems shape teaching quality around the world. Jossey-Bass.

European Commission. (2018). Council recommendation on key competences for lifelong learning. Official Journal of the European Union.

Fullan, M. (2020). Leading in a culture of change (2nd ed.). Jossey-Bass.

Goleman, D. (1995). Emotional intelligence. Bantam Books.

Hargreaves, A. (2021). Leading from the middle: Spreading learning, well-being, and identity across education systems. Routledge.

Hattie, J. (2023). Visible learning: The sequel. Routledge.
Mərdanov, M. (2011). Azərbaycan təhsili yeni inkişaf mərhələsində. Təhsil.
OECD. (2019). OECD learning compass 2030. OECD Publishing.
OECD. (2020). Teachers and school leaders as lifelong learners. OECD Publishing.
OECD. (2023). Education policy outlook 2023. OECD Publishing.
Perrenoud, P. (2004). Ten new competencies for teaching. Graó.
Rüstəmov, F. (2010). Pedaqogika. Nurlan.
Sahlberg, P. (2021). Finnish lessons 3.0. Teachers College Press.
Schön, D. A. (1983). The reflective practitioner. Basic Books.
Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57(1), 1–22.
UNESCO. (2020). Global education monitoring report: Inclusion and education – All means all. UNESCO.
UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO.
UNESCO. (2024). Global education monitoring report 2024. UNESCO
The future of jobs report 2025. World Economic Forum.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CRIMINAL INVESTIGATION: A CRITICAL ANALYSIS OF LEGAL AND PROCEDURAL CHALLENGES

Neha Berma[99]
Dr. Poonam Kumari[100]
Abhishek Annad[101]

Abstract:
The advent of Artificial Intelligence (AI) has revolutionized the way criminal investigations are conducted, introducing cutting-edge technologies like predictive analytics, facial recognition, biometric matching, digital forensics, AI-driven surveillance, and machine learning for evidence analysis. This innovation has greatly improved the ability of law enforcement to identify, investigate and prevent crime effectively, accurately and quickly. The application of AI in investigative tools has proven to be especially effective in the fight against cybercrime, financial fraud, organized crime, terror and other technologically advanced crimes. The adoption of AI in criminal investigations, however, has raised intricate legal and procedural issues that require a thorough consideration in the context of criminal justice administration. This article critically discusses the various legal and procedural issues that emerge from the use of AI in criminal investigation globally. The study explores the evidentiary admissibility of algorithmic outputs, epistemic issues and concerns about fairness of ML systems, due process concerns, and the sufficiency of current regulatory bodies. This research examines regulatory practices in the United States, Europe, and international law and highlights key areas where regulations are lacking and offers a broad, rights-centric, contestable and transparent framework. The results show the promise and potential of using AI in criminal investigations, but emphasize the need for maintaining procedural integrity, algorithmic accountability, and meaningful judicial oversight to ensure the legitimacy of the criminal justice system and the protection of fundamental rights.

Keywords: Artificial Intelligence, Criminal Investigation, Due Process, Fairness, Transparency, Digital Forensics.

[99] Research Scholar, School of Law and Governance, Central University of South Bihar, Gaya Jee, India. nehaberma@cusb.ac.in .
[100] Assistant Professor, School of Law and Governance, Central University of South Bihar, Gaya Jee, India. poonamkumari@cub.ac.in .
[101] abhishekanand@cusb.ac.in, School of Law and governance, Central University of South Bihar, Gaya jee, India.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ON A CLASS OF NONLINEAR PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: DOUBLE PHASE-CHOQUARD PROBLEMS INVOLVING THE p-LAPLACIAN OPERATOR IN GENERALIZED ψ −HILFER FRACTIONAL DERIVATIVE SPACES

Youssef EDABAB
Laboratory of Applied Mathematics and Scientific Computing, Sultan Moulay Slimane University, BP 523, 23000 Beni Mellal, Morocco
ORCID: 0009-0005-7013-1692,
Samira ZERBIB
Laboratory of Applied Mathematics and Scientific Computing, Sultan Moulay Slimane University, BP 523, 23000 Beni Mellal, Morocco
ORCID: 0000-0002-2782-0055
Ahmed KAJOUNI
Laboratory of Applied Mathematics and Scientific Computing, Sultan Moulay Slimane University, BP 523, 23000 Beni Mellal, Morocco
ORCID: 0009-0008-3942-6574
Khalid HILAL
Laboratory of Applied Mathematics and Scientific Computing, Sultan Moulay Slimane University, BP 523, 23000 Beni Mellal, Morocco
ORCID: 0000-0002-0806-2623

ABSTRACT
This paper investigates a class of nonlinear ψ −Hilfer fractional generalized double-phase Choquard differential equations involving the p-Laplacian operator subject to Dirichlet boundary conditions. The problem is formulated as:

$$\begin{cases} R^{\gamma,\beta;\psi}u = \displaystyle\int_{\Omega} \frac{F(u(x))}{|x-y|^{\lambda}}dx \cdot f(u(y)), & \text{in } \Gamma \\ u = 0, & \text{on } \partial\Gamma \end{cases},$$

$$R^{\gamma,\beta;\psi}u = D_T{}^{\gamma,\beta;\psi}(|D_{0^+}^{\gamma,\beta;\psi}u|^{p-2}D_{0^+}^{\gamma,\beta;\psi}u + a(x)|D_{0^+}^{\gamma,\beta;\psi}u|^{q-2}D_{0^+}^{\gamma,\beta;\psi}u)$$

Here, $D_T{}^{\gamma,\beta;\psi}$ and $D_{0^+}^{\gamma,\beta;\psi}$ denote the ψ −Hilfer fractional derivatives of order $1/p < \gamma < 1$ and type $0 \le \beta \le 1$. The term $a(\cdot)$ is a non-negative weight function, and $F(\cdot)$ represents a Choquard nonlinearity that satisfies specific growth conditions. By applying the mountain pass theorem without the Palais-Smale condition, in conjunction with the Hardy-Littlewood-Sobolev inequality, we establish the existence of a weak solution to this problem. These findings contribute novel insights to the literature concerning ψ −Hilfer fractional boundary value problems coupled with p-Laplacian operators, thereby broadening the analytical framework for this generalized class of equations.
Keywords: Generalized ψ −Hilfer derivative; Choquard differential equations; Hardy-Littlewood-Sobolev inequality; mountain pass theorem.

GEÇİŞ MEKÂNLARI VE GEOMETRİLERİ

Prof. Dr. Celestina FAZIA
Department of Architecture and Engineering, University Kore of Enna, Enna, Italy
ORCID ID: 0009-0000-6938-0660
Dr. MARIA FRANCESCA FARO
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0003-1856-9879
Dr. Alessia G. QUATTRONE
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0003-0847-2512
Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0002-7874-5486

ÖZET

Kültürlerarasılığın mekânsal boyutunu ele almak, göçmen toplulukların, sosyal kapsayıcılığın ve kentsel hizmetlerin yeniden örgütlenmesinin ortaya çıkardığı kentsel dönüşümleri okumaya yönelik bütüncül bir yaklaşım gerektirir. Sosyal kapsayıcılık ve kültürlerarasılık, göç eden uygarlıkların tarihiyle karşılaştırıldığında görece yeni kavramlardır; bunlar farkındalık, tanıma ve sorumluluk temelli kültürel bir sürecin sonucudur.

Birçok konu hâlen açık durumdadır: geçişin geometrisi, toplumsal ayrışmanın ekonomik ve kentsel etkileri ve kentlerin yeni taleplere yanıt verme kapasitesi. Kentsel bağlamlar, çoğu zaman göçmen topluluklara yönelik hizmetleri yeniden örgütlemeye hazırlıklı değildir. Bu topluluklar, kenti farklı biçimler, ritimler ve mekânlar aracılığıyla deneyimler; bu durum, kültürel kimlikleri ve iş, aile ve ekonomiyle bağlantılı bölgeselleşme süreçlerini yansıtır.

Bu çalışma, bir İtalyan kentine uygulanmak üzere bir metodolojik çerçeve önermektedir. Yöntem; baskın etnik grupların haritalanması, bunların kentsel bölgeler içindeki dağılımının yorumlanması ve meta-tasarım faktörlerinin belirlenmesi yoluyla yapılandırılmıştır. Bu faktörler; bölgesel karakterizasyon, konut ile iş yerleri arasındaki ilişki, toplumsal ihtiyaçların analizi ve gözlemlenen morfo-tipolojilere göre faaliyet kümelerinin coğrafi referanslı olarak yeniden düzenlenmesidir.

Reggio Calabria örneği, farklılaşmış bölgesel örüntüler ortaya koymaktadır. Yabancı vatandaşların en yüksek yoğunluğu Condera'da kaydedilmekte olup burada toplulukların üçte biri Filipinler kökenlidir; en düşük yoğunluk ise baskın etnik grubun Fas kökenli olduğu Orti-Terreti'de görülmektedir. Tarihi kent, yerleşik kent dokusu ve kuzeydeki kentsel genişlemenin bir bölümüne karşılık gelen ilk sekiz bölgede Filipinli topluluk baskındır. Belediyenin geri kalan alanlarında ise Faslı ve Hintli topluluklar daha güçlü biçimde temsil edilmektedir.

Çalışma, kimliğin ve kültürlerarasılığın desteklenmesinin, yenilenmiş bir kentsel hizmet sunumu aracılığıyla kritik kentsel alanlarla mücadele etmek açısından temel öneme sahip olduğunu savunmaktadır. Bu yaklaşım; katılımı, aidiyet duygusunu, toplumsal denetimi ve bir araya gelme, iletişim, tanınma ve kültürlerarası etkileşime yönelik erişilebilir altyapıları teşvik etmektedir. Çoğulcu kent, her şeyden önce kapsayıcı bir kenttir.

Anahtar Kelimeler: Kültürlerarasılık, Sosyal kapsayıcılık, Göçmen topluluklar, Kentsel hizmetler, Bölgeselleşme, Reggio Calabria

SPACES AND GEOMETRIES OF TRANSIT

ABSTRACT

Addressing the spatial dimension of interculture requires an integrated approach to reading urban transformations generated by migrant communities, social inclusion, and the reorganization of urban services. Social inclusion and interculture are recent concepts compared with the history of migrating civilizations; they result from a cultural process based on awareness, recognition, and responsibility.

Several issues remain open: the geometry of transit, the economic and urban effects of social segmentation, and the capacity of cities to respond to new demands. Urban contexts are often unprepared to reorganize services for migrant communities, which inhabit the city through different modes, rhythms, and places, reflecting cultural identities and territorialization processes linked to work, family, and economy.

This paper proposes a methodological framework to be applied to an Italian city. The method is structured through the mapping of prevailing ethnic groups, the interpretation of their distribution within urban districts, and the identification of meta-design factors: territorial characterization, the relationship between residence and workplaces, the analysis of social needs, and the georeferenced reorganization of activity clusters according to observed morpho-typologies.

The case of Reggio Calabria highlights differentiated territorial patterns. The highest concentration of foreign citizens is recorded in Condera, where one third of the communities come from the Philippines; the lowest concentration is found in Orti-Terreti, where the prevailing ethnic group comes from Morocco. In the first eight districts, corresponding to the historic city, the consolidated city, and part of the northern urban expansion, the Filipino community is prevalent. In the remaining municipal territory, Moroccan and Indian communities are more strongly represented.

The paper argues that fostering identity and interculture is essential to counteract critical urban pockets through a renewed urban offer, encouraging participation, belonging, social control, and accessible infrastructures for aggregation, communication, recognition, and intercultural exchange. The plural city is, first and foremost, an inclusive city.

Keywords: Interculture, Social inclusion, Migrant communities, Urban services, Territorialization, Reggio Calabria

1. INTRODUCTION

The contemporary city is undergoing profound transformations and pressures that affect its social composition, forms of dwelling, distribution of services, and ways of using public space. Migration processes, in particular, cannot be interpreted solely as demographic or emergency phenomena, but must be recognized as structural factors of urban transformation. Migrant communities do not merely occupy already-defined spaces: they produce new geographies of everyday life, redefine relations of proximity, introduce differentiated social practices, and contribute to the construction of new urban identities.



Figure 1. The global city. Source: https://mondointernazionale.org/focus-allegati/citt%C3%A0-globali-nuova-frontiera-umana-1

From this perspective, the intercultural dimension of the city concerns not only the coexistence of different groups, but also the capacity of urban space to foster relationships, recognition, participation, and a sense of community (Fazia, Vicari Aversa, 2026). The plural city therefore does not coincide with a simple sum of cultural presences, but with a complex system of places, services, accessibility, and practices through which diversity can become a collective resource. This approach requires a shift from a merely descriptive reading of foreign presence to a design-oriented interpretation of the city as an infrastructure of inclusion (Figure 1).

The issue is part of a broader reflection on the relationship between space, justice, and the right to the city. Lefebvre highlighted how urban space is not a neutral support, but a social product, constructed through power relations, everyday practices, and forms of appropriation (Lefebvre, 1991) (Figure 2). Harvey revisited the concept of the right to the city as a collective right to transform urban space (Harvey, 2008), while Soya placed the issue of spatial justice at the center of the debate, emphasizing how social inequalities are also manifested through the unequal distribution of services, opportunities, and accessibility. Within this theoretical framework, intercultural planning assumes a central role: it must not be limited to managing the presence of diversity, but must build urban conditions capable of making it an active part of collective life (Soja, 2010).



Figure 2. Lefebvre and the production of urban space. Source: https://www.perunaltracitta.org/homepage/2024/11/24/il-pensiero-di-henri-lefebvre-come-postura-da-adottare-nelle-insidie-urbane/

The literature on the multicultural and intercultural city has progressively shifted its focus from the simple coexistence of different groups to the construction of spaces for encounter, negotiation, and recognition. Sanderkok interpreted the multicultural city as a hybrid and dynamic place, in which different narratives, memories, and senses of belonging contribute to the production of urban identity (Sandercock, 2003). Amin highlighted the role of ordinary spaces of everyday life in building coexistence among strangers (Amin, 2002), while Fincher and Iveson identified redistribution, recognition, and encounter as three fundamental dimensions of planning for diversity (Fincher & Iveson, 2008). These contributions help us understand how the plural city cannot be addressed through social policies alone, but requires the specific tools of urban and territorial planning (Figure 3).



Figure 3. The growing city. Source: https://sociologicamente.it/la-nascita-delle-citta-globali-come-le-grandi-metropoli-sono-il-centro-del-mondo/

In the Italian context, the issue is particularly relevant in medium-sized and southern cities, where migration processes produce transformations that are less visible than in large metropolitan areas, yet no less significant. Such contexts are often characterized by infrastructural fragilities, discontinuities in services, weak public spaces, administrative fragmentation, and difficulties in updating planning instruments. In these settings, the presence of foreign communities may bring existing criticalities to light, but can also activate new forms of urban vitality, proximity economies, and solidarity networks.

This contribution takes as its reference the geography of the plural dimension and the reorganization of urban provision, applying it to the case of Reggio Calabria. The Calabrian city provides a significant field of observation because it has an articulated urban structure composed of a historic center, consolidated city, recent expansions, peripheral neighborhoods, hillside areas, and outlying settlements. Within this structure, the distribution of migrant communities appears differentiated and suggests the need for an interpretation capable of relating demographic data, urban morphology, workplaces, services, and spaces for social gathering.

The aim of the paper is to propose a methodological framework for reading the plural city and for developing meta-design guidelines aimed at reorganizing urban provision. The main research question can be formulated as follows: how can the spatial mapping of migrant communities become a meta-design tool for building conditions of inclusion, recognition, and interculture in the contemporary city?

Starting from this question, the contribution seeks to demonstrate that the distribution of migrant communities should not be interpreted as a mere statistical datum, but as an indicator

of complex urban demand. This demand concerns access to services, the quality of public spaces, proximity to workplaces, the presence of social infrastructure, the possibility of participating in collective life, and the construction of belonging. From this perspective, the plural city is understood as an inclusive city: not a city that separates differences, but one that recognizes them, brings them into relation, and adopts them as a design criterion.

2. MATERIAL AND METHODS

The research is based on the hypothesis that the presence of migrant communities produces a recognizable spatial transformation, even when this does not take the form of major physical interventions. Transformations generated by migration are often small-scale, everyday, and diffuse: they concern the use of public spaces, the formation of commercial networks, the presence of places of worship, the use of schools, markets, and services, the construction of relationships between housing and work, and the emergence of social and cultural micro-centralities. These phenomena require analytical tools capable of capturing not only the location of communities, but also the ways in which they inhabit and transform the city.

The proposed method is structured into five phases (Figure 4). The first phase concerns the construction of the knowledge framework through the collection and organization of demographic, urban-planning, and territorial data relating to the resident foreign population. This phase makes it possible to identify the main nationalities present, their distribution across neighborhoods, and the size of the predominant groups. However, quantitative data are taken as a starting point rather than the final outcome of the investigation.

The second phase consists of mapping the predominant communities within the different parts of the city. The objective is not to produce a rigid ethnic cartography, which would risk crystallizing identities and representing communities as closed groups, but to construct a dynamic reading of concentrations, polarities, and spatial relationships. In this sense, the map is not merely a descriptive tool, but an interpretive device capable of making visible phenomena that are often overlooked by ordinary planning.

The third phase concerns the interpretation of spatial distribution in relation to urban morpho-types. Migrant presence is read in relation to the historic city, the consolidated city, recent expansions, peripheral areas, hillside settlements, and urban edges. This approach makes it possible to understand whether foreign communities are located in areas equipped with services and accessibility or in contexts marked by isolation, distance, a lack of public spaces, and infrastructural weakness. The morphological dimension therefore assumes an essential role, as it makes it possible to connect social composition with the physical form of the city.

The fourth phase analyzes the relationship between residence, work, and services. Many migrant communities inhabit the city according to patterns strongly conditioned by housing affordability, proximity to places of employment, family and community networks, and the presence of educational, health, administrative, and religious services. The distance between home and work affects daily time use, modes of travel, use of public space, and the possibility of participating in collective life. For this reason, intercultural planning must integrate the geography of residence with those of work, mobility, and services.

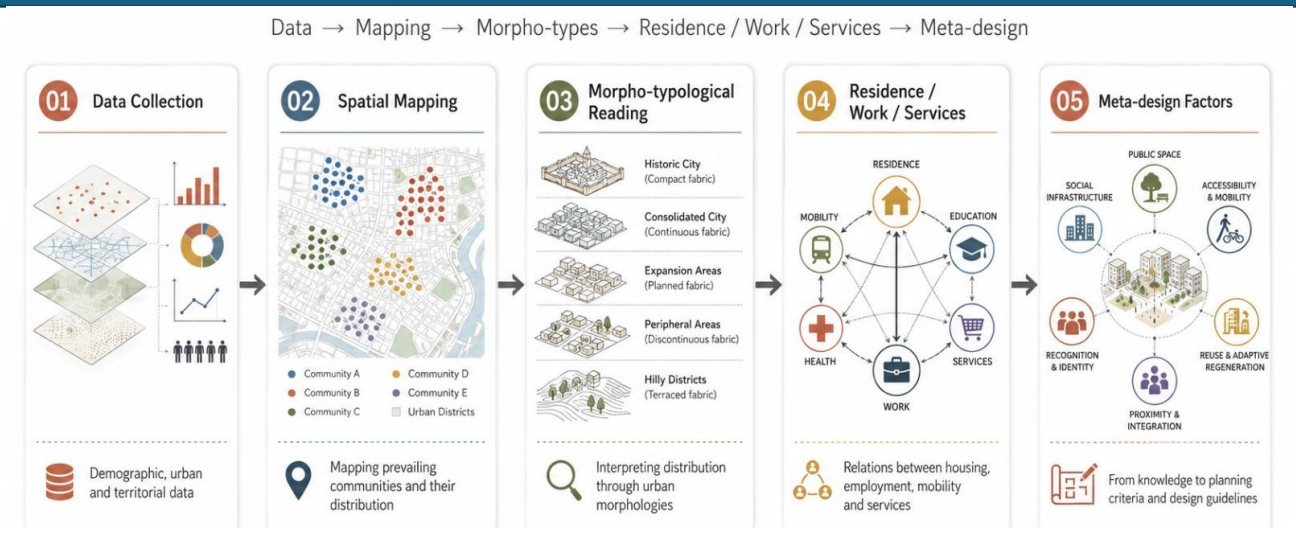


Figure 4. Methodological framework structured in five phases: data collection, spatial mapping, morpho-typological reading, analysis of residence–work–services relationships, and definition of meta-design factors, Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.

The fifth phase identifies the meta-design factors for the reorganization of urban provision. The term meta-design is used to indicate an intermediate level between analysis and design: not a definitive formal solution, but a set of criteria, guidelines, and devices capable of orienting future transformations. The identified factors are: territorial characterization, accessibility to services, proximity to workplaces, the presence of spaces for social gathering, cultural recognition, light social infrastructure, collective stewardship, and the reuse of existing spaces. Applied to the case of Reggio Calabria, this methodology makes it possible to identify an articulated intercultural geography. The city has a complex territorial structure in which the urbanized coastal strip coexists with hillside neighborhoods, peripheral areas, and outlying settlements. This complexity produces highly differentiated accessibility conditions and influences the distribution of foreign communities. Migrant presence is therefore not expressed homogeneously, but through localized configurations that must be interpreted in relation to the city's physical and functional structure (Figure 5).

A first configuration concerns the central and semi-central areas, corresponding to the historic city, the consolidated city, and part of the northern urban expansion. In these areas, the Filipino community is predominant. This presence can be interpreted in relation to proximity to urban services, higher building density, housing availability, proximity to domestic and care work, and the possibility of building social and family networks within better-served neighborhoods. The concentration of Filipinos in the first districts therefore suggests a significant relationship between community presence, urban accessibility, and the functions of the consolidated city.

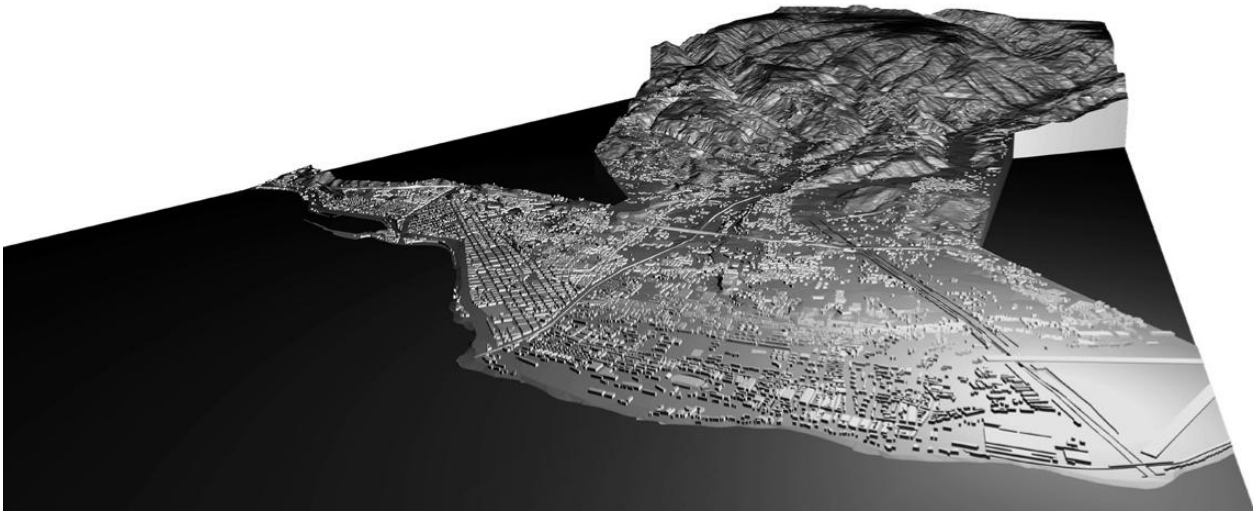


Figure 5. Model of the city of Reggio Calabria, Reggio Calabria. Design ideas for the city and the territory, Iiriti Editore, 2008

In this interpretation, the Condera neighborhood represents a particularly significant area. It records the highest concentration of foreign citizens and a significant presence of communities from the Philippines. This figure should not be interpreted only in quantitative terms, but as a sign of the formation of a specific social geography. Condera can be considered an intercultural pole in which foreign presence is intertwined with the structure of the neighborhood, the availability of services, and everyday dwelling practices. Its analysis makes it possible to understand how a neighborhood can become a place of rootedness, recognition, and network building.

A second configuration concerns the rest of the municipal territory, where Moroccan and Indian communities are more strongly represented. In these areas, which are often less central or less dense, the distribution of communities may be linked to different forms of work, specific community networks, more affordable housing conditions, and a different relationship with urban mobility. Moroccan and Indian communities therefore appear to be embedded in a more dispersed geography, requiring planning tools capable of intervening not only in areas of greater concentration, but also in marginal and less-served territories.

The Orti-Terreti area is a significant case for understanding this second configuration. Here, the lowest concentration of foreign citizens is recorded, with the Moroccan group predominating. The hillside setting, lower settlement density, and distance from the main urban poles generate a different demand from that of central neighborhoods. In such contexts, inclusion cannot be addressed solely through the provision of major services, but requires proximity-based facilities, accessible mobility, support networks, and places capable of countering isolation and marginality.

Several key issues emerge from the case-study analysis. The first concerns the relationship between concentration and accessibility. A numerically significant community presence in a neighborhood does not automatically imply conditions of inclusion. An area may have a high concentration of migrants while lacking services, public spaces, connections, or opportunities. Conversely, a more dispersed presence may generate needs that are less visible but equally relevant. Mapping must therefore be accompanied by a qualitative assessment of urban conditions.

The second issue concerns the relationship between identity and public space. Migrant communities construct belonging through places that are often ordinary: a square, a school, a

stop, a market, a shop, a place of worship, a courtyard, an association center. These spaces can assume an intercultural function even without having been explicitly designed for that purpose. Planning should recognize such places as social infrastructure, that is, as devices capable of supporting relationships, trust, and participation. Klinenberg highlighted how social infrastructure is crucial to the quality of collective life, as it enables inhabitants to meet, build ties, and recognize themselves as part of a community (Klinenberg, 2018).

The third issue concerns moving beyond an emergency-based approach. Too often, urban policies aimed at migrant communities are constructed as sectoral, temporary, or welfare-oriented responses. A genuinely intercultural city, by contrast, must integrate diversity into ordinary planning instruments. This means that service plans, mobility, public spaces, housing policies, urban welfare, and regeneration programs must adopt interculture as a structural criterion.

The fourth issue concerns the need to avoid producing separate spaces. The reorganization of urban provision must not generate facilities intended exclusively for individual communities, as this would risk consolidating forms of segregation. The objective is rather to build shared places capable of accommodating different practices and fostering encounters among different social groups. The intercultural city is not a city of enclaves, but a city of connections (Figure 6).

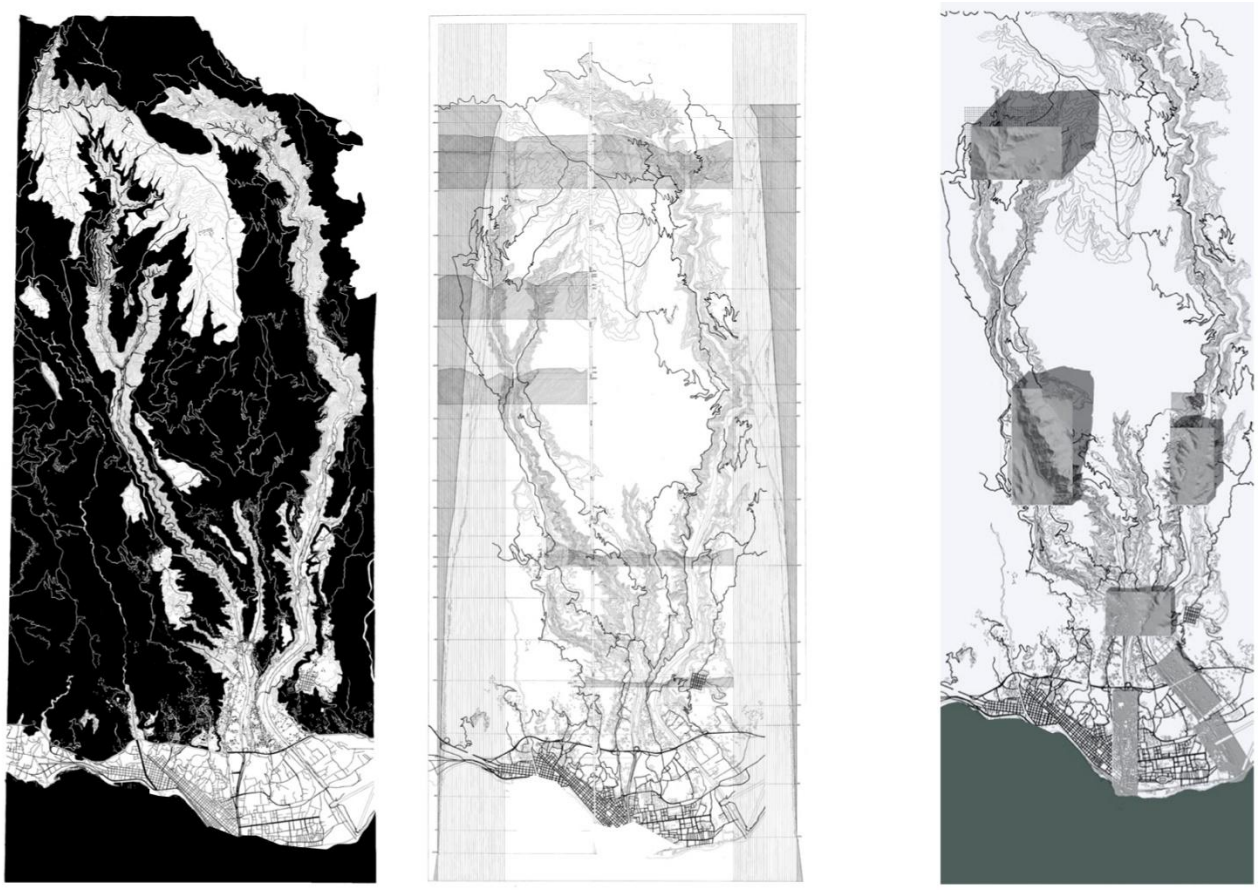


Figure 6. Model of the city of Reggio Calabria, Reggio Calabria. Design ideas for the city and the territory, Iiriti Editore, 2008

3. RESULTS AND DISCUSSION

In light of these issues, the paper proposes four main meta-design factors.

The first factor is territorial characterization. Each part of the city must be read according to its morphological, social, and functional specificities. Strategies for a central neighborhood cannot be automatically replicated in a hillside settlement or peripheral area. In the case of Reggio Calabria, Condera and Orti-Terreti express different urban conditions and require different responses. Territorial characterization makes it possible to avoid standardized solutions and develop interventions consistent with local needs.

The second factor is proximity between residence, work, and services. Intercultural planning must reduce the critical distances that separate communities from essential places of everyday life. This implies strengthening public transport, ensuring a balanced distribution of services, providing mediation desks, enhancing schools as local anchors, creating safe routes, and developing accessible spaces for social gathering. Proximity, in this sense, is not only a spatial measure, but a social condition of inclusion.

The third factor is the recognition of social needs. Foreign communities may express specific needs related to language, administrative documentation, housing, health, school, childcare, religion, work, and participation. However, these needs should not be read separately from those of the resident population. Intercultural planning must build inclusive services for everyone, capable of responding to cultural, social, and economic differences without producing new forms of separation.

The fourth factor is the construction of proximity-based intercultural clusters. These are distributed urban nodes in which light services, spaces for associations, educational activities, cultural mediation, events, temporary markets, workshops, social support facilities, and meeting places can converge. Such clusters can also emerge through the reuse of existing buildings, underused spaces, schools open to the neighborhood, libraries, civic centers, or marginal public areas. Their function is not only to provide services, but also to build relationships.

The research results therefore indicate that the plural city must be addressed as a design issue, not only a social one. The presence of migrant communities makes visible urban fragilities that concern the whole city: lack of services, inequalities in access, isolation of certain neighborhoods, weakness of public space, fragmentation of mobility networks, and absence of places for participation. Acting on these fragilities means improving overall urban quality, not merely responding to the needs of one part of the population.

The case of Reggio Calabria also shows that intercultural mapping can become a planning support tool. It makes it possible to identify priority areas, recognize social polarities, assess distances and deficiencies, guide the location of services, and develop urban regeneration strategies. However, mapping must be accompanied by participatory processes, field observations, and listening to communities. Without such integration, there is a risk of producing abstract representations incapable of capturing the complexity of everyday life.

The transition from data to design therefore requires a new planning culture. The plural city cannot be governed through rigid or sectoral tools, but requires an integrated approach capable of bringing together physical space, social relations, accessibility, services, and identity. From this perspective, meta-design assumes the role of a bridge between knowledge and transformation: it does not merely define what to build, but indicates how to read, orient, and reorganize urban provision in support of inclusion.

3. CONCLUSIONS

The paper has proposed a reading of the plural city as an infrastructure of inclusion, taking the case of Reggio Calabria as the field of application of a methodological framework oriented

toward intercultural mapping and the meta-design reorganization of urban provision. The research has shown that the presence of migrant communities cannot be interpreted solely as demographic data, but must be read in relation to the physical structure of the city, the distribution of services, workplaces, public spaces, and everyday dwelling practices.

The distribution of foreign communities across the municipal territory reveals differentiated configurations. On the one hand, central and consolidated areas, where the Filipino presence is more significant; on the other, more peripheral, hillside, or less densely settled areas, where Moroccan and Indian communities are more strongly represented. This geography should not be interpreted as a simple ethnic localization, but as the expression of complex relationships among inhabitants, places, economies, services, and forms of belonging.

The analysis of the case study makes it possible to state that the plural city is not only the city of diversity, but the city capable of transforming diversity into design. This implies moving beyond a purely descriptive or emergency-based logic and adopting interculture as an organizing principle of urban planning. Migrant presence thus becomes an opportunity to rethink the quality of public spaces, the distribution of services, urban proximity, local welfare, and social infrastructure.

The main contribution of the research lies in the identification of a methodological pathway structured around mapping, morpho-typological interpretation, analysis of the relationship between residence, work, and services, and the definition of meta-design factors. This pathway makes it possible to transform knowledge of the plural city into operational planning guidelines. The identified factors—territorial characterization, proximity, recognition of social needs, and the construction of intercultural clusters—represent tools through which a new urban provision can be oriented.

The inclusive city is not a city that erases differences, but a city that makes them part of collective life and works on relational space (Vicari Aversa, 2026). From this perspective, inclusion does not coincide with assimilation, but with the possibility of participating, recognizing oneself, and contributing to the transformation of urban space. Planning must therefore build places capable of fostering encounter, gathering, communication, and mutual recognition. Schools, markets, squares, libraries, civic centers, sports spaces, and green areas can become intercultural infrastructures if they are located and managed in relation to the actual needs of inhabitants.

Although it refers to a specific context, the case of Reggio Calabria offers insights that can be transferred to other medium-sized Italian and Mediterranean cities. In such contexts, migrant presence often does not produce large visible enclaves, but generates diffuse, fragmented, and everyday transformations. For this reason, sensitive interpretive tools are needed, capable of capturing the micro-geographies of dwelling and translating them into urban policies.

The research also presents some limitations. Full validation of the model would require an up-to-date and detailed revision of demographic data, the construction of georeferenced maps, analysis of accessibility to services, and interviews with inhabitants, associations, administrators, and social workers. These developments would make it possible to transform the meta-design framework into a more robust operational tool that could be used within municipal planning processes.

In conclusion, the plural city should be understood as a complex design field in which migration, services, public spaces, and urban justice are intertwined. Recognizing the spatial dimension of interculture means moving from a city that records diversity to one that organizes, supports, and enhances it. Plurality is not a problem to be contained, but a contemporary condition to be designed. The plural city is, first and foremost, an inclusive city (Figure 7).



Figure 7. Proposal for the city of Reggio Calabria, source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.

Research and Author Contributions:

This research represents also part of results carried out in an international research collaborations *COastal Boarders VS INlandAreas_CO.IN. Projects in dialogue between coasts and inland between Mediterranean and Atlantic,* research in which the authors are involved in coordination and in the scientific committee and which is part of the agreement *A.Ma.Te Sponde,* a joint convention between Universities.

This essay synthesizes the research conducted by the authors, who oversaw its structure and organization while sharing the content and findings; however, the following attributions should be noted: § Abstract; § Introduction, § Conclusion, by C. Fazia, M.F. Faro, A.G. Quattrone, C. S. Vicari Aversa; § 2. Materials and Methods, § 3. Results and Discussions by A.G. Quattrone; the figures in the text area by M.F. Faro

REFERENCES

Amin, A. (2002). Ethnicity and the multicultural city: Living with diversity. *Environment and Planning A: Economy and Space, 34*(6), 959–980.

Fazia C., Vicari Aversa C.S., (2026), Versatile Cities: Spaces and Architecture for constantly evolving organisms. *International Beykoz Scientific Research Congress Proceedings Book,* May 16-17, 2026 / İstanbul, Türkiye, Iksad Publishing House, pp.562-571.

Fincher, R., & Iveson, K. (2008). *Planning and diversity in the city: Redistribution, recognition and encounter*. Palgrave Macmillan.

Harvey, D. (2008). The right to the city. *New Left Review, 53*, 23–40.

Jacobs, J. (1961). *The death and life of great American cities*. Random House.

Klinenberg, E. (2018). *Palaces for the people: How social infrastructure can help fight inequality, polarization, and the decline of civic life*. Crown.

Lefebvre, H. (1991). *The production of space* (D. Nicholson-Smith, Trans.). Blackwell. Original work published 1974.

Moraci, F., Fazia, C. (2008). *Geografia della dimensione plurale per la riorganizzazione dell'offerta di città. Il caso di Reggio Calabria*. *Contributo in Volume: ISBN 978-88-89955-69-7.*

Sandercock, L. (2003). *Cosmopolis II: Mongrel cities of the 21st century*. Continuum.

Sennett, R. (2018). *Building and dwelling: Ethics for the city*. Farrar, Straus and Giroux.

Soja, E. W. (2010). *Seeking spatial justice*. University of Minnesota Press.

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.

Vertovec, S. (2007). Super-diversity and its implications. *Ethnic and Racial Studies, 30*(6), 1024–1054.

Vicari Aversa C.S. (2025), Progetto e spazi di relazione. *Il progetto al centro. Forme, ruolo e comunicazione del progetto di architettura per la trasformazione dei luoghi.* Dodicesimo Forum ProArch, Trento 13, 14 novembre 2025, Università di Trento.

Whyte, W. H. (1980). *The social life of small urban spaces*. Project for Public Spaces.

Young, I. M. (1990). *Justice and the politics of difference*. Princeton University Press.

INTERVENTIONS TO REVITALIZE ABANDONED VILLAGES: A PROJECT FOR FORZA D'AGRÒ

Dr. MARIA FRANCESCA FARO
UNIVERSITA' MEDITERRANEA DI REGGIOCALABRIA, ITALY
ORCID ID: 0009-0003-1856-9879

Abstract
Geçmişi yeniden yorumlarken çağdaş mimari aracılığıyla müdahalede bulunmak, tarihi merkezin gerektiğinde kendini yenilemesine olanak tanıyan "kavramsal bir süreksizlik" getirmek anlamına gelir. Bu durum, merkezin varoluş döngüsünün tükenmemesini sağlar; aksine, onun "üretken özünü yeniden ve daima canlı tutar."
Messina ilinde (Sicilya) İyonya kıyısı boyunca uzanan bölge, birbirine yakın konumlanmış küçük yerleşim merkezleriyle bezelidir. Bu merkezler; olağanüstü coğrafi konumları ve —her ne kadar günümüzde bakımsız durumda olsalar da— sokaklarını çevreleyen yapıların mimari niteliği bakımından eşsizdir.
Bunlar, bakımsız ve kısmen terk edilmiş merkezlerdir; ancak binalarının ve kentsel dokusunun restorasyonuna ve iyileştirilmesine yatırım yapılarak ekonomileri canlandırılabilir ve böylece bölgenin turizm potansiyeli artırılabilir. Bu köyler arasında Forza d'Agrò, olağanüstü bir tarihi ve kültürel mirasa sahiptir. Bununla birlikte, tarihi bir merkeze yapılacak herhangi bir müdahale, "hem ona özgü homojen yapıyı hem de kendine has bölümlerden oluşan kurgusunu yansıtmalıdır."[1].
Kentsel yerleşimi; kamusal ve özel alanları —kimi zaman birbirinden ayıran, kimi zaman ise bütünleştiren— birer unsur olarak canlandırma potansiyeline sahip bir yapı şeklinde ele almak ve yapısal dokuyu kilit öneme sahip anıtlarla (ve bu anıtların kentsel doku ile açık alan sistemini nasıl sabitlediğiyle) ilişkili olarak analiz etmek, tasarım tercihlerine yön veren temel ilkelerdi.
Bu yaklaşım, yerel ekonomiyi canlandırıp yerel topluluğun sosyal kimliğini koruyarak, başta zanaatkârlık olmak üzere yerel faaliyetler üzerinde olumlu etkiler yaratabilir. Nihayetinde Forza d'Agrò örneği, kapsamlı bir vizyonla yönlendirildiğinde, köyün morfolojik parçalanmışlığının nasıl yapısal bir kısıtlamadan çıkıp kültürel derinliği olan, sakin tempolu ve mevsimsellikten arındırılmış bir turizm türü için stratejik bir avantaja dönüşebileceğini göstermektedir.
Keywords: Kentsel yenileme; Tarihi köyler; Parçalı mimari; Dağınık otel (albergo diffuso); Forza d'Agrò; Sürdürülebilir turizm.

INTERVENTIONS TO REVITALIZE ABANDONED VILLAGES: A PROJECT FOR FORZA D'AGRÒ

Abstract
Intervening through contemporary architecture—while reinterpreting the past—means introducing a "conceptual discontinuity" that allows the historic center to regenerate whenever necessary. This ensures the cycle of its existence does not run out; rather, it keeps "its generative essence active anew."
The territory stretching along the Ionian coast in the province of Messina (Sicily) is dotted with small urban centers located close to one another. They are unique for their extraordinary geographical position and the architectural quality of the structures—albeit now dilapidated—that line their streets. These are run-down, partially uninhabited centers; yet, their economies could be revived by investing in the restoration and enhancement of their buildings and urban

fabric, thereby boosting the area's tourism potential. Among these villages, Forza d'Agrò possesses an extraordinary historical and cultural heritage. However, any intervention in a historic center "must express both the homogeneous nature that characterizes it and its articulation into distinct parts"1. Interpreting the urban layout as an element capable of enlivening public and private spaces—sometimes dividing them, sometimes integrating them—and analyzing the built fabric in relation to key monuments (and how they anchor the urban fabric and the system of open spaces) were the guiding principles behind the design choices.
This approach could have positive repercussions for local activities, particularly craftsmanship, by stimulating the local economy and preserving the resident community's social identity. Ultimately, the case of Forza d'Agrò demonstrates how the village's morphological fragmentation—when guided by a comprehensive vision—can transform from a structural limitation into a strategic asset for a form of tourism that is cultured, slow-paced, and de-seasonalized.
Keywords: Urban regeneration; Historic villages; Architecture by parts; Albergo diffuso; Forza d'Agrò; Sustainable tourism.



Figure1 The landscape of Forza d'Agrò

1. INTRODUCTION

Historic Italian villages represent a crucial challenge for preserving cultural and landscape heritage. This paper analyzes the potential of building and urban renovation through the synergy between the "architecture by parts" design approach and the albergo diffuso (scattered hotel) management model. Architecture by parts proposes a fragmented yet coordinated intervention. It acts on individual abandoned building units while respecting their historical stratification and construction authenticity, avoiding historical fakes. This methodology finds its perfect functional and economic application in the albergo diffuso, a sustainable hospitality formula that does not impact the territory with new building volumes but instead integrates hotel services within the existing urban fabric (figure 1).





Figure2 Plan of the city and connection

2. RESEARCH AND FINDINGS. THEMES THAT GUIDED THE DESIGN CHOICES:

Forza d'Agrò possesses an extraordinary historical and cultural heritage; however, any intervention in its historic center must express both the homogeneous nature that characterizes it and its articulation into distinct parts.

To intervene in stages, introducing elements capable of sparking future regeneration. To create an interactive cultural journey that resonates first and foremost with the local population, while also engaging tourists. To enable residents to reclaim forgotten spaces—these are the project's objectives.

A viewing point transformed into an open-air theater workshop, and a staircase connecting the various sections of an historic building—repurposed as a workshop and residence for artists, as well as an interactive museum and a thermal spa—these are the project's key elements (figure 2).



Figure3 the new theatre

The guidelines were:

- Interpreting the urban layout as an element capable of enlivening public and private space — at times dividing them, at others integrating them —
- analyzing the built fabric in relation to the focal points created by monuments (examining how they serve to anchor the urban fabric and the system of open spaces).

3. CONCLUSION. DEVELOPMENT PROSPECTS

Intervening through contemporary architecture—while reinterpreting the past—means introducing a "conceptual discontinuity" that allows the historic center to regenerate whenever necessary. This ensures that the cycle of its existence does not come to an end; rather, it keeps its "generative essence active anew." Two parallel paths—one cultural and the other recreational—overlap and intertwine, leaving the door open for future transformations that could involve the entire village through small-scale interventions in both public and private spaces. Dilapidated structures are transformed into catalysts for a new economy

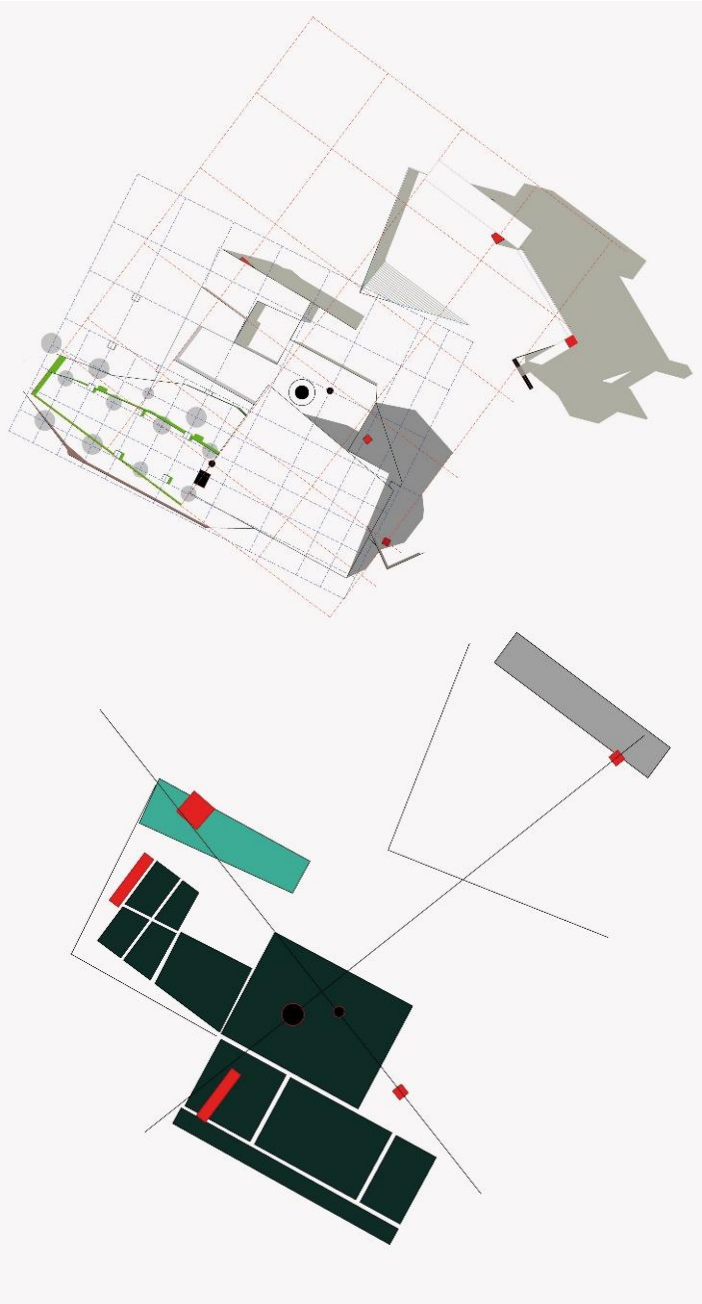


Figure 4 plan of the intervention

Project's key elements

Among the main objectives identify appropriate strategies for innovative mobility, the revitalization of the historic center, and the enhancement of existing landscape and environmental resources; the project concept is defined by the 'system of relationships'—both material and immaterial—that exist or have potential within the area. They are:

- A city viewpoint transformed into an open-air theater workshop,
- a staircase connecting the various sections of an historic building, repurposed as a studio-hotel for artists
- an interactive museum,
- a thermal spa
-



Figure 5 view of the intervention

Research:
This research represents also part of results carried out in workshop *FORZA 8 Architecture* (UNIRC).

REFERENCES
Villani, T., & Dall'Ara, G. (2016). *L'Albergo Diffuso come modello di ospitalità originale e di sviluppo sostenibile borghi*. *Techne: Journal of Technology for Architecture and Environment*
Eccheli, M. G., & Cavallo, C. (a cura di). (2022). *Il progetto nei borghi abbandonati*. Firenze: Firenze University Press.
Berizzi, C., & Rocchelli, L. (2019). *Borghi rinati. Paesaggi abbandonati e interventi di rigenerazione*. Roma: Donzelli Editore.
Cervesato, M. (2021). *Il manuale dei dei borghi: Interventi puntuali e sistemi di relazioni*. Trieste: Openstar/ArTS
Trigilia, L. (a cura di). (2014). *I centri storici della costa ionica siciliana: identità, degrado, progetti di valorizzazione*. Siracusa: LetteraVentidue.
Laura Thermes, *In search of landscape*, in "AR", n.4 aprile 2005, Centro editorial, Lisboa; pp. 75-85.

MİMARLIK VE ŞEHİR PLANLAMA ARASINDAKİ İLİŞKİ: GELİŞMELER VE DİYALOGLAR

Prof. Dr. Celestina FAZIA
Department of Architecture and Engineering, University Kore of Enna, Enna, Italy,
ORCID ID: 0009-0000-6938-0660
Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy,
ORCID ID: 0009-0002-7874-5486

ÖZET
Zaman içinde, mimari ve şehir planlaması arasındaki ilişki, ilginç diyalogları ve karşılıklı etkileşimleri ortaya koyan sayısız gelişme geçirmiştir. Batı mimarisi ve şehir planlamasının evrimi, siyasi, teknolojik ve çevresel değişikliklerden güçlü bir şekilde etkilenen, kendiliğinden oluşan biçimler ve planlı yapılar arasında devam eden bir diyalogla işaretlenmiştir. Klasik antik çağdan itibaren, orijinal kendiliğinden birleşmelerden daha düzenli konfigürasyonların geometrik titizliğine geçiş ortaya çıkar: Yunan Hippodamian modeli -Polis-, kutsal -Akropolis-, sivil -Agora- ve özel alanların işlevsel bölgelendirilmesini, plateiai ve stenopoi ızgarası aracılığıyla önceden tahmin ediyor gibi görünmektedir. Roma şehir planlaması, askeri castrum'dan ödünç aldığı bu yaklaşımı standartlaştırmıştır; cardo ve decumanus maximus -Foro- kesişimine odaklanarak, centuriatio ve etkileyici sanitasyon altyapıları aracılığıyla geometrik ve hidrolik kontrolü kırsal alana genişletmiştir. Orta Çağ, düzenliliğin jeomorfolojik, savunma ve tarımsal kolonizasyon mantığına yanıt verdiği müstahkem köyler ve "villenove" aracılığıyla şehir ve kırsal alan arasındaki ilişkiyi yeniden tanımlamıştır. Rönesans, 16. yüzyılda modern tarzda surlarla çevrili şehirlerin taleplerine boyun eğen, simetrik, perspektif temelli "ideal şehir" ütopyasını başlattı; bu ütopya, Barok'un sahne düzenine sahip, çok merkezli tiyatral yapısına ve 18. yüzyılın Aydınlanma rasyonalizmine evrildi. Sanayi Devrimi, tarihsel sistemi alt üst etti: kapitalizmin ve demiryollarının ortaya çıkışı, aşırı ve sağlıksız bir kentleşmeye yol açtı. Bu kriz, hem 19. yüzyılın sosyal ütopyaları (Fourier'in Falanseri'si) hem de Avrupa metropollerinin büyük yapısal yıkımlarıyla ele alındı. Birinci Dünya Savaşı'ndan kaynaklanan teknolojik yeniliklerin hızlanması ve sosyal evrim, yeni sorunlar ortaya çıkardı ve aynı zamanda yeni çözüm olanakları sunuyor gibi görünüyordu. Her yerde hakim olan sorun, sürekli büyüyen kent nüfusu için yeterli konut sağlama ihtiyacıdır. 1920'lerin ikinci yarısından itibaren Modern Hareket de dikkatini bu konuya yoğunlaştırdı. Bilimsel tartışmanın odağı, şehrin biçiminden işleyişine ve çevresel kaynakların optimizasyonuna kayıyor: arazi kıtlığı, genişlemeden ekolojik yenilenmeye, yeniden kullanıma ve arazi geliştirmenin azaltılmasına doğru bir geçişi gerektiriyor.
Anahtar Kelimeler: Şehir Planlaması, Mimari, Şehirler, Kentsel Tasarım, Diyaloglar

THE RELATIONSHIP BETWEEN ARCHITECTURE AND URBAN PLANNING: DEVELOPMENTS AND DIALOGUES

ABSTRACT
Over time, the relationship between architecture and urban planning has undergone numerous developments that have revealed interesting dialogues and mutual influences. The evolution of Western architecture and urban planning is marked by an ongoing dialogue between spontaneous forms and planned structures, strongly influenced by political, technological, and environmental changes. From classical antiquity, the transition from original spontaneous

aggregations to the geometric rigor of more regular configurations emerges: the Greek Hippodamian model –Polis- seems to anticipate the functional zoning of sacred –Acropolis-, civil –Agora-, and private areas through the grid of plateiai and stenopoi. Roman urban planning standardized this approach, borrowing it from the military castrum; centered on the intersection of the cardo and the decumanus maximus -Foro-, it extended geometric and hydraulic control to rural territory through the centuriatio and impressive sanitation infrastructures. The Middle Ages redefined the relationship between city and countryside through fortified villages and "villenove," where regularity responded to geomorphological, defensive, and agricultural colonization logics. The Renaissance ushered in the utopia of the symmetrical, perspective-based "ideal city" which in the 16th century capitulated to the demands of modern-style bastioned walls, only to evolve into the scenographic, polycentric theatricality of the Baroque and the Enlightenment rationalism of the 18th century. The Industrial Revolution disrupted the historical system: the advent of capitalism and the railways generated a paroxysmal and unhealthy urbanization. This crisis was addressed both by the social utopias of the 19th century -Fourier's Phalanstery- and by the great structural demolitions of European metropolises. The acceleration of technological innovation and the social evolution resulting from the First World War posed new problems and, at the same time, seemed to offer new possibilities for solutions. The prevailing problem everywhere is the need to provide adequate housing for the ever-growing urban population. From the second half of the 1920s, the Modern Movement has also focused its attention on this issue. The focus of the scientific debate is shifting from the form of the city to its functioning and the optimization of environmental resources: the scarcity of land calls for a shift from expansion to ecological regeneration, reuse, and a reduction in land development.
Keywords: Urban Planning, Architecture, Cities, Urban Design, Dialogues

1. INTRODUCTION: ON THE ORIGINS OF CITIES

This paper offers a critical overview of the evolution of urban planning and architecture as they relate to urban layout, tracing the history of civilization from the Greek polis—based on democracy and the division between sacred, political, and residential spaces—to today's global metropolis, dominated by digital networks, complex mobility, and the pursuit of environmental sustainability and social equity. The Greek city (8th–4th centuries BCE), the polis, was conceived as a human-scale organism that closely integrated the city (asty) and the countryside (chora). During the Roman Empire, the city was viewed as an administrative machine. The Romans combined the Greek orthogonal city plan with the needs of military and logistical control. During the Middle Ages, the "fortified" city was the emblem of defense. The collapse of the empire led to smaller, hilltop, and defensive cities (Rogers, 1958).

With the Renaissance, the Ideal City was marked by the discovery of perspective and classical treatises, leading to utopian yet highly influential designs. With the Industrial Revolution (18th–19th centuries) rapid urbanization and the migration from the countryside to the cities led to overcrowding, poor sanitary conditions, and shantytowns. Two main urban planning approaches emerged: large-scale urban renewal projects—in Paris (under Haussmann), wide boulevards were created for sanitary reasons but also to facilitate the maintenance of public order; the garden city: Ebenezer Howard's idea emerged to combine the advantages of the city and the countryside, creating low-density suburbs surrounded by greenery. With the Modernist movement (20th century), the response to the chaotic industrial city was rational planning, led by figures such as Le Corbusier. Contemporary Urban Planning (from the postwar period to the present) has seen numerous critiques of the Modern Movement's rigid model, leading to an approach that places greater emphasis on revitalization and sustainability. This ranges from the

neighborhood to the "diffuse city": uncontrolled expansion led to the phenomenon of urban sprawl, while today there is a trend toward valuing cities where essential services are within walking distance (Beguinot, 2011). The concepts of urban regeneration, Smart Cities, and ecological transition have taken center stage: today's urban planning focuses on electric mobility, energy efficiency, and climate neutrality by adopting measures to achieve sustainable environmental standards (Campos Venuti,1993).

2. MATERIALS AND METHODS

The earliest forms of cities—which heralded an urban revolution—emerged in fertile areas along rivers, chosen for their strategic location along transportation routes and trade flows, but above all to ensure a supply of the resources and ecosystem services necessary for life. Thus, in Mesopotamia, we recall Uruk and Ur; in Palestine, Jericho; but also the cities that formed along the Nile and the Indus Valley. The Greeks carefully selected the sites where they would establish the colonies of Magna Graecia. In Calabria, the people of Chalcis, who had set out from Euboea, chose—for various reasons—the strip of land at the intersection of the Ionian Sea and the waters of the Apsia River (today the Calopinace River, which is no longer navigable) to found the city of Reghion, now Reggio Calabria. At the crossroads of waterways and a place steeped in myth, the chosen site had excellent exposure and vegetation, offered exceptional ventilation, and featured a mosaic of landscapes complemented by a natural inlet—which later became a port, decommissioned a century ago. Given these topographical conditions—with the slopes of the Aspromonte Mountains meeting the coastline—the Greeks adopted the main road network, the Plateiai, along with the secondary roads of the Stenopoi, the Agora, and the Astu, following a precise orientation typical of Hippodamian layouts in 5th-century Greek cities, as replicated in Metaponto, Locri, Syracuse, and Sybaris. The urban planning of Greek cities evolved from a spontaneous layout to a more regular system, characterized by the grid plan (Hippodamian grid) devised by Hippodamus of Miletus, with orthogonal streets and regular blocks. The city was divided into functional zones, with the central agora for public activities and the fortified acropolis on high ground for worship (see Agrigento, in Sicily) and defense. This planning promoted a clear separation between residential, civic, and religious areas (Teti, 2008).

Evolution and main characteristics:

The urban space was organized functionally (Campos Venuti,1993), with a clear distinction between public, private, and sacred areas—a concept that foreshadowed modern zoning.

The two parts of the Greek city are: the Acropolis, the "upper city," situated on a hill, which housed the main temples and served as a defensive stronghold and religious center; the Agora, the central square and the beating heart of the city, was the site of commercial, political, and social activities, surrounded by public buildings and colonnades (stoas). The Hippodamian revolution began with Hippodamus of Miletus, who introduced the grid (orthogonal) layout, symbolizing the equality of citizens and ensuring rational control of space. Hippodamus of Miletus was a philosopher and urban planner who developed the Hippodamian model, based on an ideal social organization and a precise planimetric layout. His vision of a well-ordered city and its application to cities such as Miletus and Priene influenced subsequent urban planning, including that of Rome.

Roman urban planning was based on an orthogonal grid organized into blocks (the centuria or grid), centered on the intersection of two main axes: the cardo maximus (north-south) and the decumanus maximus (east-west), which met at the forum, the political and social center. This system, inspired by the layout of military encampments and later extended to the organization

of agricultural land (the centuria), served military, economic, and symbolic purposes. Its fundamental characteristics were:
A grid pattern: cities were organized into a regular network of streets, creating quadrangular city blocks.
• The Cardo and Decumanus, two main streets—the cardo (north-south) and the decumanus (east-west)—divided the city.
• The Forum, located at the intersection of the cardo and decumanus, was the center of city life.
The cities were equipped with excellent infrastructure, including paved roads, sewers, and aqueducts for water supply. Every Roman city featured public and recreational buildings such as thermal baths and amphitheaters.
The urban layout was derived from the organization of military encampments, where a grid system—such as the Centuratio—ensured order and functionality. This system was also applied to the division of agricultural land, known as the centuria, serving economic and colonization purposes.
Centuriation also served to demonstrate Rome's power and to settle loyal citizens in newly conquered territories.
Roman urban planning has left a lasting mark on many modern cities, especially in their historic centers, such as Verona, Florence, and Como in Italy (Coppa, 1977).
In the new colonies founded by the Romans, various phases in the evolution of the urban layout can be observed. Cities founded during the Roman Republic, at least in their early and middle phases, featured a layout still linked to the Greek-Hellenistic model.
These cities were laid out with an orthogonal street grid, which divided the space into regular quadrangular blocks, but lacked a defined city center, featuring one or sometimes two elevated sacred areas (acropolises). This urban layout was reminiscent of Hippodamus's plan, as previously described. In this type of layout, due to the absence of a center, the individual neighborhoods and blocks all held equal importance (Coppa, 1977).



Fig. 1 *Pavia. Regular layout with an orthogonal structure. Credits: File:IMG E2796 (2).jpg - Wikipedia*

In the historic center of Pavia (Fig. 1), the city's orthogonal layout is clearly visible, along with the cardo maximus (Strada Nuova) and the decumanus maximus (Corso Mazzini–Corso Cavour).
The shape of the city could be quadrangular or, depending on the terrain, irregular, but the layout remained fairly consistent. Well-preserved examples in Italy can be found in cities such as Turin, Florence, Pavia, and Aosta.

This urban layout was likely derived from Roman centuriation. The forum served as the site for the administration of justice, commercial activities, and religious ceremonies.
Even today, many European and Mediterranean cities retain the Roman layout in their oldest parts.
"*While the Greeks considered themselves to have achieved perfection in city-building—focusing on beauty, security, ports, and the region's natural resources—the Romans focused primarily on what the Greeks had neglected: in Rome, they paved the streets, improved water management, and built sewers to carry all the city's waste into the Tiber. They paved the roads that crisscrossed all the [conquered] territories, cutting through hills and filling in depressions, so that carts could collect goods from ships; the sewers, covered with vaults made of uniform blocks, sometimes gave way to roads passable by hay carts. The amount of water carried by the aqueducts is so great that entire rivers flow through the city and its underground conduits, so much so that every house has abundant cisterns and fountains, thanks above all to the great labor and care of Marco Vipsanio Agrippa, who also embellished Rome with many other structures. Furthermore, the cities are distinguished by the presence of amphitheaters and thermal baths*." (Strabone, Geography, V, 3.8.).
The Middle Ages were the era in which many of today's settlements were established, following complex settlement patterns that included both spontaneously formed nuclei and others that arose based on a precise urban plan and were built through a unified effort, usually completed in a short time and with a precise geometric layout (Benevolo, 1963).
However, the distinction between "spontaneous" and "planned" urban settlements is not always entirely clear, especially during the Middle Ages. During this period, even the rapid pace of construction and the regularity of the geometric layout are not absolutely decisive in determining the intentionality of urban planning. In fact, there are urban centers with irregular geometries that are the result of a precise plan, regular structures determined solely by the topography of the site, and urban nuclei that grew slowly over time according to a precise and shared urban concept—as an anonymous and collective creation—even if this cannot be represented in a geometric scheme (Coppa, 1977)..
Alongside the planned new settlements—which included small and medium-sized towns as well as cities (Udine, Cuneo, and Alessandria in Italy)—the major urban centers continued to be the pre-existing ones, almost always of Roman origin. At times, new towns also arose from the spontaneous convergence of communities, as in the case of Cuneo. The establishment of these settlements was driven primarily by the need to control the territory through settlements that would simultaneously ensure defense, control, and colonization of parts of the territory—areas that often required reclamation through deforestation and the construction of hydraulic works—and to prepare them for agricultural use, attracting new inhabitants with tax breaks and the granting of new rights, which often transformed their status from that of serfs to that of free men, or through acts of imposition.
During this period, in the fifteenth century, there was a transition from a feudal structure to more urban societies, with Italian city-states serving as centers of political and economic power (Benevolo, 1963). Key elements included the design of cities with orderly and symmetrical layouts, wide streets, central squares as the hub of life, and uniformity in building architecture—an approach symbolized by Filarete's imaginary city of Sforzinda and the actual construction of Pienza. An in-depth analysis of the buildings in Sforzinda, as Palmanova (Fig. 2) reveals the fundamental structures necessary for the proper functioning of an ideal city. A significant portion of the treatise is devoted to the city's layout, designed in the shape of an eight-pointed star formed by the intersection of two squares.

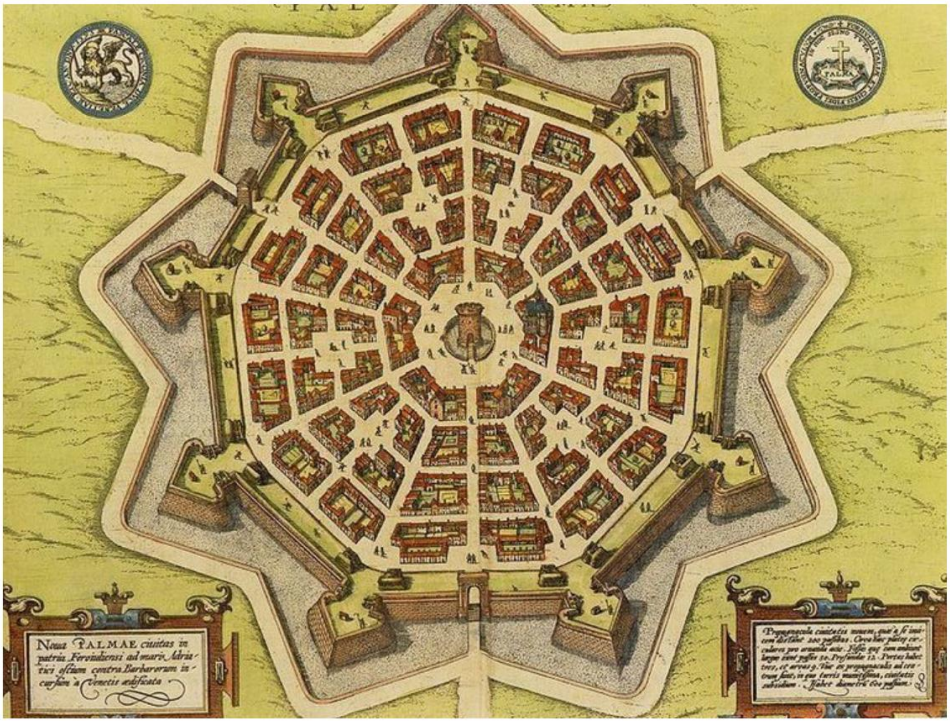


Fig. 2 *Palmanova. Credits: https://www.alamy.it/fotos-immagini/palmanova-mappa.html?sortBy=relevant*

Sixteenth-century urban planning was dominated by the transition from the idealistic Renaissance model to practical construction, with the creation of new fortified walls for military and customs purposes and the design of squares that, like Michelangelo's Campidoglio, introduced dynamism and spatial complexity. Italian cities transformed their external profiles, and the ideal Renaissance city evolved into more complex and dynamic models, especially in the design of public spaces (Benevolo, 1963).

Seventeenth-century urban planning was closely linked to Baroque architecture and culture, characterized by monumental and spectacular projects aimed at celebrating the power of sovereigns and the Church. We witness the creation of large squares, straight road axes, and monumental perspectives—especially in European capitals—to create an effect of grandeur and control over urban space, often in contrast to the needs and unrest of the city's inhabitants. Its main characteristics:

Monumentality and Scenography. Cities became stages on which power was displayed, with the creation of monumental squares, fountains, obelisks, and major road axes connecting them.

Straight Lines and Perspective. The new streets were designed to create wide, straight perspectives leading toward important buildings and squares, to impress and control visitors.

Urban space as an instrument of power. Architecture and urban planning are used to assert the authority of princes and the Church, both through monumental projects and through the construction of major public works.

Barycentricity and polycentricity. New urban complexes developed around central nuclei, but polycentric patterns also emerged with the creation of various urban "hubs."

Eighteenth-century urban planning is characterized by the emergence of the modern metropolis and the introduction of rational and scientific principles into urban design, influenced by the Enlightenment and the reaction against the Baroque. This period saw the redevelopment of

urban spaces, the founding of new cities, and the emergence of a holistic conception of the urban environment, with a focus on functionality, hygiene, and a rational visual order.

3. RESULTS

Early cities had a more haphazard urban layout, but during the Classical period, the grid plan—attributed to Hippodamus of Miletus—developed. It consists of a network of streets (plateiai and stenopoi) arranged at right angles, delimiting quadrangular or rectangular blocks. The layout attributed to Hippodamus—known as the Hippodamian plan—was based on three longitudinal axes oriented east-west, intersected by perpendicular axes oriented north-south: the intersection of these axes formed elongated rectangular blocks.

The centuriation of agricultural land in Roman times followed the network of irrigation canals. The layout of cities adapted to the topography, respecting the laws of nature as well as political, social, and religious functions. During their period of expansion—both under the Republic and the Empire—the Romans developed a plan based on the layout of the military camp, or castrum. At the intersection of the cardo and decumanus stood the forum, where political, commercial, and religious functions took place; this is evident in the founding layout of cities such as Florence, Turin, Jesi, Modena, Bologna, Parma, Como, and Vicenza, which show that the relationship with the territory is shaped by rules of positive dialogue between the settlement and its surrounding environment, with rivers playing a role of continuity or discontinuity—such as the Adda in Verona.

The relationship between city and countryside solidified in the following centuries. During the Middle Ages, scattered, self-sufficient settlements—or villages—spread throughout the region at the initiative of feudal lords. The defensive function took priority over the rules governing the physical layout of the settlement. Some centers, such as L'Aquila, resulted from the aggregation of numerous rural villages situated on the hills surrounding the site chosen for the new city.

What has changed today?

The focus is no longer on the city's form and functions, but on its operation, performance, and ability to deliver quality and safety. However, the availability of space within the city has now been significantly reduced. Remaining areas must be de-sealed, and urban expansion must be contained or reduced to zero by encouraging the reuse of abandoned buildings. The demand for innovative functions and the need to restore green corridors are difficult to implement. Economic and capitalist forces have exacted a high toll. An economic revolution demands new rules for structuring and prioritizing uses (functions) within the city.

The Industrial Revolution and Urban Transformations

Between the second half of the 18th century and the first half of the 19th century, with the rise of the Industrial Revolution, a rapid and intense process of urbanization began in Europe and the United States. The term "Industrial Revolution" was coined by Karl Marx; it was first applied to England and later extended to all countries that have undergone or are undergoing a drive toward industrialization. At the same time, it implies a transformation of economic structures and social organization, as well as a shift in occupations from the primary sector—that is, agriculture—to the secondary and tertiary sectors.

Between the second half of the 18th century and the first half of the 19th century, with the rise of the Industrial Revolution, a rapid and intense process of urbanization began in Europe and the United States. Cities became more complex and were linked in networks to other cities and other significant locations in the region; the capitalist system of production developed the division of labor and the resulting specialization at a frenetic pace, so that production units (factories) specialized, fragmented, and multiplied, increasing the connections among them

within the city and between cities. Traffic, trade, and communications expanded enormously—and, consequently, so did the infrastructure network. Cities grew vastly in size: they evolved from villages of a few thousand inhabitants into cities of hundreds of thousands. The development of industrial production requires large concentrations of labor and consumer markets; masses of peasants abandon the countryside to become part of the urban proletariat, fueling this process. Urban expansion and population growth are made possible by two important factors—the first of a legal and political nature, the second of a technological nature—which manifest as both the cause and effect of the Industrial Revolution:

- the rise of liberalism in the economy and society and the recognition of private property (enshrined by the French Revolution, later codified by the Napoleonic Civil Code of 1804, and extended by him throughout Europe);
- the emergence of new transportation systems, primarily the railroad, with significant effects on the mechanisms and patterns of urban development.

As for urban development, in its initial phase it was not expansive in nature, as cities grew inward—through increased building density and the development of remaining open spaces, courtyards, and undeveloped lots. The rapid process of urbanization had a devastating effect on historic city centers, which were ill-suited to accommodate new productive functions and the impact of growing masses of urban dwellers (Santilli, 2017).

Nineteenth-Century Utopias

Utopianism in cities involves the conception of urban models based on utopian principles—that is, on visions of ideal, harmonious, and perfect societies, often contrasted with the chaos and injustices of real cities (Roland, 1967). “A map of the world that does not include Utopia is not worth even glancing at” said Lewis Munford, echoing Oscar Wilde in 1891 (Mumford, 2021).

Historical examples include Renaissance ideal cities such as Pienza, the utopian model cities of Tommaso Campanella (“The City of the Sun”) and Thomas Moore, or the nineteenth-century phalansteries of Fourier and Godin (Ragon, 1974).

Charles Fourier’s utopian city is based on the Phalanstery, a self-sufficient social and economic unit organized as an agricultural community in which economic competition, wages, and private property are abolished to foster cooperation and the fulfillment of individual passions. The Phalanstery is a residential structure that also serves as a center of production and consumption, designed to create a harmonious social order and satisfy the inclinations and rights of each individual. His theory of the seven historical periods and his Phalanstery project—which features certain distributive and architectural innovations that surprisingly foreshadow the content of nineteenth-century building codes and even some rationalist elements of the following century—.

According to Fourier, humanity is in the transition between the fourth period (barbarism) and the fifth period (civilization). The disorder and anarchy of contemporary cities (Mazza, 1997) will, in the sixth period (guarantee), give way to a meticulous order (Ragon, 1974). "What is perceived as disorder calls to mind its antithesis: order" (Choay, 1973).

The city consists of three rings separated by hedges and plantings: the cité, the suburbs with their large factories, and the outskirts. Every house in the cité must have open spaces equal to at least the built-up area; these spaces will be double that size in the second ring and triple in the third. The streets (half of which must be lined with trees) must have a rural view or a monument as a backdrop, and the squares must occupy at least 1/8 of the total area.

But it is in the seventh period that Fourier focuses his planning efforts on describing the structure of the Phalanstery. The project is accompanied by a detailed financial plan that divides the investment into shares among the 1,600 members of the community. According to Fourier,

the main building of the complex (the Phalanx) “must bear no resemblance to the buildings of the time” (Benevolo, 1963). The center of the building is intended for public functions, while the two wings house the workshops and the caravanserai (Ragon, 1974).
La Falange is a small town with designated areas for every productive, recreational, and educational activity. All connections are protected from the elements via the covered walkway on the first level and the staircases. The walkway has a triple-height ceiling, and all the rooms in the building open onto it. The ground floor houses storage areas, workshops, and vehicle accessways, while the attic contains water tanks and guest quarters. The common recreational spaces are on the first level and open directly onto the gallery. Fourier envisioned the practical realization of harmony through the Phalanstery (Fig. 3), a large, self-sufficient building where a community of life and work would be established among a specific number of men and women, defined as a “Phalanx” (Ragon, 1974).

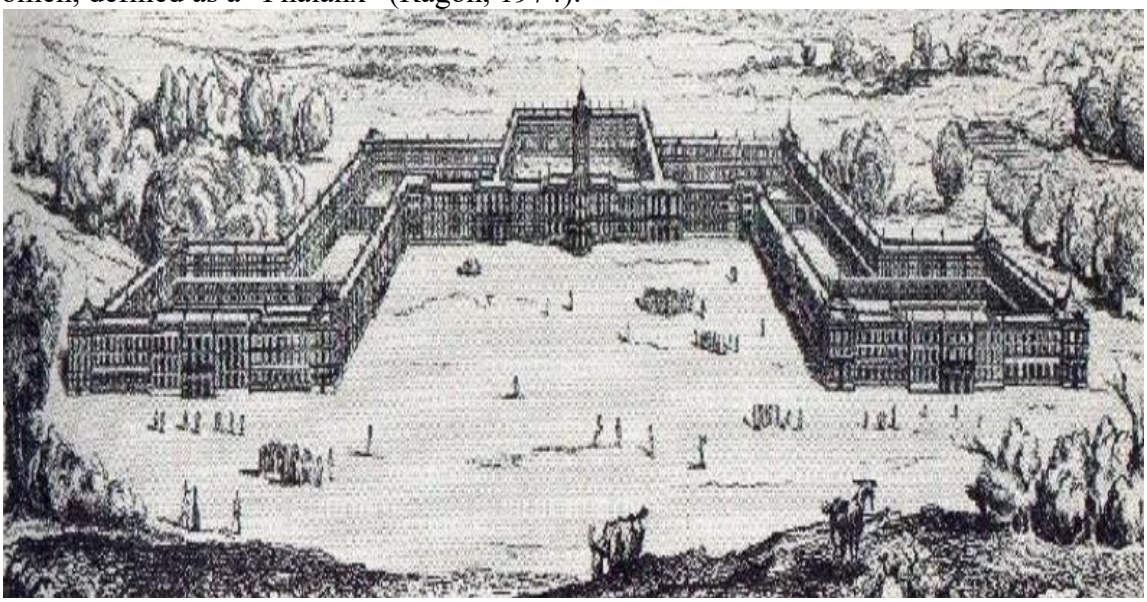


Fig. 3 *Falansterio. Credits: Il "Falansterio" (da "falange" e "monastero") era un tipo di edificio proposto per una comune utopistica autosufficiente da Charles Fourier all'inizio del 1800. : r/architecture (reddit.com)*

The Grands Travaux of Paris
The “system” adopted by Baron George Eugène Haussmann (1809–1891) for the grands travaux of Paris in the second half of the 19th century served as the paradigm for new techniques of urban transformation, inspiring first the European capitals and then even smaller cities to follow suit. Over the course of seventeen years, from 1853 to 1870, Haussmann, prefect of the Seine department, acting on the orders of Napoleon III, transformed Paris from a city with a medieval character into the most modern and efficient metropolis of the 19th century. It was necessary to make the city militarily secure from within to prevent popular uprisings, such as those that had already overthrown the regimes of Charles X and then Louis-Philippe.
A strategic plan: the construction of wide and very long boulevards would facilitate the maintenance of public order. There was also a real need to expand and revitalize a city whose population had doubled in about half a century and which was in dire sanitary and hygienic conditions. The design of the new urban grid was intended to reinforce the sense of unity and cohesion that the Paris of the monarchs sought to establish (Coppa, 1977). The three phases into which the construction of this vast metropolitan grid is divided are referred to as *réseau* (network), as if to emphasize its circulatory nature and purpose:

- In the first phase, around 1855, the redevelopment of the Île de la Cité took shape, with the clearing of the area around Notre-Dame Cathedral, the demolition of residential blocks, and their replacement with a series of public buildings;
- The second phase (1858) involved the opening of new connecting thoroughfares, especially in the western part of the city, plans for the completion of the grands boulevards, and the creation of new hubs such as the Opéra.
- The third phase (1860) coincided with Paris's incorporation of the entire area between the two city walls:
- the innermost wall of the Fermiers Généraux, built between 1784 and 1791;
- the outermost wall of Thiers, dating from 1845, constructed like the other for fiscal purposes.

The emperor had two large parks—the Bois de Boulogne to the west of the city and the Bois de Vincennes to the east—as well as several smaller ones, renovated and opened to the public. These two urban "lungs," each covering approximately 900 hectares, were intended to be connected by a green belt encircling the city. Haussmann was unable to carry out the plan due to bureaucratic obstacles and powerful private interests. Another aspect of considerable importance was the rationalization and expansion of the waterworks through a massive undertaking: the construction of an adequate sewer system and a suitable aqueduct system.
The law that allowed him to intervene freely in the old urban fabric was the one passed by de Melun in 1850, which enabled him to expropriate land and buildings within the project's perimeter. During the demolition work, important monuments were preserved; generally isolated in the center of a square, they became landmarks within a regular, undifferentiated street grid. As for the buildings themselves, Haussmann mandated neutral and uniform facades that best served to highlight the priority given to streets and squares in the plans of the emperor and his prefect.

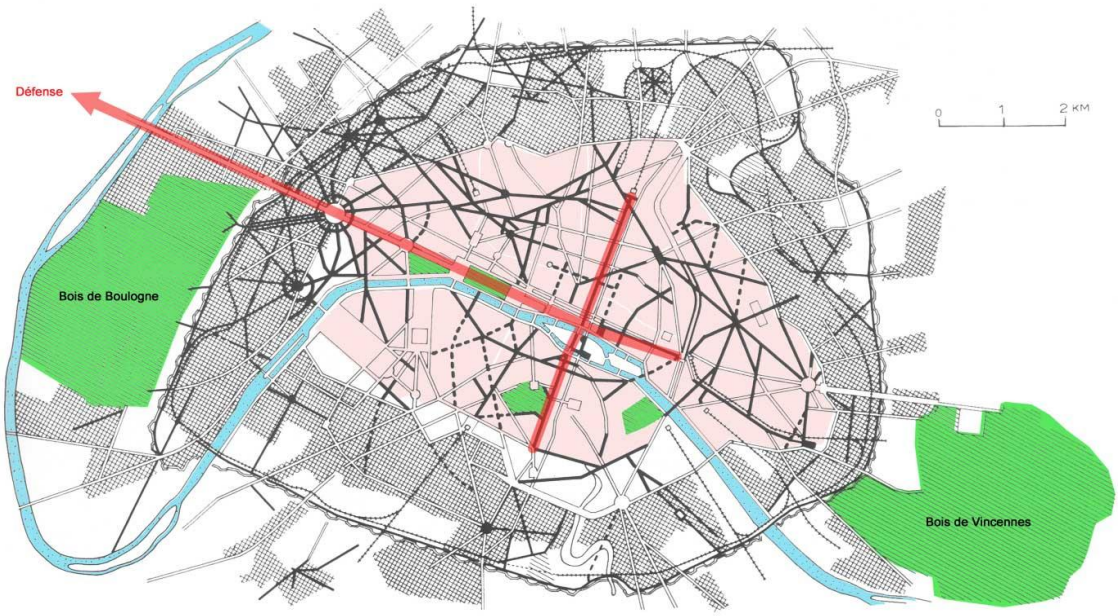


Fig. 4 *Diagram of the Grands Travaux of Paris. Credits: Fasi della trasformazione urbana (cittasostenibili.it)*

New streets are shown in black (Fig. 4), new neighborhoods in cross-hatched lines, new urban parks in green, the Grand Croisée in red, and the pre-Haussmann Paris area with its 12 arrondissements in pink. (Adapted from Benevolo, "La storia della città," Bari, 1976).

The Vienna Ring

The most famous urban planning project in 19th-century Vienna was the construction of the Ring (1859–1872), which embodies the fundamental elements of the "Viennese model" that inspired the urban plans of numerous European cities in the second half of the 19th century. Until 1857, the city of Vienna was enclosed and defended by two sets of city walls: the inner, older wall, which protected the historic city with its medieval layout, and the more recent wall, which protected the outlying neighborhoods built from the 17th century onward. A wide strip of land (the Glacis), ranging from 500 to 1,000 meters in width, on the outer side of the first wall had been left free of buildings for military purposes.

The Glacis had initially served as a dividing line between the old city (Altstadt)—the seat of the court and the administration, with a compact urban fabric and a typically medieval street system modified only by a few 18th-century additions—and the newer, less densely populated neighborhoods, which were also home to middle-class and aristocratic families.

As early as the first decades of the 19th century, the addition of trees, promenades, cafés, and kiosks had begun to change the meaning and uses of this space; in the 1820s, the expansion of the court palace grounds and, later, the construction of the Votivkirche (built to celebrate the emperor's survival of an assassination attempt) helped reinforce the role of the glacis in connecting the two parts of the city. In December 1857, an imperial edict ordered the demolition of the first city wall and a new use for the glacis; in January (1858), a competition was announced for the urban design of the area thus freed up.

In fact, in the preceding months, the state administration had drawn up two proposals for the development of the Ring, which already included—albeit with different solutions—some of the basic elements of the competition (an area for military exercises, an imperial residence, a tree-lined boulevard along the ring, and private residential neighborhoods). The terms of the call for proposals included:

- allocating 4/5 of the glacis land to monuments, public spaces and buildings, streets, and parks;
- to reserve only one-fifth for private buildings (whose contributions would help finance part of the public project); the commission's findings and the resoluteness with which work began reflected a clear determination to make Vienna a grand and solemn "imperial capital."

Eighty competitors participated, and three projects were awarded prizes; however, none of the winning projects was ever built. The administration entrusted architect Lohr and a commission composed of the top three winners and ministry officials with the task of developing a final proposal, which was approved in 1859. The design approved in 1859 features, as its central element, a vast tree-lined ring boulevard serving as a route for public transportation, along which monumental spaces and buildings of various forms and styles are situated—either standing alone or grouped in sequences or arranged with explicit symmetry.

The monumental buildings are connected by open spaces whose tree plantings and landscaping are carefully designed and constitute, so to speak, the connective tissue of a system whose unity and significance on an urban scale are indisputable, to the point of forming a true "model" of urban design. Vienna's Ring Road is a prime example of how urban open space becomes a structuring element and organizing principle for the city's central areas.

The development of the final design went through an initial, very intense phase, a period of stagnation around 1970, and a subsequent phase of completion, taking about thirty years. During this period, changes, adjustments, and additions took place, yet these did not compromise the unity of the final result. Among these, the most significant was the use of the area originally intended for military exercises to house the new headquarters of the City Council (Rathaus), the University, and the Parliament. Vienna's Ring represents one of the most successful examples of the "reuse" of spaces freed up by changes in urban functions. The

creation of a ring road primarily concerns radially organized cities (Moscow, Pest, Cologne, Milan, Florence, and Bologna). All take on different profiles according to varying methods and timelines, but each is modeled on a common circular or semicircular shape. In all cases, the new peripheral ring serves as the connecting band between the inner city and the expansion areas; it almost always coincides with the city walls, whose function as a physical boundary it takes over. In Milan, the ring takes the form of a double ring road, consisting of a boulevard, a median block, and a street designated for trams.

In Florence and Bologna, boulevards were created between 1865 and 1910 in the area corresponding to the city walls and the surrounding moat: a series of tree-lined thoroughfares with a constant cross-section that connect all the radial streets.

Barcelona, Cerdà, and the General Theory of Urbanization

In the mid-19th century, Barcelona was the most dynamic city in a country that had not yet industrialized. The city walls were in a critical condition due to population growth (the population density of 864 inhabitants per hectare was the highest in Europe). The population grew as a result of the expansion of port traffic and the onset of industrialization.

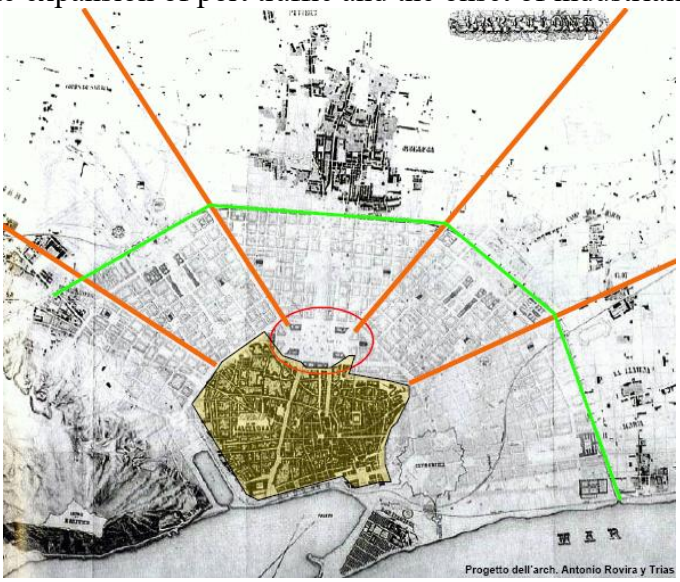


Fig. 5 *The design by Antonio Rovira y Trias. Credits: https://historiek.net/de-ontwikkeling-van-steden/160131/*

But the city walls restrict its growth (a ban on construction within a 10-km radius).

Starting from local problems, engineer Ildefonso Cerdà y Suñer (1815–1876) developed a universal theory, the *Teoría general de la Urbanización*, published in 1867 as a treatise—a milestone in the history of ideas concerning the environment and planning—which the author had the opportunity to put into practice during the expansion (ensanche) of the city of Barcelona. The impetus came from the demolition of the city walls, ordered by royal decree in 1854, and the need to alleviate the congestion plaguing the city center. Engineer Cerdà was commissioned to draw up a topographic survey of the city, and in 1858 a competition was announced for the expansion, in which 13 designers participated, including Cerdà himself.

The royal administration approved Cerdà's plan in 1859, without waiting for the results of the competition organized by the municipal government. The competition, which went ahead nonetheless, concluded with the first prize being awarded to the proposal by Antonio Rovira y Trias (Fig. 5), but this did not sway the king's decision, which stood as a typical authoritarian expression of the absolutism of the ancien régime.

The Rovira Project

According to Rovira's project, the city was organized around a large central square located at the junction with the old city. The project is organized into concentric rings, and its proportions are modulated according to the principles set forth in the great treatises on classical architecture. The fan-shaped expansion is centered on the junction with the old city, which thus retains its role in organizing the urban fabric. The expansion is divided into sectors that align with the most important existing features: the old city, the port, and the suburbs. The road network consists of radial streets connected by two ring roads, one surrounding the old city and the other near the suburbs. From a social perspective, the project reinforces the division of the city into distinct parts, based on their desirability and proximity to the center. In this way, the value of every point in the urban space—determined by the plan according to distance from the center and the importance of the streets—was transformed into economic value (land prices) and social value.

Cerdà's Plan

The design of the expansion plan (ensanche or eixample) is based on certain statistical data: the degree of overcrowding, and demographic and economic growth rates.

His Treatise can be considered the most comprehensive urban theory developed up to that point, applicable to the city, the region, and the metropolitan area. The application of his ideas is not limited to the expansion of a single part of the city; it concerns the whole of Barcelona as a unified whole, defined by Cerdà as an "integral city" (Fig. 6). The general principle underlying his project consists of the distinction between the container—which constitutes the form—and the content, composed of people, the primary subject and the essence of the project. The great innovation of Cerdà's city lies in his conception of streets and city blocks. According to Cerdà, urban life consists of two essential functions: dwelling and movement. The city block is the setting for individual and family life; the street is the setting for communication with the outside world, with nature, and with society. Cerdà designed an orthogonal grid based on the "manzana," a standard city block with constant dimensions and characteristics (113-meter sides). This module is defined by the optimal relationships that Cerdà established between the number of inhabitants and the total area, between covered and open space, and between the population and public services (green spaces, schools, hospitals).

Each of these relationships is expressed as a mathematical formula that, once codified, will be referred to as a standard.

The compositional concept is therefore based on an extensive, regularly gridded subdivision crisscrossed by five major thoroughfares and a network of rail lines, some of which are underground. The boundaries of the blocks follow the contours of the existing neighborhoods, waterways, and the old city. The main thoroughfares—which organize the major functions of the large city—connect the urban grid to the surrounding territory. Urban facilities occupy one or more modules of the grid, with their frequency and spacing proportionate to their function. Larger-scale facilities (such as large parks and slaughterhouses) are located on the outskirts, near the hills and the river. The city is divided into sections through clusters of residential blocks and their associated services. A cluster of 25 blocks forms a neighborhood, served by a church, a school, and a barracks. Four neighborhoods (100 blocks) form a district, each of which has a market. The next higher unit is the sector (400 blocks), equipped with two urban parks, a hospital, state administrative buildings, and industrial facilities. Overall, the city consists of approximately 1,200 blocks, featuring two large suburban parks, a slaughterhouse, and a cemetery. The grid layout adheres to the principle of homogeneity in land-use intensity. In the design, the built-up area of each block is equal to one-third of its total area. The width of the streets forming the orthogonal grid is 20 meters.

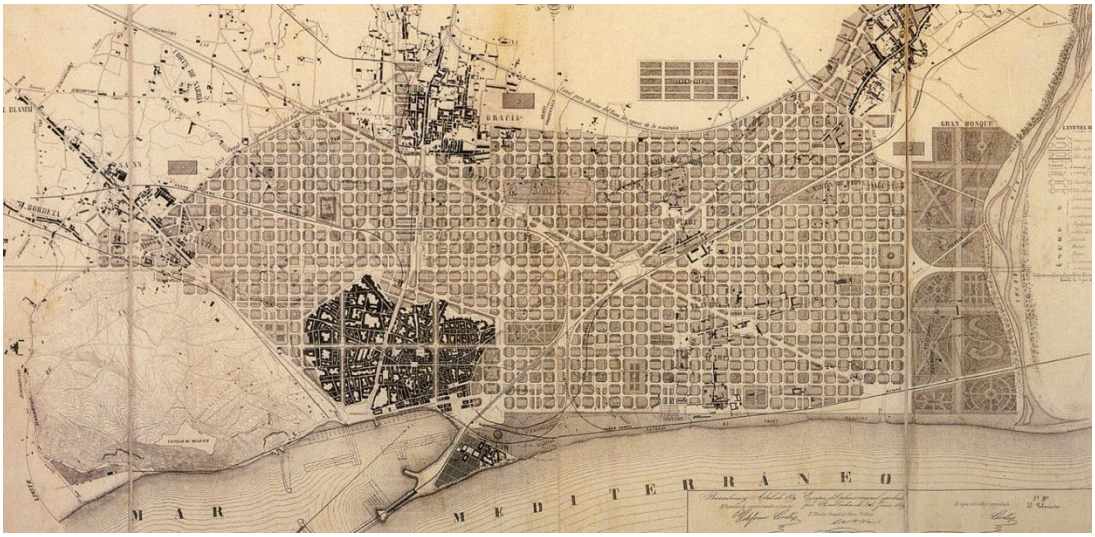


Fig. 6 *Cerda's Plan. Credits: La Barcellona di Ildefonso Cerdá in anticipo sui tempi*

The higher-level road system—comprising the main intersection and the two diagonal roads—does not overlap with the irregularity of the existing city, as in the Parisian grands travaux, but rather with the rational standardization of the planned urban fabric.
We find Salvador Rueda's superblocks in contemporary Barcelona.
Each new superblock comprises 9 blocks (3x3) of streets with restricted traffic, a layout that frees up 70% of the streets previously occupied by traffic.
The Twentieth Century
With the dawn of the twentieth century, growing dissatisfaction began to take hold with the models of urban development pursued up to that point (which, however, continued to be widely practiced); at the same time, research and experimentation with alternative models began to take shape. While the prewar work of O. Wagner in Vienna, H. P. Berlage in Amsterdam, and P. Abercrombie in London followed in the tradition of urban planning—albeit with modern updates—the forward-looking proposals by E. Hénard for Paris, for example, took on a strongly innovative character, such as A. Soria y Mata's proposals for a "linear city" in Madrid, T. Garnier's visions of the *cité industrielle* (which were later partially implemented in Garnier's own project in Lyon, 1909–20), C. Sitte's romantic critique, R. Eberstadt's lucid analysis, and E. Howard's prophecies. The latter, in addition to taking concrete form in the two garden cities (Letchworth, by B. Parker and R. Unwin, 1902; Welwyn, by L. de Soissons, 1919), influenced the design of new residential suburbs throughout Europe and the United States.
The acceleration of technological innovation and the social changes that followed World War I posed new problems and, at the same time, seemed to offer new possibilities for solutions. The dominant problem everywhere was the need to provide adequate housing for the ever-growing urban population. From the second half of the 1920s onward, the Modern Movement also focused its attention on this issue. Through its leading figures (W. Gropius, Le Corbusier, E. May, H. Meyer, L. Hilberseimer, S. Giedion), and especially during the CIAM (Congrès Internationaux d'Architecture Moderne: 1928, in La Sarraz, and 1933, held on a cruise between Marseille and Athens), the movement based its convictions on a radical critique of the industrial city and on the search for abstract principles of rationality and functionality (the schematization

and separation of the "functions" of living, working, and recreation). Despite its declarations of principle (which found their full expression in the "Athens Charter" of 1933, though published in 1941 by Le Corbusier) and its significant efforts at professional self-promotion, the Modern Movement failed to provide a convincing and workable model for the city.
Under the pressure of urbanization—and the associated social problems—the concept of urban reorganization through "satellite" developments is effectively reduced to that of a suburban residential neighborhood consisting of low-cost housing units, standardized and replicated according to strictly predetermined criteria (Salzano, 2003).
Among the few examples that still express a unified vision of the city—at least in principle—are Ernst May's plan for Frankfurt (from 1924), the projects designed by Bruno Taut in Berlin, and the plan for Amsterdam, which constitutes a veritable compendium of the techniques developed by functionalist urban planning (functional zoning, standardized building types, the expansion of green spaces, etc.). It is no coincidence that it was in Weimar Germany (due to government policies) and in the Netherlands (due to the spread of "land reclamation" practices: polders) that the greatest achievements of modernist urban planning were realized. This approach required a strong presence of local public authorities and the state, both in terms of the necessary funding and to implement the vast land readjustments essential to guaranteeing "freedom" in design—a freedom no longer constrained even by road layouts. For these reasons as well, architects of the Modern Movement were drawn (especially in the early 1930s) to the Soviet Union.

4. CONCLUSİONS

In Italy, although there is no shortage of sophisticated theoretical analyses—entirely in line with those developed in the rest of Europe—and intense debate (particularly on the relationship between the modern and the ancient: Gustavo Giovannoni and Marcello Piacentini), concrete projects are primarily focused on urban and architectural renewal, with a view to modernization, but also to representing the powers and values established by Fascism. Greater freedom, however, is granted to architects in utilitarian buildings, and to urban planners in newly founded cities and villages linked to land reclamation policies (for example, Sabaudia, in the Pontine Plain, planned by Luigi Piccinato in 1934) and in housing colonies.
Nowadays, we can no longer speak of the "evolution" of urban planning, but rather of urban planning as a process of territorial governance (Mazza, 1997). Architecture and urban planning must address numerous challenges, making cities resilient and smart, ready to respond to external pressures. It is no longer a matter of the city's layout but of how to manage environmental, social, and economic dynamics (Salzano, 2003).

Research and Author Contributions:
This research represents also part of results carried out in an international research collaborations *COastal Boarders VS INlandAreas_CO.IN. Projects in dialogue between coasts and inland between Mediterranean and Atlantic,* research in which the authors are involved in coordination and in the scientific committee and which is part of the agreement *A.Ma.Te Sponde,* a joint convention between Universities.
This essay synthesizes the research conducted by the authors, who oversaw its structure and organization while sharing the content and findings; however, the following attributions should be noted: § Abstract; § 1. Introduction, § 4. Conclusion, by C. Fazia, C.S. Vicari Aversa; § 2. C. Fazia; § 3. C.S. Vicari Aversa.

REFERENCES

Benevolo, L. (1963), *Storia dell'urbanistica moderna,* Laterza, p. 85-88
Ragon, M. (1974), *Storia dell'architettura e dell'urbanistica moderna*, trad. it., Editori Riuniti, Roma.
Mazza, L. (1997), *Le trasformazioni del piano,* Franco Angeli, Milano, pag 36.
Mumford, L. (2022), *The Story of Utopias,* Boni and Liveright, New York.
Campos Venuti G. (1993), *Cinquant'anni di urbanistica in Italia*.1942-1992. Laterza, Bari, 1993.
Choay, F. (1973). *La città: Utopie e realtà,* Einaudi, Torino. p.11.
Roland B. (1967), "Semiologia e Urbanistica," in *Op. Cit*., n. 10, settembre 1967, Edizioni il Centro, Napoli, https://opcit.it/cms/?p=44
Rogers, E. N. (1958), *Esperienza dell'Architettura*, Giulio Einaudi Editore, Torino.
Beguinot. G., edited by, (2011), *La crisi della città, Risoluzione ONU,* Giannini editore.
Coppa, M. (1977), *Storia dell'urbanistica*, Einaudi, Torino.
Salzano E., (2003), *Fondamenti di urbanistica, La storia e la norma,* Laterza.
Santilli G. (2017), "La rinascita dei centri storici", In Il SOLE24ore, https://www.ilsole24ore.com/art/la-rinascita-centri-storici-AEylr7XD?refresh_ce=1
Teti M. A. (2008), "Dal centro storico alla città storica, la dimensione progettuale della conservazione", In C. Fallanca, N. Carrà, A. Taccone A. (ed. by) *Le città del Mediterraneo*, Iiriti editore.

SU KENARI BÖLGELERİNDEKİ ESKİ SANAYİ ALANLARI: YENİDEN KULLANIM VE YENİLENME İÇİN TASARIM VE STRATEJİLER

Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy,
ORCID ID: 0009-0002-7874-5486
Prof. Dr. Celestina FAZIA
Department of Architecture and Engineering, University Kore of Enna, Enna, Italy,
ORCID ID: 0009-0000-6938-0660

ÖZET
Su yollarına yakın veya su yolları boyunca yer alan atıl sanayi alanları sorunu, felaket olayları ve erozyonla bağlantılı çevresel kriz göz önüne alındığında son derece önemlidir. Özellikle kıyı şeridi, entegre kıyı tasarımı ve yenileme stratejileri gerektirmektedir. Aslında, su yollarına yakın atıl sanayi alanları sorununu ele almak, çeşitli disiplinleri içerir ve söz konusu faktörlerin karmaşıklığı ve özgünlüğü göz önüne alındığında, yenilikçi analiz, planlama ve tasarım yöntemleri gerektirir. Maddenin hallerine (katı, sıvı, gaz) atıfta bulunarak maddesellik kavramı geniş bir önem kazanmaktadır. Bu özel durumda, şunları anlamaya çalışacağız: çevresel bileşenler ve insan faaliyetleri, çevresel standartların sağlanmasına nasıl ve ne ölçüde katkıda bulunur veya bulunabilir; ve hangi "tasarım" yanıtları ve "düzeltici" önlemler uygulanmalıdır. Son yıllarda Güney İtalya'da hızlanan imalat faaliyetlerinin yer değiştirmesi, endüstriyel mirasın kademeli olarak terk edilmesine yol açmıştır. Kıyı bölgeleri, ekonomik faaliyet, yatırım ve altyapı kaybıyla tehdit altındadır. Bu makale, özellikle İspanya, Fransa, Hollanda ve Almanya'da bulunan, su yolları boyunca yer alan terk edilmiş endüstriyel binaların veya alanların yeniden canlandırılmasında en iyi uygulamalardan bazılarını inceleyerek, işlevsel melezleşme ve kültürel yeniden kullanımın terk edilmiş varlıkları nasıl kalkınma fırsatlarına dönüştürebileceğini göstermektedir. Bu en iyi uygulamalar ışığında, çalışma, Güney İtalya'da bulunan iki karmaşık İtalyan vaka çalışmasını analiz etmektedir: biri Calabria'da, Reggio Calabria yakınlarındaki ağır derecede bozulmuş bir alanda; diğeri ise Sicilya'da, FIAT otomobil fabrikasının kapanmasından etkilenen stratejik bir denizcilik ve demiryolu merkezi olan Palermo yakınlarında. Terk edilmeyi önlemek, sürdürülebilir dönüşümü teşvik etmek ve bu alanları kolektif kültürel miras olarak geri kazanmak için makale, ikili bir stratejik çerçeve önermektedir. İlk olarak, kirlenme risklerini önceliklendirmek için çevresel değerlendirme matrisleri tanımlamaktadır. İkincisi, birbirine bağlı maddi ve manevi ağlardan oluşan çok katmanlı bir "Sosyal Altyapı" kavramını tanıtmaktadır. Bu dayanıklı çerçeve, sürdürülebilir ulaşımı, ekosistem yaşam hatlarını, geçirgen toprakları, hidrolik düzenlemeyi ve yerelleştirilmiş enerji/BT şebekelerini entegre ederek, devasa endüstriyel kalıntıları başarısızlık sembolleri olarak değil, dinamik bir şehir/su birlikteliği için endüstriyel arkeolojinin değerli kimlik işaretleri olarak yeniden yorumluyor.
Anahtar Kelimeler: Endüstriyel arkeoloji mirası, Kıyı şeridi, Uyarlanabilir yeniden kullanım, Kirlenmiş alanlar, Kıyı yenilemesi

BROWNFIELDS AREAS ALONG THE WATERFRONT: DESIGN AND STRATEGIES FOR REUSE AND REGENERATION

ABSTRACT
The issue of brownfield sites located near or along waterways is highly relevant given the environmental crisis linked to catastrophic events and erosion. The waterfront, in particular, requires integrated coastal design and regeneration strategies. In fact, addressing the issue of brownfield sites located near waterways involves various disciplines and requires innovative

methods of analysis, planning, and design, given the complexity and specificity of the factors at play. The concept of materiality—with reference to the states of matter (solid, liquid, gaseous)—takes on broad significance. In this specific case, we will seek to understand: how and to what extent environmental components and human activities contribute to—or can contribute to—the achievement of environmental standards; and what "design" responses and "corrective" measures should be implemented. The relocation of manufacturing activities, which has accelerated in recent decades in Southern Italy, has led to the gradual abandonment of industrial heritage. Coastal areas are threatened by the loss of economic activity, investment, and infrastructure. This article examines some best practices in the regeneration of derelict industrial buildings or sites along waterways located in Spain, France, Netherlands and Germany, to demonstrate how functional hybridisation and cultural reuse can transform abandoned assets into opportunities for development. In light of these best practices, the study analyses two complex Italian case studies located in southern Italy: one in Calabria, at a heavily degraded site near Reggio Calabria, and one in Sicily, near Palermo, which is also a strategic maritime and rail hub affected by the closure of the FIAT car factory. To counter abandonment, promote sustainable transformation, and recover these sites as collective cultural heritage, the paper proposes a dual strategic framework. First, it defines environmental assessment matrices to prioritize contamination risks. Second, it introduces the concept of a multi-layered "Social Infrastructure" composed of interconnected material and immaterial networks. This resilient framework integrates sustainable mobility, ecosystem lifelines, permeable soils, hydraulic regulation, and localized energy/IT grids, reinterpreting massive industrial remains not as symbols of failure, but as valuable identity landmarks of industrial archaeology for a dynamic city/water coexistence.

Keywords: Industrial archaeology heritage, Waterfront, Adaptive reuse, Brownfields, Coastal regeneration,

1. INTRODUCTION

The relocation of manufacturing activities, which began as early as the last century in Europe and has accelerated in recent decades in southern Italy, has led to the gradual decommissioning of substantial portions of industrial heritage in many rural and peripheral areas and urban centers (Ciorra, 2011).

The rehabilitation of industrial heritage by the sea follows different approaches depending on the characteristics of the site and the needs of the urban and environmental context (Ciorra, 2011; Domusweb, 2024). Among the most effective strategies is the functional reuse and hybridization of spaces mode that brings the transformation of disused industrial buildings into cultural centers, innovation hubs or creative hubs.

This approach not only preserves the historical memory of industrial archaeology, but also creates new socio-economic opportunities, re-establishing a relationship of proximity between local communities and the waterfront.

Waterfront brownfields present a unique spatial paradox. In fact, on one hand, their historical industrial functions -ranging from shipbuilding, port logistics, and heavy manufacturing to energy production- severed the urban tissue from the shoreline, generating polluted, inaccessible, and fragmented edges; on the other hand, their strategic geographic position, historical architectural massing and direct contact with aquatic ecosystems offer extraordinary opportunities for contemporary urban regeneration. In coastal contexts, particularly across the Mediterranean basin, these sites act as high-stakes battlegrounds where environmental vulnerabilities -sea-level rise, coastal erosion, flash flooding, and soil contamination- intersect with structural economic decline.

In Southern Italy, the legacy of late-20th-century industrialization policies -such as the *Cassa per il Mezzogiorno*- left behind large-scale industrial enclaves that quickly proved vulnerable to global market shifts. The subsequent decommissioning of these sites left vast spatial voids along ecologically delicate coastlines. The regeneration of these areas requires us to move beyond traditional redevelopment, adopting an architectural design approach that is regenerative – and therefore also environmentally friendly and spatially integrated – capable of addressing the various interactions between land and water in the regeneration of derelict industrial structures and sites.

2. MATERIAL AND METHODS

A number of case studies are examined as examples of best practice in the regeneration of derelict industrial buildings or sites along waterways, located mainly in Spain, France and Germany, to demonstrate how functional hybridisation and cultural reuse can transform abandoned assets into opportunities for development.

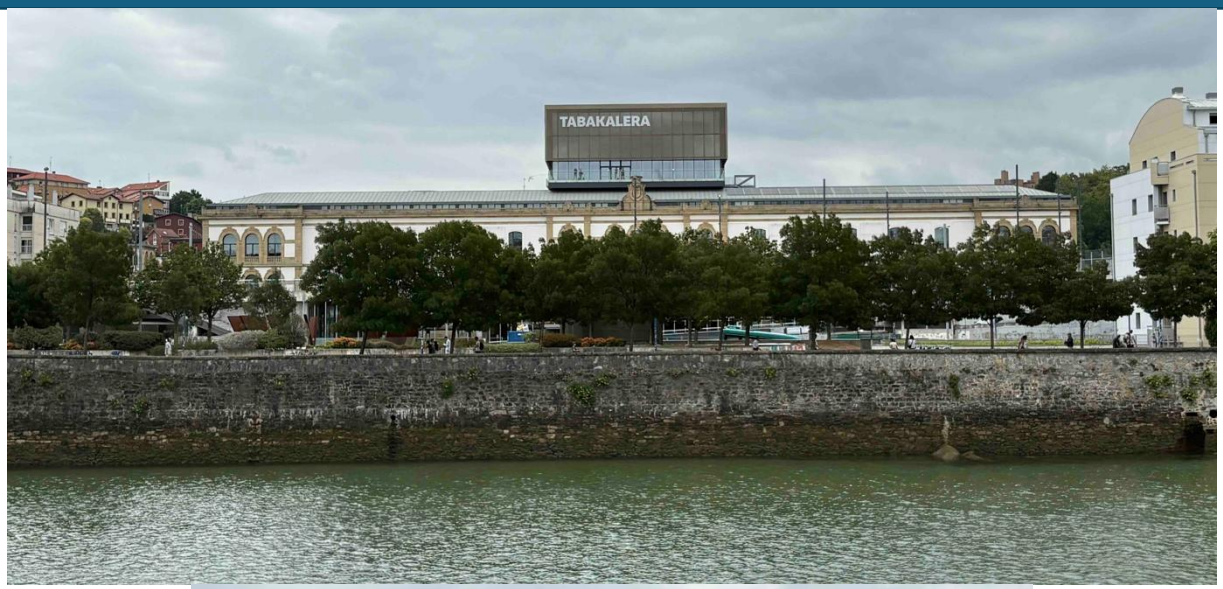
An emblematic example is the *Tabakalera* in Donostia-San Sebastián, Spain, a former tobacco factory, along the Urumea river and almost at its mouth, now converted into an International Center for Contemporary Culture, which has contributed to the regeneration of a significant section of the riverfront and its surrounding areas

The *Tabakalera* of Sebastián (Fig.1 -2 -3 -4), occupies 13,277 m2 in the urban area of the city. For 90 years (1913-2003) *Tabakalera* was the city's tobacco factory.

Designed by the Catalan architectural studio Montero arquitectos -directed by Jon Montero Madariaga and Naiara Montero Viar-, after four years of remodeling work, it is now an *International Center for Contemporary Culture*, overlooking the river and next to the sea, located in the former disused tobacco factory of which it maintains the original structure while planning a modern expansion, especially in height. Opened in 2015, it hosts several temporary exhibition halls, including the *Kutxa Kultur Artegunea,* focused specifically on the art of Gipuzkoa, workshops, cinemas, and spaces for cultural activities, becoming an important reference point for the production and enjoyment of contemporary art. Furthermore, *Tabakalera* will be home also to the Basque Architecture Institute_*Instituto de Arquitectura de Euskadi*/ *Euskadiko Arkitektura Institutua,* from October 2026.



Figure 1. *Tabakalera.* View of the front overlooking the river, with extension on the roof, 2015. Credits: photo by C.S. Vicari Aversa.







Figures 2-3-4. *Tabakalera.* Views of interior spaces and details of the terrace overlooking the river, 2026. Credits: photo by C.S. Vicari Aversa

In transforming abandoned areas into new vital resources, another mode pursued is environmental regeneration linked to sustainability. The rehabilitation of former coastal industrial sites often involves environmental remediation and landscape redevelopment.
In France, in Marseille, another striking example, the vast 19th-century complex of *Les Docks* port area has been converted into a multifunctional center dedicated to art, commerce and culture. In the mid-nineteenth century, when they were built, *Les Docks* in Marseille represented

the third most important construction project in France. And one can hardly imagine it in front of the powerful, almost 400-meter-long, six-story-high white Provence stone complex that skirts the merchant port, but is also a stone's throw from the Panier, the old center.

Alfonso Femia's design was able to reinterpret the industrial identity of the place, creating a new gathering space for the city by including the creation of green spaces and pedestrian paths, integrating the industrial heritage with new tourist and cultural functions (Femia, 2015).

The circular economy and new production models can also be the driving force for reinterpreting urban fabrics that have lost their functions. This is the case in Rotterdam, in Netherlands, where the *Merwe-Vierhavens area (M4H)* a former port area undergoing transformation, old warehouses and factories have been converted into spaces for start-ups, green companies and innovative residences. The adaptation strategy for *M4H* area, an old port site measuring approximately 100 hectares on the north bank of the Nieuwe Maas, was developed under the direction of the Port Authority and the Municipality of Rotterdam and has resulted in a combination of sub-strategies. (Port of Rotterdam).

In Germany, the case of *HafenCity*, in Hamburg, is deserves a mention, a beautiful historic *Speichederstadt* district, consisting of former brown-field sites, close to the city center and also around which Herzog & De Meuron's *Elbphilharmonie* has been built.

Hamburg HafenCity (Fig. 5) is a modern district of Hamburg that has been created through the regeneration of a historic disused port area, transforming former warehouses into a cutting-edge district that combines housing, offices, cultural and commercial spaces, promoting a model of sustainable and innovative urban development. *Hamburg HafenCity* demonstrates how the regeneration of a disused port area can generate a new sustainable neighborhood, with a strong focus on functional mixité and architectural quality (HafenCity).

Furthermore, the *HafenCity* project along the *Elbe* River showcases advanced hydraulic adaptation: instead of relying exclusively on dikes, buildings and public spaces are built on elevated mounds -*Warften*- and designed to flood safely during storm surges. Concurrently, in Germany's Ruhr area, the regional scale of the *Emscher Landscape Park* initiative (a massive 320-square-kilometer regional green-blue infrastructure project that transformed a post-industrial river valley into a connected network of parks) demonstrates how polluted industrial river systems can be ecologically remediated through continuous Blue - Green corridors.

In conclusion, the reuse and regeneration of disused industrial heritage represents a crucial challenge for the future of contemporary cities (Purini, 2004). Preserving historical and architectural value, combined with the integration of new cultural and creative functions, makes it possible to transform abandoned areas into vital resources for society (Secchi, 1984). International examples show that the success of these interventions depends on the ability to balance protection, innovation, and sustainability, ensuring an integrated approach that values the past without sacrificing the opportunities of the future.

Following a review of best practices in design and planning for the rehabilitation and reuse of brownfield sites, two Italian case studies are analyzed, notable for their specific contextual characteristics and their location in relation to the watercourse. The goal is to understand the potential of such interventions to promote sustainable transformation and counter abandonment. Strategies will be devised to avoid this risk, enhancing the coasts as spaces for rebirth and innovation.

The paper seeks to bring out, based on the analysis of the case studies, the type of relationship with the environment, and the design responses with respect to intervention priorities, that have emerged by proposing a regeneration model.



Figure 5. Hamburg *HafenCity.* Credits: photo by C.S. Vicari Aversa.

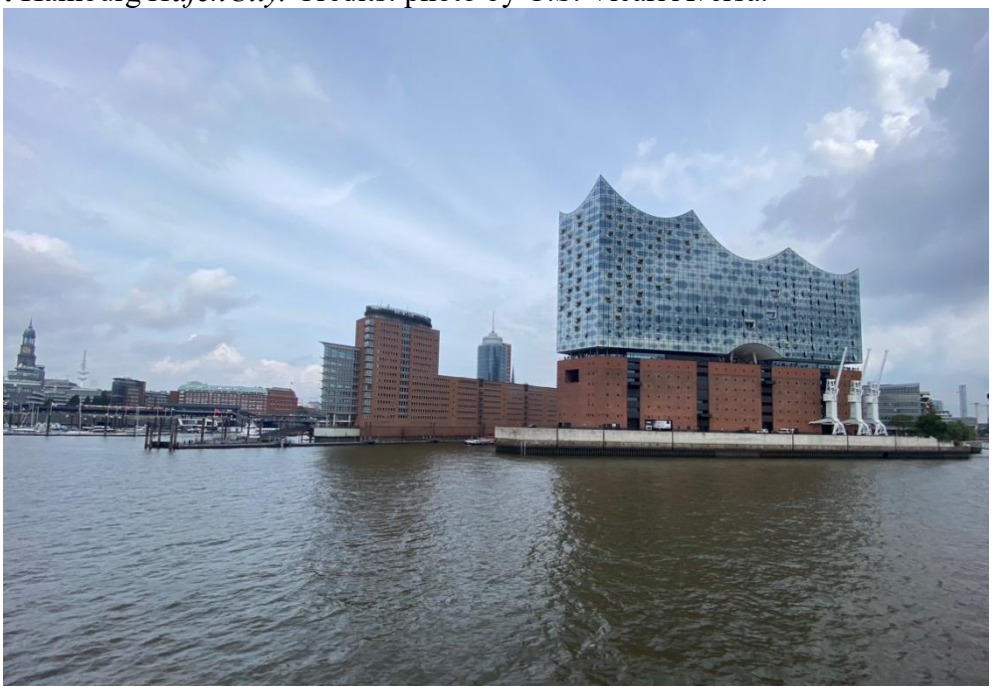


Figure 6. Herzog & De Meuron's *Elbphilharmonie* Hamburg. Credits: photo by C.S. Vicari Aversa.

Possible and diverse design strategies for the regeneration, preservation, and enhancement of the industrial heritage, involving resources and actors in the area by returning the industrial heritage of the sites to the site of collective cultural heritage, are proposed (Fazia, Nahiduzzaman, Natoli, Sortino, Vicari Aversa, 2025).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Based on the analysis of case studies, the article highlights the type of relationship with the environment and the design responses to the intervention priorities that emerged, proposing a regeneration model.

Various possible design strategies are proposed for the regeneration, conservation, and enhancement of industrial heritage, involving local resources and actors through the recovery of the industrial heritage of sites as part of the collective cultural heritage.

Saline Joniche Industrial Area, located at 20 km from Reggio Calabria, Italy, represents an emblematic example of environmental degradation due to unhealthy industrial settlements (AAVV, 2024). In the 1970s, the *Liquichimica Biosintesi* (Fig. 6, 7) industry was built here, including an industrial commercial port that never came into operation. The plant extends for almost two kilometers along one of the southernmost coasts of the Italian peninsula and occupies a total area of approximately 700,000 square meters.



Figure 6. Industrial area of *Saline Joniche*. Credits: Jacopo Werther, in https://it.wikipedia.org/wiki/Liquichimica_Biosintesi#/media/File:Ciminiera_ex_Liquichimia_Biosintesi_-_Saline_Joniche_-_Province_of_Reggio_Calabria,_Italy_-_25_Feb._2012_-_(5).jpg



Figure 7. Industrial area of *Saline Joniche.* Credits: https://www.ilreggino.it/ambiente/saline-joniche-lex-area-industriale-dallimmenso-potenziale-che-potrebbe-essere-valorizzato-foto-ik0vszpn

The landscape has changed radically in just a few years since its construction, and the area once used for salt pans, once reclaimed and drained, gave way to new buildings: tanks, machinery, chemical plants, and a port used to supply the factory. The most emblematic and significant feature of these territorial changes is the tall chimney, which, at 174 meters high, was for a time among the tallest in Europe and still stands over the abandoned area (AAVV, 2012).
Today, the metal infrastructure is rusting and unsafe, and the harbor is silted up and unusable, and aquifers and former industrial areas are in need of remediation and safety work. All in an area where there is an artificial lake identified as a Special Protection Zone for the birdlife present. Two cases, both on the sea but different in history and project approach (AAVV, 2024). Two possible and diverse project strategies of regeneration, preservation and enhancement of the industrial heritage, capable of involving resources and subjects present in the area by returning the industrial heritage of the places also to the collective cultural heritage.
Termini Imerese Industrial Area, located 40 km from Palermo, Italy, is an important rail and maritime hub due to the presence of a well-connected railway station and a large merchant port. The industrial area (Fig. 8, 9, 10), where the *Enel Ettore Majorana* power plant is located, is known for the former FIAT plant and is located in the backwater plain between the city and the *Himera* archaeological area (Viola, 2025).
The plant, which opened in 1970 and was characterized by a high level of production specialization in the automotive sector, was permanently decommissioned by *FIAT S.p.a.* in 2011 (Palermo, 2024). Following the closure of the *FIAT* plant (now *Stellantis Group*), a path for the reindustrialization of the area was identified, with a Program Agreement for the reconversion and redevelopment of the industrial hub signed between the Ministry of Economic Development, the Ministry of Labor, the Sicilian Region and the Municipality of Termini Imerese.



Figure 8. Termini Imerese. Credits: https://www.blogsicilia.it/palermo/riapre-stabilimento-termini-imerese-ex-fiat-blutec-tornano-lavori-primi-10-operai-pelligra/1158692/



Figure 9. Termini Imerese. Credits: https://www.siciliainprogress.com/termini-imerese-nuove-opere-per-larea-industriale/



Figure 10. Termini Imerese. Credits: https://www.siciliainprogress.com/termini-imerese-nuove-opere-per-larea-industriale/

Reprogrammed interventions also include road connections, completion of the pier and construction of a fiber-optic system. Culturally, it is interesting for the nearby ruins of Himera and the associated *antiquarium*, for the presence of archaeological sites from the Roman era and prehistoric artifacts. In the lower part of the city is the thermal establishment of the G*rand Hotel delle Terme,* where fine volcanic-derived waters flow (12). In its territory, and in the nearby towns of Sciara and Caccamo, there is the Mount San Calogero Oriented Nature Reserve, RNO.

The suggested strategies are:

i) Define frameworks for assessing the environmental characteristics of land for reuse, including land selection criteria, types of contamination and materials found at sites, risk assessment approaches, risk communication, sustainable redevelopment options, and methodologies for prioritizing risk management.

ii) A Social Infrastructure, composed of several material and immaterial networks that interconnect the different disused areas. The Social Infrastructure will make a sustainable contribution to the regeneration of the existing city and make the territory resilient.

It will contain (Fazia, 2024):

- Physical networks and junction areas for sustainable mobility;
- Lifelines, resilient infrastructure for emergencies;
- Networks of vegetated landscapes and permeable soils for ecosystem quality and environmental network, ecological network;
- Networks of urban landscapes and technical infrastructure for dynamic city/water coexistence, Networks of hydraulic regulation and soil defence for resilience and adaptation;
- Networks of waste infrastructure and contaminated or disused sites to be reclaimed, renaturated;
- Networks (frame) of public spaces and infrastructure for services, relational life and sociality;

- Networks for energy, Networks for information technology and communications
- Networks for culture and identity.

3. CONCLUSIONS

The current state of degradation and abandonment of the various case studies analyzed raises important questions about how to intervene with the project to recover, reuse, and initiate possible regeneration strategies (Purini, 2004, Secchi, 1984).
Not everything that today resembles unfinished industrialization necessarily represents an element of degradation, but it could turn out to be valuable identity element, a grain of industrial archaeology as part of a memory to be preserved and naturally enhanced.
A small example might be the chimney at *Saline Joniche*, of the former *Liquichimica Biosintesi*, which towers slender in its surroundings at 174 meters high. For some it is seen only as a monument to the neglect and failure of a state industrialization project that never really got off the ground and exposed the local population to serious environmental hazards, bringing devastation to the area and deeply marking its recent history (AAVV, 2012). Yet, starting from decay, as seen in a few best-practice examples scattered across Europe, it is possible to sow seeds, allow new spaces to germinate, and regenerate. New opportunities can be restored to large brownfield sites and abandoned neighborhoods, bringing new life and new possibilities for development and growth. The important thing is to give new life but remembering, as in the cases reported, not to museumify the ruins, but to live them and integrate them into the social fabric, recognizing that an identity area must be historical and functional-relational (Vicari Aversa C.S., Natoli. C., Santolaria del Campo O., Fazia C., 2026), remembering, as Eugenio Battisti always emphasized, that industrial remains should not be left as passive skeletons, but they must be preserved and reused with respect (Battisti, 2001).

Research and Author Contributions:
This research represents also part of results carried out in an international research collaborations *COastal Boarders VS INlandAreas_CO.IN. Projects in dialogue between coasts and inland between Mediterranean and Atlantic,* research in which the authors are involved in coordination and in the scientific committee and which is part of the agreement *A.Ma.Te Sponde,* a joint convention between Universities.
This essay synthesizes the research conducted by the authors, who oversaw its structure and organization while sharing the content and findings; however, the following attributions should be noted: § Abstract; § 1. Introduction, § 4. Conclusion, by C. Fazia, C.S. Vicari Aversa; § 2. by C.S. Vicari Aversa; § 3. C. Fazia.

REFERENCES

AA.VV. (2024), “Tra passato industriale e prospettive di rinascita: il caso dell’impianto Liquichimica Biosintesi a Saline Joniche”, in: *Calcolo Strutturale,* https://www.calcolostrutturale.com/tra-passato-industriale-e-prospettive-di-rinascita-il-caso-dellimpianto-liquichimica-biosintesi-a-saline-joniche/
AA.VV., (2012), Liquichimica Biosintesi, Saline Joniche, in: *Wikipedia,* https://it.wikipedia.org/wiki/Liquichimica_Biosintesi#/media/File:Ciminiera_ex_Liquichimia_Biosintesi_-_Saline_Joniche_-_Province_of_Reggio_Calabria,_Italy_-_25_Feb._2012_-_(5).jpg
Battisti, E., *Archeologia Industriale* -ed. by Battisti F.M.-, Jaca Book, 2001.
Ciorra P., (2011), “Per un’architettura non edificante”, in: Ciorra Pippo, Marini Sara, ed. by, *RE_CYCLE,* Electa, 2011, Milano, p. 22.

Editorial staff DOMUSWEB (2024), *Two Foster + Partners buildings near Battersea Power Station completed,* 2024 06 16, https://www.domusweb.it/en/news/gallery/2024/06/16/battersea-roof-gardens-and-50-electric-boulevard-in-london-completed.html).html

Fazia C., Kh Md Nahiduzzaman, Natoli C., Sortino F., Vicari Aversa C.S. (2025), "Disused Industrial Areas on the Waterfront. Between Sicily and Calabria," In Gervasi O., Murgante B., Garau C., Karaca Y., Faginas Lago M.N., Scorza F., Braga A.C., *ICCSA 2025,* Editors Springer, Lecture Notes in Computer Science.

Fazia C. (2024), Chapter 18 "Urban Regeneration of Sensitive Brownfeld Sites and Areas for Sustainable Future Scenarios: Models and Strategies", in: Cezar Morar, Laurel Berman, Serap Erdal, Liudmyla Niemets, *Achieving Sustainability in Ukraine through Military Brownfields*, NATO Science for Peace and Security Series - C: Environmental Security, Springer ed.

Femia A. (2015), *Les Docks di Marsiglia,* in: https://www.atelierfemia.com/it/2015/06/docks-di-marsiglia/

Hafen City, *Willkommen in der HafenCity*, in: https://www.hafencity.com/

Herzog J., De Meuron J.P., *The Tate Modern Project,* Competition 2005, Project 2005-2012, Realization 2010-2016, London, UK. (herzogdemeuron.com/projects/263-the-tate-modern-project/)

Montero Madariaga J., Montero Viar N., *Tabakalera,* https://www.montero-arquitectos.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=53&Itemid=70&lang=en

Palermo, R., (2024), *Termini imerese, nuove opere per l'area industriale,* in: *Siciliainprogress,* https://www.siciliainprogress.com/termini-imerese-nuove-opere-per-larea-industriale/

Port of Rotterdam, *Merwe-Vierhavens* in: https://www.portofrotterdam.com/en/building-port/safe-port/flood-risk-management/merwe-vierhavens

Purini F, (2004), "Sette problemi", in *Paesaggio Urbano,* n. 6.

Secchi B, (1984), "Le condizioni sono cambiate" in *Casabella,* n. 498.

Tabakalera International Centre for Contemporary Culture, https://www.tabakalera.eus/en/about-us/history/

Vicari Aversa C.S., Natoli. C., Santolaria del Campo O., Fazia C., (2026), "The Last Vizcaya Blast Furnace. Elements of Industrial Heritage that Shape the Urban Cultural Landscape around the Nervión River*",* in: Currà E., Fatiguso F., Guida A., Monte A., Docci M., Bernardo G., Cantatore E., Mattioli A., Menichelli C., ed. by, *3° Stati Generali del Patrimonio Industriale,* Gangemi Editore, Roma.

Viola, M., (2025), *Riparte lo stabilimento di Termini Imerese, si aprono i cancelli e tornano al lavoro i primi 10 operai,* in *BlogSicilia,* https://www.blogsicilia.it/palermo/riapre-stabilimento-termini-imerese-ex-fiat-blutec-tornano-lavori-primi-10-operai-pelligra/1158692/

YAPAY ZEKA VE MİMARLIK: KARA VE DENİZ ARASINDA

Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0002-7874-5486
Dr. Alessia G. QUATTRONE
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0003-0847-2512

ÖZET
Yapay Zeka, mimarlığın kıyı çevrelerini gözlemleme, yorumlama ve tasarlama biçimlerini dönüştürmektedir. Bu makale, Yapay Zeka'yı hem operasyonel bir araç hem de kıyı sınırına dair mimari anlayışı yeniden tanımlayabilecek epistemolojik bir çerçeve olarak ele almaktadır. Clara Stella Vicari Aversa'nın mimarlık, su ve deniz arasındaki ilişkiye dair araştırmalarından hareketle, çalışma kıyı sınırını doğal, kentsel, ekolojik ve kültürel süreçlerin sürekli etkileşim içinde olduğu dinamik bir eşik olarak yorumlamaktadır. Operasyonel düzeyde Yapay Zeka; uzaktan algılama, uydu görüntüleri, iklim simülasyonları, Dijital İkizler ve öngörüsel çevresel modeller aracılığıyla mekânsal verilerin toplanması ve analizini destekler. Bu teknolojiler, kıyı çizgisinin evrimini, kıyı erozyonunu, deniz seviyesinin yükselmesini ve taşkın riskini izlemeyi mümkün kılarak mimari karar alma süreçlerini destekleyen yeni veriler sunar. Teknik uygulamalarının ötesinde, bu makale Yapay Zeka'nın mimari tasarım için metodolojik bir yenilik temsil ettiğini savunur. Öngörüsel algoritmalar ve üretken modeller, tasarımcıların alternatif gelecek senaryolarını karşılaştırmasına ve çevresel belirsizlik koşulları altında müdahalelerin sonuçlarını değerlendirmesine olanak tanır. Bu doğrultuda mimari proje, sabit bir kıyı manzarasının temsili olmaktan çıkarak, sürekli mekânsal dönüşümlere yanıt verebilen uyarlanabilir ve dirençli sistemlerin tasarımına yönelir. Yapay Zeka, mimarın eleştirel yargısının yerini almak yerine, yorumlamayı güçlendiren, kanıta dayalı kararları destekleyen ve proje, bağlam ve çevresel sorumluluk arasındaki ilişkiyi kuvvetlendiren bilişsel bir altyapı olarak işlev görür. Vicari Aversa'nın teorik yaklaşımını çağdaş Yapay Zeka metodolojileriyle bütünleştiren bu çalışma, teknolojik yenilik ile mimari kültürün, iklim uyumu ve sürdürülebilir dönüşümün zorluklarına yanıt vermek üzere kesiştiği bir bağlamda, kıyı sınırlarını okumak ve tasarlamak için yenilenmiş bir çerçeve önermektedir.
Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka; Kıyı Sınırı; Waterfront; Mimari Tasarım; Dijital İkiz; İklim Uyum

AI AND ARCHITECTURE BETWEEN LAND AND SEA

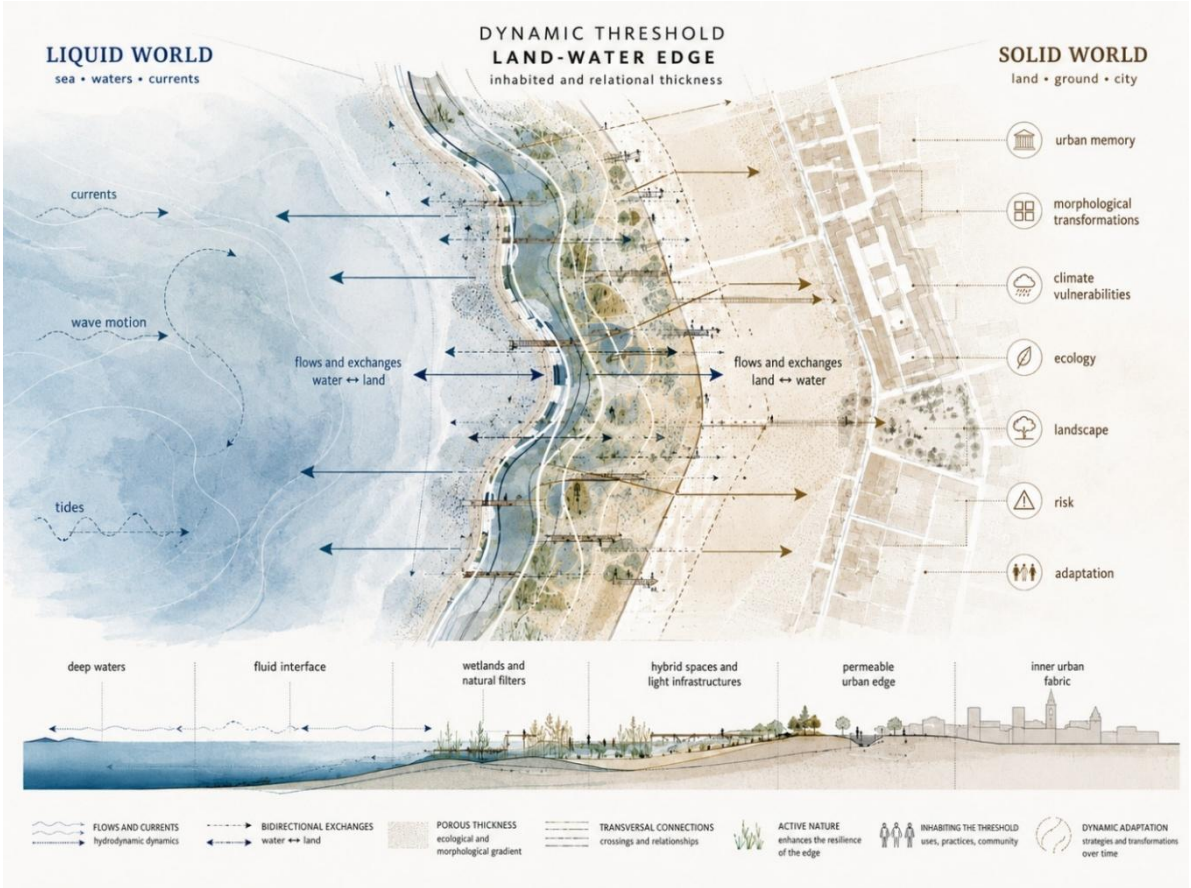
ABSTRACT
Artificial Intelligence is transforming the ways architecture observes, interprets, and designs coastal environments. This paper investigates AI as both an operational tool and an epistemological framework capable of redefining the architectural understanding of the coastal edge. Building upon Clara Stella Vicari Aversa's research on the relationship between architecture, water, and the sea, the study interprets the coastal margin as a dynamic threshold where natural, urban, ecological, and cultural processes continuously interact.
At the operational level, Artificial Intelligence supports the acquisition and analysis of spatial information through remote sensing, satellite imagery, climate simulations, Digital Twins, and predictive environmental models. These technologies enable the monitoring of shoreline evolution, coastal erosion, sea-level rise, and flood risk, providing new evidence to support architectural decision-making. Beyond its technical applications, the paper argues that AI represents a methodological innovation for architectural design. Predictive algorithms and

generative models allow designers to compare alternative future scenarios and assess the consequences of interventions under conditions of environmental uncertainty. Consequently, the architectural project shifts from the representation of a stable waterfront toward the design of adaptive and resilient systems capable of responding to continuous territorial transformations. Rather than replacing the architect's critical judgement, Artificial Intelligence functions as a cognitive infrastructure that enhances interpretation, supports evidence-based decisions, and strengthens the relationship between project, context, and environmental responsibility. By integrating Vicari Aversa's theoretical perspective with contemporary AI methodologies, the paper proposes a renewed framework for reading and designing coastal borders, where technological innovation and architectural culture converge to address the challenges of climate adaptation and sustainable transformation.

Keywords: Artificial Intelligence; Coastal Edge; Waterfront; Architectural Design; Digital Twin; Climate Adaptation

1. INTRODUCTION

The coastal edge is one of the most complex spatial conditions of contemporary architectural thought. It is not merely a physical line, a cartographic boundary, or an urban façade facing the sea. It is a shifting threshold where natural systems, settlement patterns, infrastructures, ecological processes, cultural memory, and climatic instability converge. For this reason, architecture on the land-water edge cannot be understood only as the design of a front, a promenade, or a scenic interface. It must be approached as a process of reading, interpretation, anticipation, and transformation. The theoretical foundation of this research lies in Clara Stella Vicari Aversa's work *Architettura nell'illimitato bordo terracqueo/ Architecture in the*



unlimited terracqueous edge. In this study, the land-water edge is interpreted as the place of

encounter between two worlds: the liquid world and the solid world. Each of them has its own laws, rules, forces, and languages; at the edge, these systems intersect, collide, and define one another (Vicari Aversa, 2025). The border between land and water is therefore not a neutral line. It is a dynamic spatial condition, a field of tensions, a place in which architecture is required to recognize the presence of the other before imposing a formal solution.

Fig. 1. Conceptual map of the land–water edge as a dynamic threshold. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

This interpretation is particularly relevant today, because the coastal edge is increasingly exposed to the consequences of climate change. Sea-level rise, coastal erosion, storm surges, flooding, salinization of aquifers, subsidence, and the growing frequency of extreme events are transforming waterfronts and coastal settlements into fragile and unstable territories. Copernicus Climate Change Service (2026) reports that global mean sea level has risen at an average rate of 3.64 mm per year since 1999, corresponding to a total increase of 9.38 cm over twenty-six years. NASA (2026) similarly identifies global mean sea level as a key climate indicator, showing both the cumulative rise since the beginning of the satellite altimetry record and the acceleration of the annual rate of rise. At the European scale, the European Environment Agency (2024) identifies low-lying coastal regions as climate-risk hotspots, exposed to flooding, erosion, and saltwater intrusion.

In this context, artificial intelligence becomes relevant not simply as a technological instrument, but as a new cognitive infrastructure for architectural research and design. AI allows architecture to process large quantities of spatial, environmental, climatic, and temporal data; to recognize patterns that are not immediately visible through traditional observation; to simulate future scenarios; and to verify design hypotheses under uncertain conditions. The central question of this study is therefore not whether AI can be used in architectural design, but how it can be critically integrated into a theory of the coastal edge.

The hypothesis developed here is that AI may extend the theoretical horizon opened by Vicari Aversa. In her work, the coastal edge requires a broad, almost wide-angle vision: the architect cannot begin directly from the sea as an isolated object, but must follow the path of water in its different forms—river, lake, rain, artificial water—before reaching the sea itself (Vicari Aversa, 2025). This methodological distance is not merely poetic. It is a way of understanding the land-water edge as part of a larger hydrological, morphological, and cultural system. Today, AI can transform this wide-angle vision into an operational method. Through satellite monitoring, geospatial analysis, machine learning, digital twins, and predictive modelling, it becomes possible to observe the coast not as a static boundary, but as a living system in continuous transformation.

The aim of this research is to define the concept of "intelligent edges" as a critical framework for architecture on the land-water threshold. An intelligent edge is not simply a technologically equipped waterfront. It is a coastal condition in which artificial intelligence supports the reading of complex environmental processes, the interpretation of urban and cultural memory, and the construction of adaptive design strategies. In this sense, AI does not replace architectural judgment. Rather, it expands the designer's capacity to understand relationships, to make visible hidden transformations, and to act responsibly within a fragile and changing environment.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Theoretical framework

The research is based on a theoretical and interpretative framework derived from Clara Stella Vicari Aversa's work on the land-water edge. Her concept of the *bordo terracqueo* is used as

the primary critical foundation for understanding the coast as a spatial thickness rather than as a line of separation.

The coastal edge is interpreted as a multi-layered system composed of:

- physical and morphological transformations;
- hydrological and ecological processes;
- urban and infrastructural conditions;
- cultural and historical memory;
- perceptive and symbolic relations with water;
- climate vulnerabilities and future risk scenarios.

This framework allows the research to avoid a purely technological interpretation of artificial intelligence. AI is not considered as an autonomous design generator, but as a support system for architectural reading, interpretation, and decision-making.

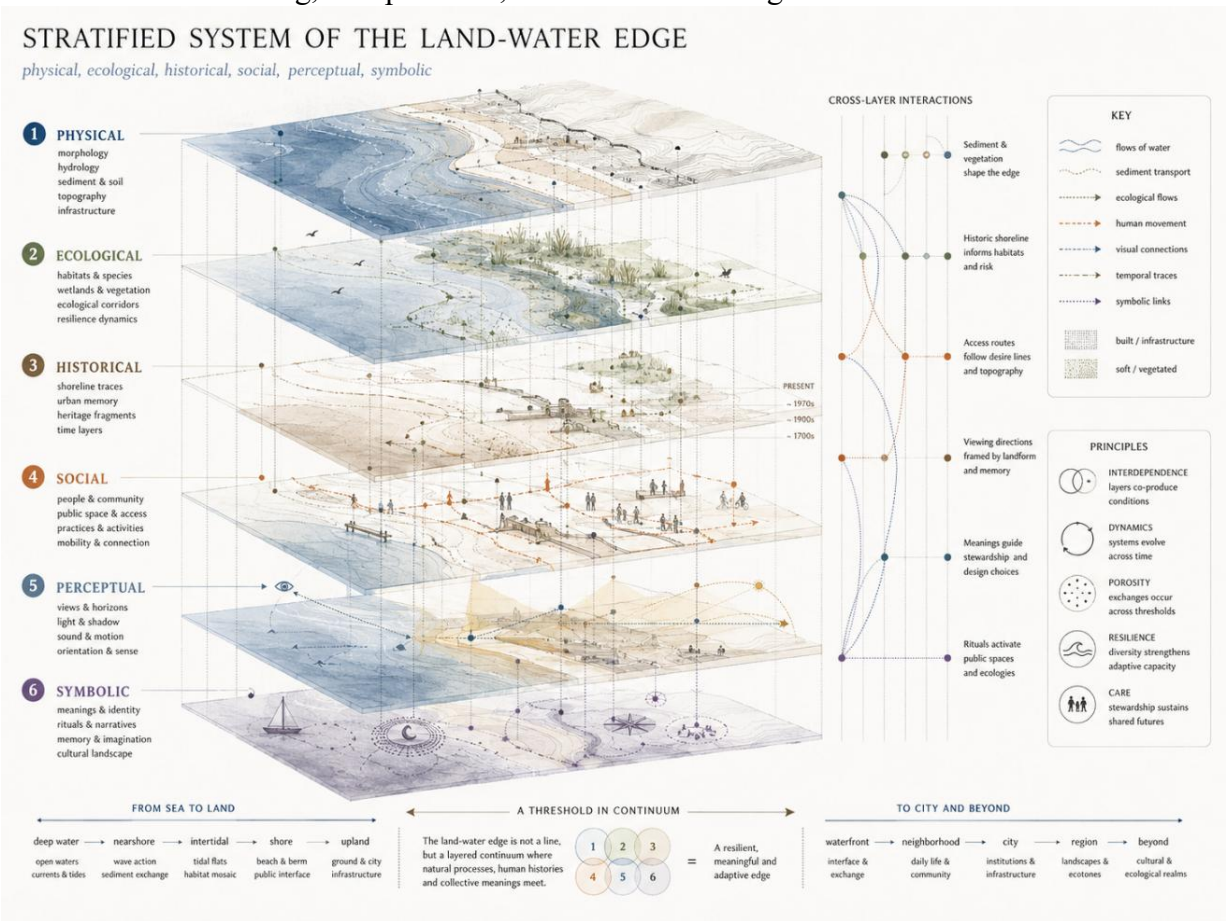


Fig 2. Stratified land–water edge as a porous, dynamic and adaptive threshold between sea, landscape and city. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

2.2. Literature and data sources

The study is based on a qualitative review of scientific, institutional, and technical sources related to:

- rare and complex coastal conditions;
- shoreline monitoring and erosion analysis;
- satellite-derived shoreline mapping;
- climate-risk assessment;

- digital twin technologies;
- artificial intelligence in architecture and environmental design;
- heritage risk management;
- ethical and governance frameworks for AI.

The main references include studies on shoreline detection and remote sensing, such as Christofi et al. (2025), Vos et al. (2023), and Zuo et al. (2025); institutional climate sources such as Copernicus Climate Change Service (2026), NASA (2026), and the European Environment Agency (2024); and methodological references on trustworthy AI such as the National Institute of Standards and Technology (2023) and the European Commission (2024).

2.3. Methodological structure

The research was developed through three main methodological steps.

The first step consisted in the theoretical interpretation of the coastal edge through the work of Vicari Aversa. This phase defined the edge as a threshold, a spatial thickness, and a dynamic condition between liquid and solid worlds.

The second step consisted in the analysis of contemporary AI-based tools applicable to coastal environments. These include satellite monitoring, remote sensing, computer vision, machine learning, shoreline detection algorithms, predictive models, and digital twins.

The third step consisted in the construction of a design-oriented interpretative framework. AI applications were not evaluated only for their technical efficiency, but for their architectural relevance: their capacity to support reading, design, adaptation, memory, ecological continuity, and human decision-making.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The land-water edge as theoretical foundation

The first result of the research concerns the theoretical status of the coastal edge. Vicari Aversa's work makes it possible to move beyond the idea of the coastline as a simple line of separation. The land-water edge is instead a threshold, a spatial thickness, and a condition of mutual definition between the terrestrial and the aquatic (Vicari Aversa, 2025).

The coast is shaped by water, but it also gives form to water. The city looks toward the sea, but the sea also defines the city's identity, orientation, memory, and spatial structure. This theoretical perspective is essential because it prevents the discussion on artificial intelligence from becoming purely technical.

If the edge were only a measurable line, AI would be reduced to a tool for extracting coastlines, mapping erosion, or calculating flood risk. These operations are important, but they do not exhaust the architectural meaning of the edge. The coast is also a cultural, perceptive, and symbolic space. It is made of memories, views, infrastructures, rituals, public spaces, and historical stratifications.

AI becomes useful precisely when it helps architecture hold these dimensions together. It allows the designer to connect the visible and the invisible, the measured and the remembered, the present configuration and the possible future transformation.

3.2. Climate vulnerability and the urgency of coastal intelligence

The second result concerns the climatic urgency of coastal design. The sea is no longer only a horizon, a resource, or a symbolic presence. It is also an active agent of risk. Sea-level rise, erosion, storm surges, flooding, salinization, and subsidence are transforming coastal settlements into increasingly unstable territories.

According to Copernicus Climate Change Service (2026), global mean sea level has risen at an average rate of 3.64 mm per year since 1999. NASA (2026) also confirms that sea-level rise is

accelerating when compared with the beginning of the satellite observation period. The European Environment Agency (2024) identifies coastal flooding as one of the most severe future climate risks for Europe.

For architecture, this produces a significant methodological shift. The coastal project can no longer be based only on the current condition of the site. It must engage with future scenarios. A waterfront redevelopment, a promenade, a museum, a public space, or a port infrastructure must be tested against possible transformations: higher water levels, more frequent flooding, erosion, saline intrusion, and the weakening of existing infrastructures.

In this context, AI does not eliminate uncertainty, but it helps to make uncertainty explicit. It can compare scenarios, identify vulnerable areas, detect morphological changes, and support decision-making processes. Its value lies in the capacity to transform uncertainty into a design parameter.

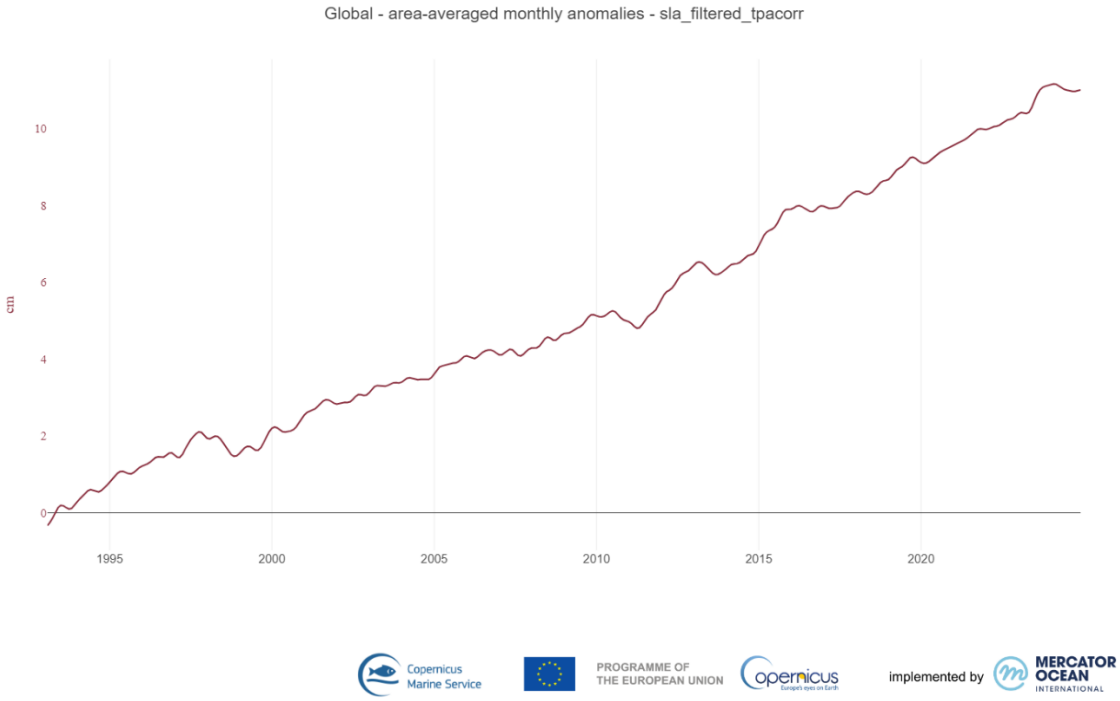


Fig. 3. Global area-averaged monthly sea-level anomalies from 1993 to the present, expressed in centimetres: the curve shows a continuous and progressive rise of more than 10 cm over the last three decades. Source: Copernicus Marine Service / Mercator Ocean International.

Table 1. Main climate risks affecting the coastal edge

Climate-related phenomenon	**Architectural implication**
Sea-level rise	Need for elevation, retreat, adaptive ground floors, and floodable spaces
Coastal erosion	Need for reversible structures, dune restoration, and sediment-aware design
Storm surges	Need for protective, hybrid, and nature-based systems
Flooding	Need for porous public spaces, drainage systems, and scenario-based planning
Saltwater intrusion	Need for ecological monitoring and protection of freshwater systems
Subsidence	Need for long-term monitoring and flexible infrastructure strategies

Extreme events	Need for resilient, adaptable, and quickly recoverable coastal spaces

Source: authors' elaboration.

3.3. AI as an operational tool: monitoring, mapping, and measuring the edge

The most immediate application of AI to the coastal edge concerns observation. Remote sensing, satellite imagery, UAV surveys, GIS platforms, LiDAR data, and computer vision make it possible to monitor coastlines over time and at multiple scales.

Recent research on shoreline detection demonstrates the relevance of machine learning and deep learning techniques for identifying the position and transformation of the coastline. Christofi et al. (2025) show that open remote sensing data, combined with GIS, UAV support, and AI-based segmentation models, can improve shoreline detection and coastal erosion monitoring. Models such as convolutional neural networks, U-Net architectures, and water segmentation algorithms allow the automatic distinction between land, water, sand, vegetation, and built structures.

Vos et al. (2023) compare satellite-derived shoreline mapping algorithms and demonstrate that these methods can reach useful levels of accuracy, particularly in microtidal environments. However, their work also shows that performance decreases in more complex tidal contexts. This is a crucial point for architectural research: AI does not produce absolute certainty. It produces situated knowledge, whose validity depends on local morphology, data quality, temporal resolution, and environmental conditions.

The architectural implication is clear. AI should not be used to simplify the coast into a single technical output. Rather, it should be used to reveal the variability of the edge. A coastline may appear stable in a drawing, but satellite time series can show progressive retreat, seasonal oscillation, or the impact of artificial infrastructures.

In this sense, AI transforms the survey into a dynamic process. The traditional architectural survey records a condition; AI-supported monitoring records a transformation. This distinction is fundamental for the design of coastal architecture.

3.4. From coastline extraction to morphological classification

A further development concerns the classification of coastal types. For architecture, it is not enough to know where the coast is. It is necessary to understand what kind of edge is being designed.

A sandy beach, a rocky cliff, a port basin, a historical waterfront, a reclaimed artificial shore, a lagoon margin, and a dune system all require different design attitudes.

Global and regional datasets supported by AI can help distinguish these conditions. Zuo et al. (2025) develop a global coastline dataset with a fine classification system at 30-meter resolution. Such work is significant because it demonstrates the possibility of recognizing the coast not as a generic boundary, but as a differentiated morphological system.

Classification becomes a design tool. If the coast is artificial, the project may involve retrofitting, permeability, re-naturalization, or infrastructural adaptation. If it is sandy and erosive, the project must consider retreat, dune restoration, or reversible structures. If it is historical, the central issue becomes the relation between adaptation and conservation. If it is ecological, the project must avoid interrupting habitats and sediment dynamics.

AI therefore supports a more precise interpretation of the land-water edge. It helps architecture move from the idea of the waterfront as an image to the idea of the edge as a system.

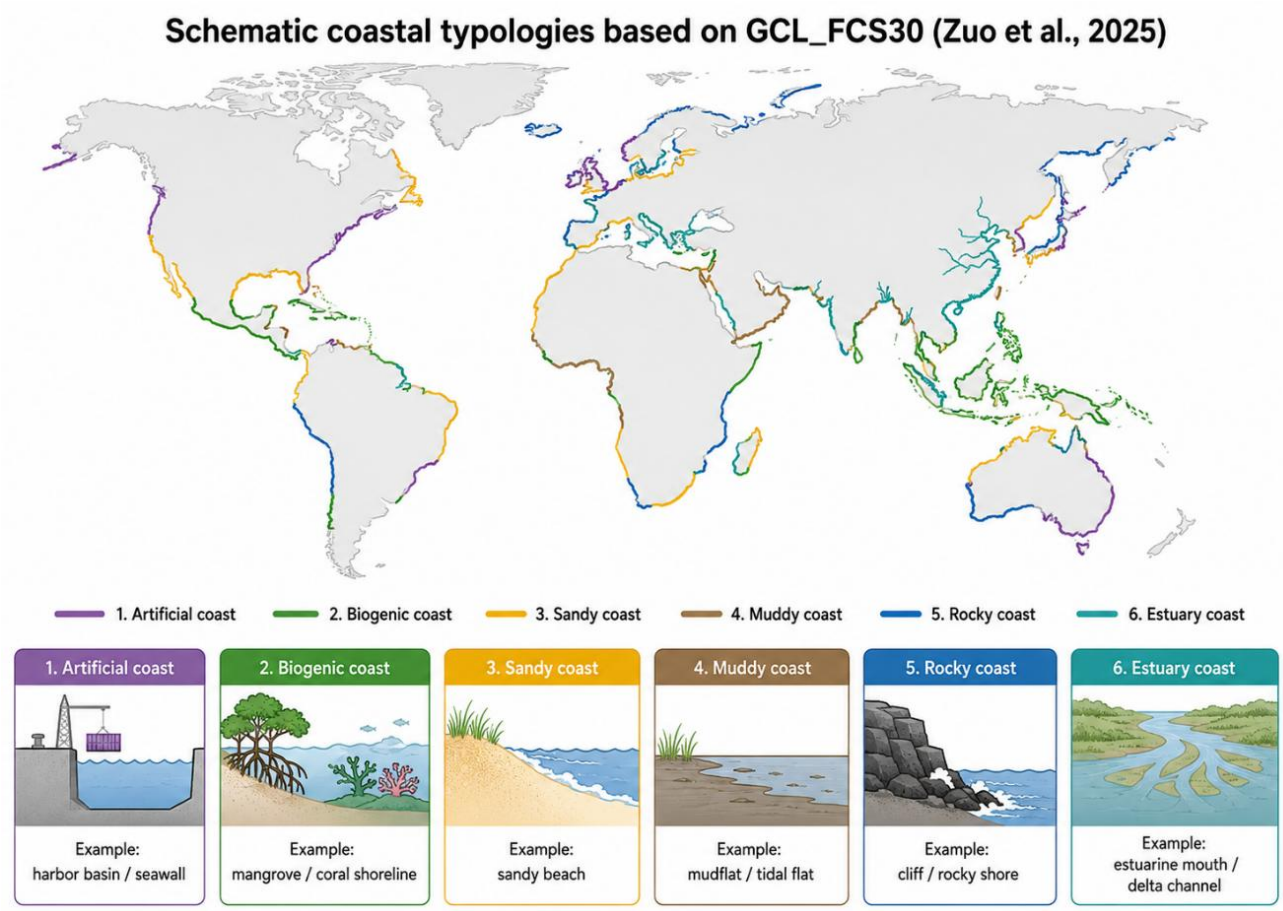


Fig. 4. Schematic representation of coastal typologies based on the GCL_FCS30 classification system, showing artificial, biogenic, sandy, muddy, rocky, and estuarine coastlines as distinct categories. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

Table 2. AI applications for the interpretation of the coastal edge

AI APPLICATION	FUNCTION	ARCHITECTURAL RELEVANCE
Satellite monitoring	Observes coastline change over time	Supports dynamic site reading
Shoreline detection	Identifies land-water boundaries	Measures erosion and transformation
Computer vision	Classifies water, land, sand, vegetation, and built areas	Reveals spatial complexity
Machine learning models	Recognize patterns and predict future conditions	Supports scenario-based design
GIS and remote sensing	Integrate spatial and environmental data	Connects architecture and territory
Digital twins	Simulate physical and environmental processes	Enables shared decision-making
Predictive modelling	Tests future climate scenarios	Transforms risk into a design parameter

Source: authors' elaboration.

3.5. Predictive models and scenario-based design

The next level of AI integration is prediction. Coastal design increasingly requires the ability to anticipate future conditions. Machine learning models can support the prediction of water levels, flood extent, erosion trends, and storm impacts.

The value of predictive AI for architecture lies not only in forecasting, but in enabling scenario-based design. A project can be tested against different future conditions: moderate sea-level rise, extreme storm surge, combined rainfall and coastal flooding, long-term erosion, or the failure of protective infrastructure.

This changes the logic of the project. The coastal building, public space, or infrastructure is no longer conceived as a final and closed object. It becomes part of an adaptive process.

Design decisions can be compared according to their performance under different scenarios: elevation strategies, porous ground floors, amphibious public spaces, reversible structures, ecological buffers, hybrid protections, or strategic retreat.

Risk is not external to the project; it becomes part of its generative logic. The architect does not simply respond to regulations or hazard maps, but actively works with uncertainty as a design material.

3.6. Digital twins as methodological infrastructure

The most comprehensive framework for integrating AI into coastal design is the digital twin. A digital twin is not merely a three-dimensional model. It is a dynamic digital representation of a physical system, continuously informed by data, simulations, and feedback.

In the context of the sea and the coast, digital twins can integrate satellite observations, sensor networks, oceanographic models, urban data, climate projections, and socio-ecological information.

The European Digital Twin Ocean represents one of the most advanced institutional examples of this approach. The European Commission (2026) defines it as a virtual replica of the ocean, fed by data from satellites, sensors, models, and other sources. It is intended to provide high-resolution and multidimensional analyses and forecasts, including physical, chemical, biological, socio-ecological, and economic dimensions.

This is highly relevant for architecture because it shows that the future of coastal design will depend increasingly on the integration of environmental data, modelling platforms, and decision-support systems.

A digital twin of the coastal edge could allow architects, planners, administrations, and communities to test project alternatives in a shared environment. It could simulate the impact of a new waterfront, the effectiveness of dune restoration, the vulnerability of a historical district, the flooding of public spaces, or the performance of an adaptive building envelope.

However, the digital twin must not be understood as a neutral or purely technical object. Its structure depends on what data are included, what variables are prioritized, what risks are considered acceptable, and whose interests are represented. For this reason, the digital twin must be critically designed. It must include not only physical data, but also cultural, social, and ecological layers.

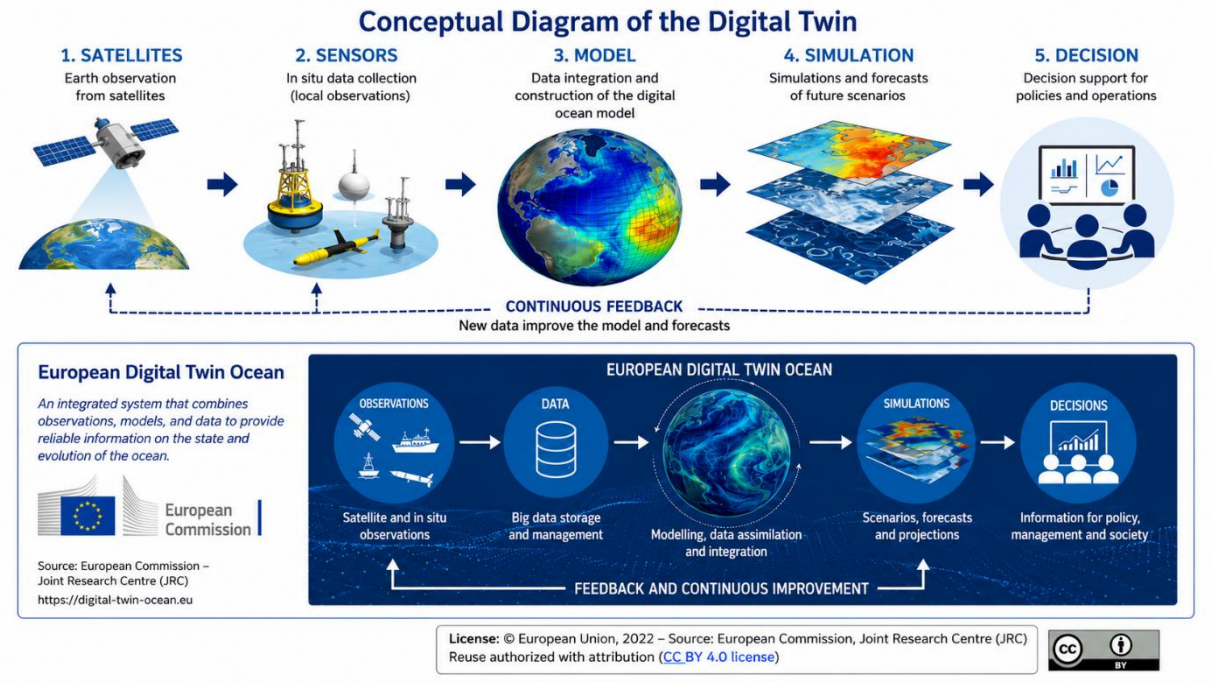


Fig. 5. Conceptual diagram of the Digital Twin Ocean, showing the continuous flow from satellite and sensor data to modelling, simulation, and decision-making for adaptive coastal and marine management. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

3.7. AI, heritage, and coastal memory

One of the most important contributions of Vicari Aversa's work is the insistence on memory. The edge is not only shaped by natural forces; it is also shaped by the history of cities, by their ways of approaching the sea, and by the architectural traces left over time.

Coastal architecture is therefore always an act of stratification. Every project adds a new layer to an existing relationship between city and water.

This is particularly evident in historical coastal cities. UNESCO World Heritage Centre (2025) identifies Mediterranean World Heritage cities as increasingly exposed to climate-related hazards, including extreme heat, flooding, storms, and, under future scenarios, sea-level rise. The cultural significance of these cities makes adaptation especially delicate.

AI can contribute to this task by supporting heritage risk mapping, preventive conservation, digital documentation, and monitoring. BIM, GIS, photogrammetry, remote sensing, and machine learning can be integrated to identify vulnerable buildings, simulate exposure, and prioritize interventions.

Yet the architectural challenge remains critical: heritage cannot be reduced to a risk layer. It is a living dimension of the city. An intelligent edge must therefore combine environmental intelligence with cultural intelligence. It must recognize that the value of a coastal site lies not only in its physical protection, but also in the continuity of its relationship with the sea.

3.8. Ecology and nature-based coastal adaptation

The ecological dimension is another essential component of intelligent edges. Contemporary coastal adaptation increasingly recognizes the limits of purely hard engineering solutions. Seawalls, barriers, and embankments can protect specific areas, but they may also transfer risk,

reduce ecological continuity, accelerate erosion elsewhere, or create rigid separations between city and water.

Nature-based and hybrid solutions offer alternative strategies: dune restoration, wetlands, coastal vegetation, oyster reefs, seagrass meadows, permeable public spaces, and adaptive landscapes.

AI can support these strategies by modelling their performance, comparing scenarios, and monitoring ecological change over time. It can help evaluate how vegetation affects erosion, how dunes respond to storms, how wetlands absorb water, or how hybrid systems perform under different sea-level scenarios.

From an architectural point of view, this means that the coastal edge should no longer be designed as a defensive line alone. It should be designed as a thick, adaptive, and ecological threshold.

Architecture can participate in this threshold through elevated structures, reversible materials, porous ground conditions, shaded public spaces, ecological corridors, and hybrid infrastructures that mediate between protection and openness.

Table 3. Design strategies for intelligent coastal edges

Strategy	Description	Role of AI
Reversible structures	Lightweight and removable architectural systems	Tests adaptability over time
Porous public spaces	Floodable and permeable urban surfaces	Simulates water flow and flood behaviour
Elevated architecture	Buildings raised above risk levels	Evaluates future sea-level scenarios
Nature-based buffers	Dunes, wetlands, vegetation, and ecological filters	Monitors ecological performance
Hybrid infrastructures	Combination of hard and soft protection systems	Compares alternative adaptation scenarios
Heritage-sensitive protection	Protection systems designed around cultural value	Integrates risk mapping and memory
Digital monitoring nodes	Sensors and data systems embedded in public space	Creates continuous feedback for design decisions

Source: authors' elaboration.

3.9. Governance, ethics, and the role of the designer

The integration of AI into coastal design raises significant ethical and political questions. AI systems used for planning, adaptation, risk mapping, or heritage protection can influence public decisions, investment priorities, and spatial transformations.

The National Institute of Standards and Technology (2023) identifies trustworthy AI as valid and reliable, safe, secure and resilient, accountable and transparent, explainable and interpretable, privacy-enhanced, and fair. These principles are particularly relevant for coastal design because decisions based on AI may affect communities, property, heritage, ecosystems, and public safety.

Transparency is essential. Designers and decision-makers must know what data were used, what assumptions structure the model, what uncertainties remain, and what limits affect the results.

Explainability is equally important: if a model identifies an area as vulnerable or recommends a specific adaptation strategy, the reasons must be understandable.
This point returns the discussion to architecture. The designer cannot become a passive user of computational outputs. The architect must interpret data, question assumptions, understand uncertainty, and translate information into spatial decisions.
AI can reveal patterns, simulate futures, and compare scenarios, but it cannot define the cultural meaning of a place, the value of a memory, or the public legitimacy of a transformation.
The intelligent edge is therefore not an automated edge. It is a critically governed edge. It is a place where artificial intelligence supports human judgment rather than replacing it.

4. CONCLUSION

This research has argued that artificial intelligence offers a significant opportunity to update the architectural theory of the land-water edge. Starting from Clara Stella Vicari Aversa's interpretation of the coastal margin as a dynamic threshold between liquid and solid worlds, the study has shown how AI can extend this theoretical framework into contemporary design practice.
The first conclusion is that the coastal edge must be understood as a complex and temporal system. It is not a fixed line, but a space of transformation, shaped by water, land, city, ecology, memory, and climate. This confirms the relevance of Vicari Aversa's work and provides the basis for a contemporary reinterpretation.
The second conclusion is that AI can operate on two complementary levels. As an operational tool, it supports monitoring, mapping, shoreline detection, erosion analysis, flood-risk assessment, and environmental observation. As a methodological infrastructure, it supports predictive modelling, scenario comparison, digital twins, adaptive design, and decision-making.
The third conclusion is that architectural design on the coast must become adaptive. The contemporary waterfront can no longer be conceived only as a representative urban front. It must be designed as a resilient, ecological, and scenario-based threshold. This implies new design strategies: reversible structures, porous public spaces, elevated or amphibious architectures, nature-based buffers, heritage-sensitive protection systems, and digital monitoring infrastructures.
The fourth conclusion concerns the cultural dimension of the edge. AI must not reduce the coast to a technical problem. The land-water threshold is also a place of memory, identity, perception, and collective life. For this reason, intelligent edges must integrate environmental data with cultural interpretation. They must protect not only buildings and infrastructures, but also the relationships that make coastal places meaningful.
The final conclusion is ethical. AI does not replace the architect. It amplifies the architect's capacity to read, interpret, and anticipate. Its usefulness depends on transparency, explainability, human oversight, and public responsibility.
An intelligent edge is therefore a coastal condition in which architecture, water, ecology, memory, and artificial intelligence are brought into relation. It is a way of designing with uncertainty rather than against it. It is a method for restoring complexity to the edge and for imagining a more conscious relationship between the city and the sea.

Research and Author Contributions:
This research represents also part of results carried out in departmental research laboratory *STRETT-ARCH_Strait Regeneration, Territory Transformation, Architecture* (Department of

Architecture and Design – *dAeD, UNIRC*) in which the authors are involved and in the joint convention between Universities *A.Ma.Te Sponde.*

Although the research is the result of the work carried out jointly by all the authors, the drafting of the essay is to be attributed differently to each of them: § Abstract; § 1. Introduction, § 2.1., § Conclusion, by C.S.V.A. and A.G.Q.; § 2.2, § 2.3, § 3. by A.G.Q.

REFERENCES

Ayadi, R., Forouheshfar, Y., & Moghadas, O. (2025). Enhancing system resilience to climate change through artificial intelligence: A systematic literature review. *Frontiers in Climate*.

Christofi, D., Mettas, C., Evagorou, E., Stylianou, N., Eliades, M., Theocharidis, C., Chatzipavlis, A., Hasiotis, T., & Hadjimitsis, D. (2025). A review of open remote sensing data with GIS, AI, and UAV support for shoreline detection and coastal erosion monitoring. *Applied Sciences, 15*(9), 4771.

Copernicus Climate Change Service. (2026). Climate indicators: Sea level. European Union. https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-level

European Commission. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence. *Official Journal of the European Union*.

European Commission. (2026). European Digital Twin Ocean. European Union. https://research-and-innovation.ec.europa.eu

European Environment Agency. (2024). *European climate risk assessment*. Publications Office of the European Union.

Jha, A. R. (2014). *Rare Earth Materials: Properties and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

National Aeronautics and Space Administration. (2026). Global mean sea level: Vital signs. NASA Sea Level Change Portal. https://sealevel.nasa.gov

National Institute of Standards and Technology. (2023). *Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0)*. U.S. Department of Commerce. https://airc.nist.gov

UNESCO World Heritage Centre. (2025). *Climate change in Mediterranean World Heritage cities*. UNESCO.

Vicari Aversa, C. S. (2025). *Architettura nell'illimitato bordo terracqueo / Architecture in the unlimited terracqueous edge.* Collana APeT_Architettura, Paesaggio e Territorio, dialoghi tra complessità e innovazione, Le Penseur Edizioni, Brienza.

Vos, K., Splinter, K. D., Palomar-Vázquez, J., Pardo-Pascual, J. E., Almonacid-Caballer, J., Cabezas-Rabadán, C., Kras, E. C., Luijendijk, A. P., Calkoen, F., Almeida, L. P., Pais, D., Klein, A. H. F., Mao, Y., Harris, D., Castelle, B., Buscombe, D., & Vitousek, S. (2023). Benchmarking satellite-derived shoreline mapping algorithms. *Communications Earth & Environment, 4*, Article 345.

Yao, J., et al. (2025). Artificial intelligence for sustainable architectural design. *Journal of Building Engineering*.

Yu, Y., Abu Raed, A., Peng, Y., Pottgiesser, U., Verbree, E., & van Oosterom, P. (2025). How digital technologies have been applied for architectural heritage risk management: A systematic literature review from 2014 to 2024. *npj Heritage Science*.

Zhang, H., & Zhang, R. (2025). Generative artificial intelligence in built environment design and planning: A state-of-the-art review. *Progress in Engineering Science*.

Zuo, J., Zhang, L., & Li, K. (2025). GCL_FCS30: A global coastline dataset with 30-m resolution and a fine classification system from 2010 to 2020. *Scientific Data*.

YAPAY ZEKÂ VE YEŞİL-MAVİ ALTYAPILAR: BOĞAZIN KARA-SU KIYILARININ UYARLANABİLİR YENİLENMESİ

Prof. Dr. Clara Stella VICARI AVERSA
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0002-7874-5486
Dr. Alessia G. QUATTRONE
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0003-0847-2512

ÖZET

Bu araştırma, Messina Boğazı'nı, kara ile su arasındaki sınırın durağan bir çizgi değil; hidrolojik, iklimsel, ekolojik ve toplumsal akışların kesiştiği dinamik bir eşik olduğu, kırılgan ve birbirine bağımlı bir bölgesel sistem olarak ele almaktadır. Reggio Calabria ile Messina arasında yer alan dere yatakları, kentsel su yolları, kıyı alanları, artık işlevini yitirmiş altyapılar ve yeterince kullanılmayan boşluklar, potansiyel bir yeşil-mavi koridorlar ağı olarak yorumlanabilir. Bu ağ, yağmur suyunun drenajını sağlayabilen, kentsel ısı adası etkisini azaltabilen, biyolojik çeşitliliği artırabilen, parçalanmış alanları yeniden birbirine bağlayabilen ve yeni yavaş kamusal mekân biçimleri üretebilen uyarlanabilir iklim altyapıları olarak işlev görebilir.

Bu çerçevede yapay zekâ, mimari tasarımın yerine geçen bir araç olarak değil, bilişsel bir altyapı olarak ele alınmaktadır. Uzaktan algılama, uydu görüntüleri, çevresel izleme sistemleri, hidrolik modeller, CBS haritalama ve dijital ikizlerin entegrasyonu; kara-su kıyılarında zaman içerisinde meydana gelen dönüşümlerin okunmasını, müdahale açısından öncelikli alanların belirlenmesini ve ölçülebilir tasarım senaryolarının oluşturulmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle yapay zekâ, alternatifleri karşılaştırabilen, riskleri değerlendirebilen ve belirsizlik koşulları altında uyarlanabilir stratejilere yön verebilen yorumlayıcı ve öngörücü bir araç olarak tasarım sürecini desteklemektedir.

Bu çalışma, birbiriyle bağlantılı üç aşamaya dayanan metodolojik bir çerçeve önermektedir: kırılgan kıyıların analitik olarak okunması; hidrolojik, ekolojik, iklimsel ve altyapısal süreksizliklerin haritalanması; ve yeşil-mavi koridorlara yönelik tasarım senaryolarının tanımlanması. Seçilmiş bir Fiumara-kıyı kesiti üzerinde gerçekleştirilen pilot çalışma aracılığıyla araştırma, kırılgan sınırların nasıl yenilenme, kamusal erişilebilirlik ve çevresel bakım için aktif araçlara dönüşebileceğini sınamaktadır.

Amaç, Boğazın kırılgan sınırlarını, hidrojeolojik hassasiyetleri absorbe edebilen ve bunları tasarım, uyum ve yaşanabilirlik açısından fırsatlara dönüştürebilen akıllı yeşil-mavi altyapılara dönüştürmektir. Bu bakış açısıyla kara-su kıyısı artık savunulması gereken bir sınır olarak değil; mimarlık, ekoloji, veri ve topluluk pratiklerinin iş birliği yapabileceği, sürekli dönüşen mekânsal bir kalınlık olarak ele alınmaktadır. Böylece Boğazın her iki yakası için dayanıklı, kapsayıcı ve sürdürülebilir bölgesel gelecekler hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, Yeşil-mavi altyapılar, Kara-su kıyısı, Messina Boğazı, Uyarlanabilir yenilenme, Dijital ikiz

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND GREEN-BLUE INFRASTRUCTURES: ADAPTIVE REGENERATION OF THE LAND-WATER EDGES OF THE STRAIT

ABSTRACT

This research investigates the Strait of Messina as a fragile and interdependent territorial system, where the margin between land and water is not a static boundary but a dynamic threshold crossed by hydrological, climatic, ecological, and social flows. Between Reggio

Calabria and Messina, riverbeds, urban streams, waterfronts, residual infrastructures, and underused voids can be interpreted as a potential network of green-blue corridors: adaptive climate infrastructures capable of draining stormwater, mitigating urban heat islands, increasing biodiversity, reconnecting fragmented spaces, and generating new forms of slow public space.
Within this framework, artificial intelligence is understood as a cognitive infrastructure rather than a substitute for architectural design. The integration of remote sensing, satellite imagery, environmental monitoring, hydraulic models, GIS mapping, and digital twins makes it possible to read the transformations of land-water edges over time, identify priority areas for intervention, and construct measurable design scenarios. AI therefore supports the project as an interpretive and predictive tool, able to compare alternatives, evaluate risks, and guide adaptive strategies under conditions of uncertainty.
The contribution proposes a methodological framework based on three interconnected phases: the analytical reading of vulnerable edges; the mapping of hydrological, ecological, climatic, and infrastructural discontinuities; and the definition of design scenarios for green-blue corridors. Through a pilot focus on a selected Fiumara-waterfront section, the research tests how fragile margins can become active devices for regeneration, public accessibility, and environmental care.
The aim is to transform the vulnerable borders of the Strait into intelligent green-blue infrastructures, capable of absorbing hydrogeological fragilities and translating them into opportunities for design, adaptation, and habitability. In this perspective, the land-water edge is no longer treated as a limit to be defended, but as an evolving spatial thickness where architecture, ecology, data, and community practices can cooperate, towards resilient, inclusive territorial futures for both shores of the Strait.
Keywords: Artificial intelligence, Green-blue infrastructures, Land-water edge, Strait of Messina, Adaptive regeneration, Digital twin



Figure 1. *The Strait of Messina as a land-water territorial system, highlighting the spatial relationship between Reggio Calabria and Messina and the role of the sea as a connective threshold rather than a separating boundary. (*Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

1. INTRODUCTION

The Strait of Messina represents one of the most complex territorial and symbolic landscapes in the Mediterranean. Its identity is not defined only by the short distance between the Calabrian and Sicilian coasts, nor exclusively by the visual tension between Reggio Calabria and Messina. It is determined by a deeper condition of interdependence: a system of marine, hydrological, climatic, ecological, infrastructural, and social relationships that continuously transform the threshold between land and water. As early as the beginning of the twentieth century, Giustino Fortunato described Calabria as 'a hanging landslide over the sea' (cited in Comune di Reggio Calabria, 2023), an image that effectively conveys the structural fragility of a geologically young territory, steeply sloping and subject to continuous morphological change.

In this context, the land-water margin cannot be interpreted as a fixed line. It is not only a waterfront, nor exclusively a defensive boundary against environmental risk. Rather, it is a dynamic spatial thickness, crossed by flows, discontinuities, vulnerabilities, and latent possibilities. This condition recalls the idea of a terraqueous edge without rigid margins, understood not as a line of separation but as a threshold in continuous transformation (Vicari

Aversa, 2025). The Strait is therefore a threshold territory: between sea and land, between two regions, between urbanization and landscape, between risk and habitability.

Reggio Calabria and Messina, although belonging to different administrative and regional contexts, share an analogous geographical condition. Both cities are compressed between uplands and sea; both are structured by linear coastal infrastructures; both are crossed by short, steep, and often intermittent watercourses. On the Calabrian side, these watercourses take the form of *fiumare*: broad torrential riverbeds, dry or almost dry for long periods and suddenly activated during intense rainfall events. On the Sicilian side, Messina is crossed by a dense system of streams and hydrographic channels that descend rapidly from the hills toward the coast.

Over time, many of these hydrological structures have been reduced, channelized, culverted, interrupted, or perceived mainly as residual spaces and hydraulic problems. The progressive urbanization of the coastal strip has weakened the legibility of the relationship between mountain, city, and sea. As a result, the ecological structure of the territory, which crosses the coast perpendicularly, has often been subordinated to longitudinal infrastructures such as roads, railways, and coastal developments.

This contribution proposes a different interpretation. The *fiumare* of Reggio Calabria and the urban streams of Messina should not be considered only as spaces of risk, marginality, or infrastructural discontinuity. They can instead be reinterpreted as green-blue corridors: adaptive ecological infrastructures capable of reconnecting fragmented urban systems, managing stormwater, mitigating heat, improving biodiversity, and generating new forms of public space. The European Environment Agency recognizes urban green and blue infrastructure as a relevant strategy for reducing the impacts of climate change, including heat waves, floods, and droughts, while also improving well-being, environmental quality, and risk reduction (European Environment Agency, n.d.). From this perspective, green-blue corridors are not simple environmental amenities, but structural components of urban and territorial resilience.

The research takes the Strait of Messina as a laboratory for this approach. On the Calabrian side, the contribution focuses on the hypothesis of regenerating the seven main fiumare of Reggio Calabria — Catona, Gallico, Annunziata, Calopinace, Sant'Agata, Armo, and Valanidi — as a green-blue framework capable of connecting uplands, urban districts, and waterfronts. On the Sicilian side, Messina's streams and urban riverbeds are read as complementary structures within the same territorial strategy.

The innovative dimension of the research lies in the integration of artificial intelligence within this process. AI is not considered an automatic project generator, nor a substitute for architectural and landscape design. It is understood as a cognitive infrastructure: a system capable of collecting, processing, comparing, and visualizing complex territorial data. Through satellite imagery, remote sensing, GIS mapping, hydraulic modeling, environmental sensors, and digital twins, AI can support the identification of vulnerable areas, risk assessment, and the construction of adaptive design scenarios.

The central research question is therefore the following: how can the vulnerable land-water margins of the Strait of Messina be transformed into smart green-blue corridors through the integration of ecological design and artificial intelligence?

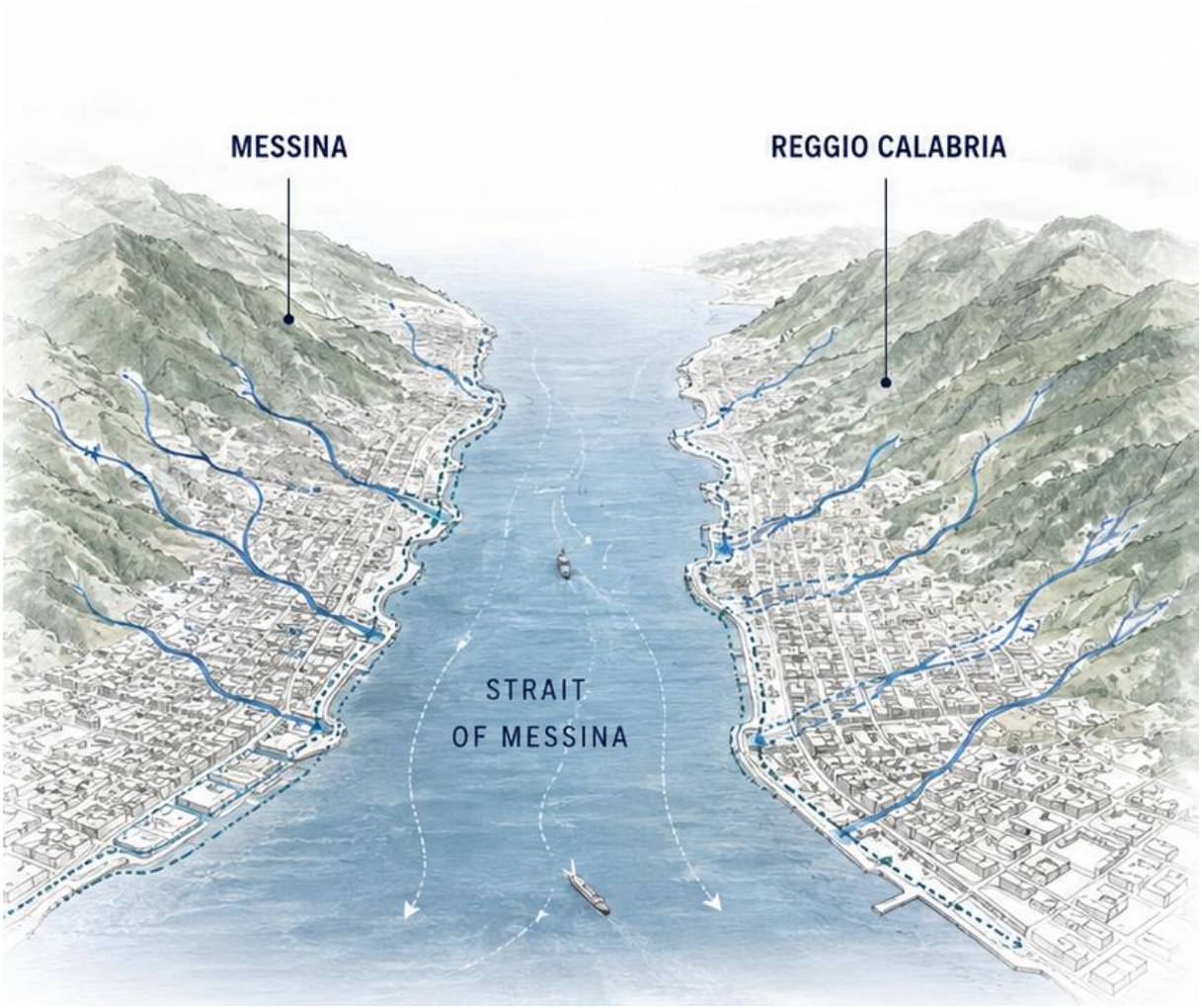


Figure 2. *Conceptual representation of the Strait of Messina as an interconnected territorial system, highlighting the urban fronts of Messina and Reggio Calabria, the hydrographic network, coastal edges, and the continuous relationship between land and water. (*Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Theoretical framework

The research is based on a theoretical and interpretive framework derived from Clara Stella Vicari Aversa's work on the terracqueous edge. Her concept of the terracqueous limit is adopted as the primary critical foundation for understanding the coast not as a line of separation, but as a spatial thickness (Vicari Aversa, 2025).

Alongside this theoretical framework is the concept of green-blue infrastructure, which arises from the need to overcome the separation between urban systems and natural systems. Green infrastructures include parks, urban woodlands, tree-lined avenues, gardens, agricultural areas, ecological networks, and vegetated surfaces; blue infrastructures include rivers, streams, wetlands, canals, coasts, basins, and devices for stormwater management. When integrated, these components form ecological networks capable of providing multiple ecosystem services.

The land-water margin is therefore interpreted as a stratified system composed of:

physical and morphological transformations of riverbeds and coasts;

hydrological and ecological processes;

urban and infrastructural conditions;

cultural and historical memory of places;
perceptual and symbolic relationships with water;
climatic vulnerabilities and future risk scenarios.
This framework allows the research to avoid a purely technological interpretation of artificial intelligence. AI is not considered an autonomous project generator, but a support system for architectural reading, interpretation, and decision-making, consistent with the idea of cognitive infrastructure recalled in the introduction.

2.2. Sources and data

The study is based on a qualitative review of scientific, institutional, and technical sources relating to:
civil protection planning and regional hydrogeological management;
hydrographic monitoring and basin classification;
urban green and blue infrastructures from a climate-adaptation perspective;
digital twin technologies applied to urban and coastal contexts;
recent design cases on the Messina shore of the Strait;
the theoretical framework of the terracqueous edge developed by Vicari Aversa.
The main references include Calabrian municipal planning (Comune di Reggio Calabria, 2023) and data from the Regional Cartographic Center (Regione Calabria, n.d.) for the Calabrian shore; the study on hydraulic hazard in the Messina streams (Aronica et al., 2013) for the Sicilian shore; institutional sources on green-blue infrastructure (European Environment Agency, n.d.); methodological literature on urban digital twins (Fuller et al., 2020; Kalfas et al., 2025; Van der Jeugt, 2024; Villani et al., 2025); and journalistic and academic documentation concerning the pedestrianization project for viale Boccetta in Messina (D'Amico 2023; Tempostretto, 2023; Gentile Patti, 2026).

2.3. Methodological structure

The research was developed through six methodological phases.
The first phase is the construction of a territorial atlas of the Strait. This atlas gathers spatial, environmental, hydrological, infrastructural, and climatic data relating to both shores. It includes *fiumare,* streams, river mouths, waterfronts, residual spaces, vegetation, public spaces, infrastructures, and risk areas.
The second phase is the mapping of existing and potential green-blue corridors. On the Calabrian side, this phase focuses on the seven *fiumare* of Reggio Calabria. On the Sicilian side, it focuses on Messina's urban streams and coastal margins. The aim is to identify not only the watercourses, but also their relationships with neighborhoods, public services, mobility systems, and open spaces.
The third phase is the analysis of vulnerabilities and discontinuities. It includes hydraulic vulnerability, soil sealing, lack of vegetation, urban heat-island conditions, ecological fragmentation, poor accessibility, and infrastructural barriers. This phase also relies on the existing regulatory framework: following Law no. 267 of 1998, Calabria adopted a Regional Hydrogeological Management Plan in 2001, which maps areas at high or very high landslide and flood risk (Comune di Reggio Calabria, 2023). The PAI boundaries, together with tools already in place such as the River Contract for the Sant'Agata fiumara, constitute an existing knowledge base on which AI-supported analysis can be grafted.
The fourth phase is AI-supported interpretation. Remote sensing, GIS analysis, classification algorithms, environmental data, and hydraulic models are used to identify priority areas and possible transformations, enabling a shift from descriptive mapping to predictive and evaluative mapping.

The fifth phase is the construction of design scenarios. The scenarios are not rigid masterplans, but alternative configurations that can be compared and evaluated; they may include ecological restoration, permeable surfaces, rain gardens, shaded paths, temporary basins, public spaces, cycle paths, monitoring devices, and micro-architectures.

The sixth phase is adaptive verification. The scenarios are assessed through measurable indicators: increase in permeable surfaces, reduction in surface temperature, improvement in ecological continuity, reduction in hydraulic vulnerability, accessibility to public space, increase in shaded areas, and strengthening of biodiversity. This structure allows the design process to become iterative: the project does not end with the drawing of a final form, but continues through monitoring, evaluation, and adaptation.

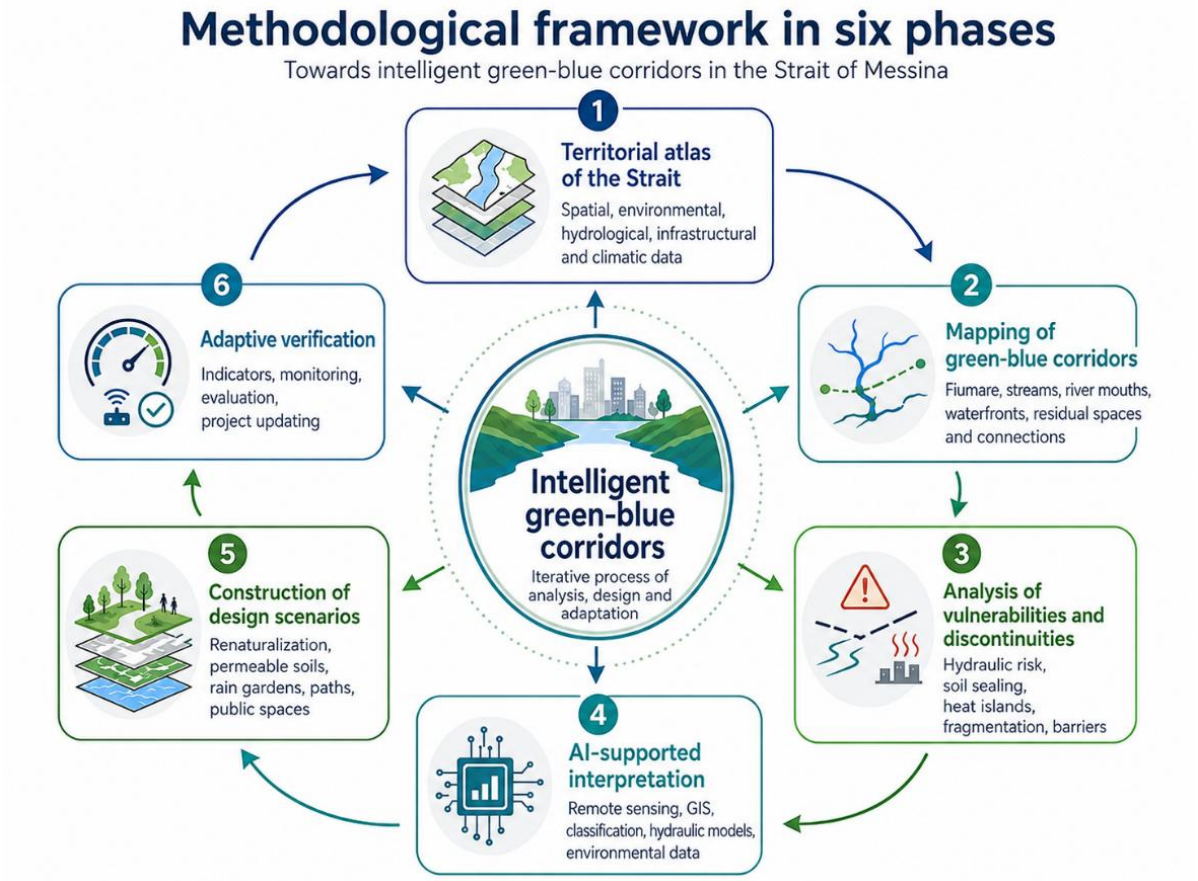


Figure 3. *Six-phase methodological framework for intelligent green-blue corridors: an iterative process integrating territorial atlas construction, corridor mapping, vulnerability assessment.* (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The land-water margin as a theoretical foundation applied to the Strait

The first result of the research concerns the theoretical status of the land-water margin. The work of Vicari Aversa makes it possible to overcome the idea of the coastline as a simple boundary of separation: the Strait of Messina is interpreted here not as a separation between two shores, but as a unitary territorial system in which the sea is not only a limit but a relational space capable of connecting visual, climatic, ecological, and cultural dynamics. The two shores are different, but they share analogous vulnerabilities and complementary spatial structures (Vicari Aversa, 2025).

The Calabrian and Sicilian slopes are both characterized by a strong compression between uplands and sea, which has generated linear urban forms in which the coastal strip becomes the main space of settlement, mobility, and representation. In relation to this longitudinal structure, *fiumare* and streams introduce a direction that crosses the territory from the hills toward the sea, intersecting urban fabrics and infrastructural systems: they are therefore key elements for reconnecting the coast with the inland landscape, with an importance that is not only hydraulic but also morphological and ecological.

This direction, proper to watercourses, makes it possible to rebalance the urban geography of the Strait. Instead of reading the city only through the waterfront, the research proposes reading it through a sequence of land-water sections: upland, riverbed, neighborhood, infrastructure, river mouth, and sea. The Strait can thus be understood as a field of parallel systems — the coast, roads, railway, waterfront — and of systems that cross it — *fiumare,* streams, ecological corridors, hydrographic basins. The regeneration of the Strait depends on the capacity to reconnect these two logics.

The concept of Blue-Green Infrastructure (BGI) provides an operational counterpart to this theoretical reading. Unlike traditional grey infrastructures, often designed to perform a specialized function, green-blue infrastructures operate through spatial integration: a rain garden can simultaneously be a drainage device, a habitat for biodiversity, an educational space, and an element of urban design; a vegetated bank can reduce hydraulic vulnerability, provide shade, improve landscape continuity, and become a public route. Their value lies precisely in this multifunctional nature. Urban alleys, historically relegated to back-of-house service, waste storage, and vehicular access, represent a vast, underutilized footprint in high-density cities. Reclaiming these corridors through Blue and Green Alley initiatives converts passive, impermeable surfaces into active ecological and civic infrastructure (Vicari Aversa, Sennyey, Fazia, 2026). Blue-Green Infrastructure (BGI) and its building-scale application, Blue-Green Architecture (BGA), enhance urban environments beyond extreme weather mitigation by providing continuous ecological, hydrological, and societal benefits. Principal benefits are: Environmental & Urban Enhancements, BGI improves day-to-day city life by boosting biodiversity, supporting groundwater recharge through natural infiltration, expanding recreational space for communities, and fostering a green building culture; Building-Scale Integration (BGA) BGA applies BGI principles directly to individual structures and their immediate surrounding open spaces—rather than large-scale urban features like parks or rivers—by combining comprehensive vegetation with sustainable water management to maximize ecological and climatic performance (Well, Ludwig, 2021).

For the Strait, such devices do not need to be invented *ex novo:* they already exist in latent form in the *fiumare,* streams, riverbeds, river mouths, and residual spaces along the infrastructures. The challenge is not only to create new green infrastructures, but to recognize and reactivate the hydrological and ecological structure already present in the territory, overcoming a purely defensive relationship with water: hydraulic risk reduction remains essential, but it must not be separated from urban regeneration, ecological continuity, and the design of public space. The green-blue corridor thus becomes, at the same time, a spatial device and a methodological device, capable of making design operate at multiple scales: from the hydrographic basin to the urban block, from the waterfront to the hillside, from hydraulic modeling to architectural detail.

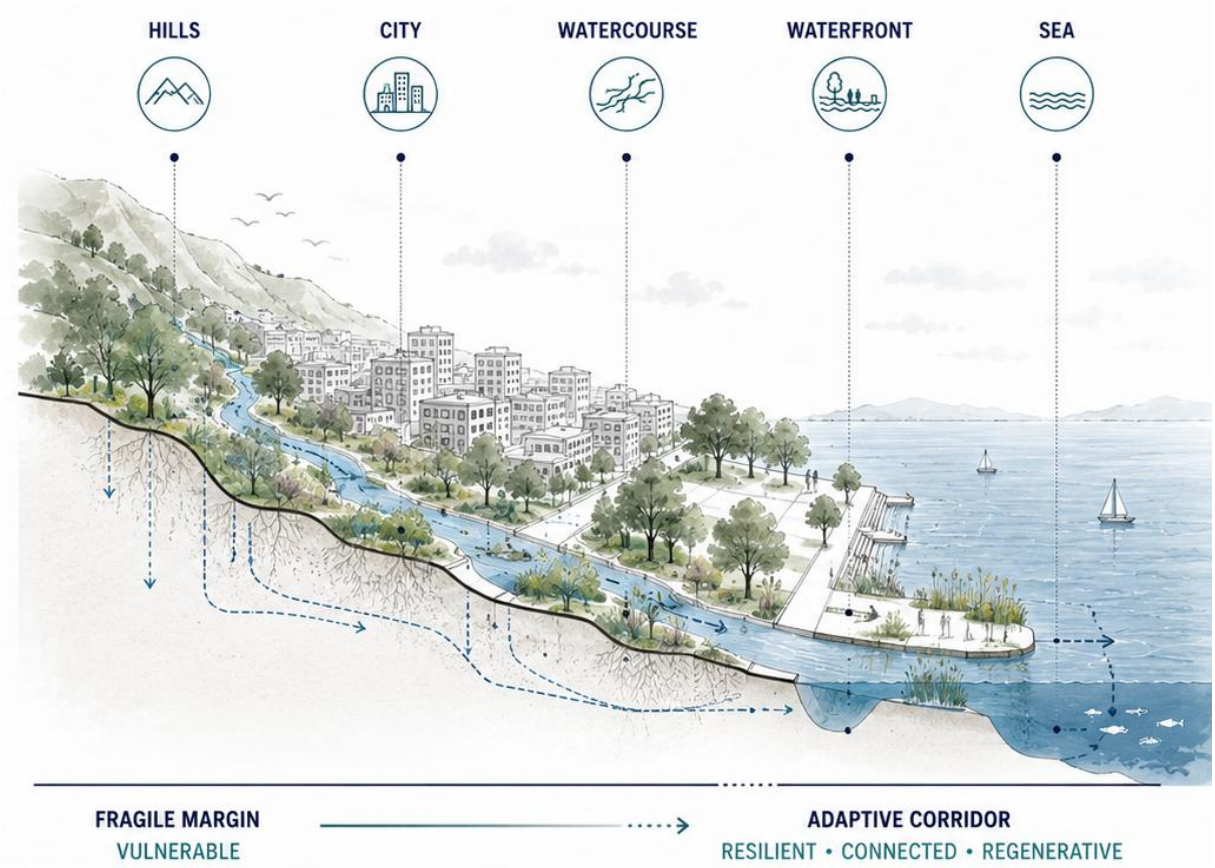


Figure 4. *Conceptual section of the land–water continuum, illustrating the transformation of the fragile urban margin into an adaptive green-blue corridor connecting hills, city, watercourses, waterfront, and sea through integrated hydrological, ecological, and public-space systems.* (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

3.2. Hydrogeological vulnerability and climate urgency

The role of artificial intelligence becomes crucial in this process because the Strait is neither a simple nor a stable territory. Its environmental conditions vary over time: rainfall events, surface temperatures, vegetation cover, soil sealing, coastal transformations, and hydraulic risks must be dynamically monitored and interpreted. A static map is not sufficient; the project requires a living and updatable knowledge system.

The extent of this instability is documented by civil-protection planning data: over the last fifty years Calabria has recorded 523 flood events, with 227 affected locations (Comune di Reggio Calabria, 2023, p. 134). Another relevant datum concerns the relationship between the artificialization of riverbeds and the intensity of damage: the cementing of banks and the excavation of riverbeds have not eliminated risk, but have changed its nature, making floods less frequent but significantly more destructive (Comune di Reggio Calabria, 2023). This empirical datum supports, in evidential terms, the design hypothesis of selective renaturalization discussed later: channelizing a watercourse does not reduce its energy, it concentrates it elsewhere.

The fragility of the Strait is not only hydraulic: in Calabria, 67% of the coast is classified as being at very high erosion risk, with peaks of 64% along the Tyrrhenian coastline, where urban settlements built close to the shoreline have interrupted the natural supply of sediments from inland areas (Comune di Reggio Calabria, 2023). River mouths therefore become the point

where fluvial vulnerability and coastal vulnerability overlap, which is precisely why they deserve specific design attention, as discussed in the Messina case in paragraph 3.5.

3.3. AI as an operational tool: monitoring, mapping, and measurement

The central methodological contribution of the research is the integration of artificial intelligence into the design process. AI is not treated as a stylistic tool or as an automatic producer of architectural forms: it is understood as a cognitive infrastructure, a system that supports the collection, interpretation, simulation, and monitoring of complex spatial data.

The design of green-blue corridors requires the integration of many forms of knowledge: hydrology, ecology, urban morphology, climate, mobility, public space, landscape perception, and social accessibility. These levels are dynamic and interdependent; for this reason, traditional static mapping is not sufficient.

Artificial intelligence can support the project in several ways. Remote sensing and satellite imagery can be used to detect changes in land cover, vegetation density, soil sealing, surface temperatures, and the presence of water. GIS analyses can map the relationships between watercourses, urban fabrics, infrastructures, public services, and open spaces. Hydraulic models can simulate flood scenarios and identify vulnerable sections. Environmental sensors can provide real-time data on temperature, humidity, air quality, water levels, and vegetation conditions. Finally, AI algorithms can process these data to identify patterns, classify surfaces, compare scenarios, and signal priority intervention areas: machine-learning models can support the recognition of impervious surfaces, the identification of heat islands, the recognition of ecological discontinuities, and the assessment of accessibility deficits.

Table 1. Applications of artificial intelligence for interpreting the land-water margin.

AI application	Function	Architectural relevance
Satellite remote sensing	Detects changes over time in land cover, vegetation, and presence of water	Supports a dynamic reading of the site
GIS analysis	Integrates spatial and environmental data on fiumare, streams, and urban fabric	Connects architecture and territory
Hydraulic models	Simulate flood scenarios and identify vulnerable sections	Transforms risk into a design parameter
Machine-learning algorithms	Recognize patterns, classify surfaces, identify heat islands	Supports scenario-based design
Environmental sensors	Provide real-time data on temperature, humidity, and water levels	Enables continuous monitoring
Digital twin	Simulates the physical and environmental processes of the entire Strait system	Enables shared decisions among institutions and communities

Source: authors' elaboration.

As Table 1 shows, each tool contributes to a different component of the reading of the land-water margin, from physical measurement to shared decision-making. Their integration, more than any single technology, is what makes the transition from a static representation to an updatable knowledge system operational.

3.4. Reggio Calabria: the seven fiumare as a green-blue framework

On the Calabrian side, Reggio Calabria represents a central case for the construction of smart green-blue corridors. The city is deeply marked by the presence of the fiumare: these watercourses have shaped the morphology of the territory, the location of neighborhoods, the structure of crossings, and the relationship between uplands and coast.

The Municipal Civil Protection Plan of the Municipality of Reggio Calabria identifies a complex hydrographic network (Comune di Reggio Calabria, 2023). In the section dedicated to the hydrographic system, the document lists several watercourses, including the Fiumara Calopinace, the Fiumara Sant'Agata, the Fiumara Armo, and the Fiumara Valanidi; it also identifies Catona, Gallico, Sant'Agata, Valanidi, and Annunziata among the fiumare that structure the municipal landscape by extent (Comune di Reggio Calabria, 2023). Starting from this hydrographic structure, the research selects seven fiumare as operational design corridors: Catona, Gallico, Annunziata, Calopinace, Sant'Agata, Armo, and Valanidi.

This selection is not intended to reduce the complexity of the local hydrographic system, which includes additional streams, tributaries, and secondary channels. Rather, it defines a strategic framework for interpreting the city through a sequence of green-blue infrastructures that cross the urban fabric from mountain to sea.

Data from the Regional Cartographic Center of the Calabria Region make it possible to quantify this hydrographic hierarchy (Regione Calabria, n.d.). The Fiumara di Catona has the largest basin, with approximately 68.5 km² and an average elevation of 646 meters above sea level; it is followed, in order of extent, by the fiumare of Gallico, Calopinace, and Sant'Agata, all between 52 and 60 km². The Valanidi and Annunziata fiumare have intermediate basins, while the Armo fiumara and the remaining minor watercourses of the municipal territory — Macellari, Fiumarella di Lume, Fiumetorbido, Vallone Menga, Scaccioti, San Giovanni, and Vallone Carro e Quattroni — cover progressively smaller areas, down to approximately 2.2 km² for the smallest basin. Table 1 reports area, perimeter, average slope, and average elevation above sea level for the set of fourteen hydrographic basins affecting the municipal territory of Reggio Calabria.

Table 2. Hydrographic basins affecting the city of Reggio Calabria, ordered by area.

Basin name	Area (m²)	Perimeter (m)	Average slope (%)	Average elevation a.s.l. (m)
Fiumara di Catona	68.479.345,6	55.061,46	33,60	646,06
Fiumara di Gallico	59.629.003,4	49.694,50	39,02	716,84
Fiumara Calopinace	53.459.621,4	44.502,65	33,13	791,51
Fiumara di S. Agata	52.331.894,9	54.256,07	37,38	854,48
Fiumara Valanidi	29.072.929,8	40.774,39	33,34	657,19

Fiumara dell'Annunziata	22.522.236,7	38.595,31	35,33	647,73
Fiumara d'Armo	15.053.626,6	20.959,18	37,27	378,81
Fiumara di Macellari	8.295.036,0	17.021,64	28,83	380,53
Fiumarella di Lume	8.156.448,5	16.888,21	30,98	260,04
Torrente Fiume torbido	7.755.442,3	17.310,43	42,26	373,64
Vallone Menga	7.364.060,4	17.431,88	18,26	147,62
Torrente Scaccioti	7.308.640,5	15.234,04	38,46	342,57
Fiumara di S. Giovanni	5.958.389,5	15.256,90	27,51	385,43
Vallone Carro e Quattroni	2.245.976,0	6.891,11	23,87	122,03

Source: authors' elaboration based on data from the Regional Cartographic Center, Calabria Region (Regione Calabria, n.d.).

This dimensional hierarchy confirms the choice of the seven largest fiumare — Catona, Gallico, Calopinace, Sant'Agata, Valanidi, Annunziata, and Armo — as priority design corridors, without excluding the possibility that smaller basins may be integrated in later phases as secondary nodes of the same ecological framework.

The hypothesis is to transform these seven fiumare into a new ecological and climatic framework for Reggio Calabria. This implies an interpretive shift: the fiumare are no longer considered only as hydraulic channels, residual voids, or risk areas, but as spatial devices capable of reconnecting urban neighborhoods, increasing permeability, hosting vegetation, supporting biodiversity, and generating accessible public spaces.

Catona can be read as a northern ecological corridor, capable of connecting the hillside landscape with coastal settlements. Gallico, due to its scale and territorial relevance, can become a major green-blue axis in the northern part of the city, integrating slow mobility, vegetation, and stormwater management. Annunziata, in relation to the consolidated urban fabric, can be interpreted as a corridor of hydrological memory, in which the presence of water can be made visible even where it has been reduced, hidden, or interrupted.

Calopinace occupies a central position in the history and urban morphology of Reggio Calabria and can become a strategic climate corridor, capable of linking infrastructural spaces, dense areas, and the waterfront. Sant'Agata can function as a southern urban-ecological connector, while Armo and Valanidi can structure a sequence of green-blue corridors related to the southern districts, the airport area, and the wider landscape system.

The regeneration of the seven fiumare should not be conceived as a uniform project. Each fiumara has its own morphology, a different degree of urbanization, a specific ecological condition, a particular hydraulic vulnerability, and different relationships with surrounding neighborhoods. In more open and less urbanized stretches, the priority may be ecological restoration, vegetation, and the controlled expansion of water. In more urbanized stretches, the project can focus on permeable surfaces, shaded paths, rain gardens, and the improvement of

crossings. In culverted or less visible stretches, the project can work through memory, signage, digital layers, and the symbolic re-emergence of the trace of water.

From a design perspective, the seven fiumare could host a shared grammar of interventions: vegetated buffer strips, rain gardens, permeable pavements, shaded pedestrian and cycle paths, temporary basins, observation points, educational devices, lightweight pavilions, and environmental monitoring stations. These elements must not improperly occupy the riverbeds, but work with their hydraulic and ecological conditions. The tragic flood of Soverato on 12 September 2000, caused by the presence of a campsite near the Beltrame stream (Comune di Reggio Calabria, 2023), dramatically recalls the consequences of the improper occupation of fluvial spaces and justifies a cautious, reversible approach always subordinated to hydraulic safety.

The seven fiumare would thus become the Calabrian contribution to a broader strategy for the Strait: seven flexible ecological devices capable of connecting risk reduction, ecological regeneration, public space, and artificial intelligence.



Figure 5. *The seven main fiumare of Reggio Calabria as a potential green-blue territorial framework: transverse ecological corridors linking the inland slopes, urban fabric and coastal edge.* (Source: Saverio Autellitano, http://ilsalli.altervista.org/)

3.5. Messina: urban streams and coastal margins as complementary corridors

On the Sicilian side, Messina presents a different but complementary condition. The city is crossed by a dense system of streams and hydrographic channels that descend from the hills toward the sea. Many of these watercourses interact directly with urbanized areas, road systems, bridges, culverts, and coastal infrastructures.

The hydraulic hazard assessment prepared by the Municipality of Messina and the Department of Civil Engineering of the University of Messina examines the Galati, Mili, Larderia, Zafferia, San Filippo, Cumia-Bordonaro, Bisconte-Catarratti, and Papardo streams (Aronica et al., 2013). The study was developed in response to flood and landslide events that affected the municipal territory, with the aim of analyzing hydraulic hazard conditions, particularly in the areas identified as attention sites within the hydrogeological planning framework (Aronica et al., 2013).

The Messina case highlights the need to consider torrential systems as part of urban regeneration strategies. The problem concerns not only the occurrence of extreme events, but

the long-term relationship between watercourses and urbanization: narrowed sections, infrastructures, crossings, sediment accumulation, and discontinuities can increase vulnerability and reduce the ecological value of streams.

Like the fiumare of Reggio Calabria, Messina's streams can also be interpreted as latent ecological infrastructures. Their regeneration, however, must respond to specific local conditions. In dense urban contexts, complete renaturalization may be limited; nevertheless, adaptive interventions can be introduced: increasing soil permeability near stream corridors, strengthening vegetated strips, redesigning crossings, creating shaded public paths, improving the relationship between river mouths and the waterfront, and monitoring critical hydraulic sections.

River mouths play a particularly important role. They are thresholds where internal hydrological systems meet the sea. In many cases, these spaces are fragmented, infrastructural, or poorly accessible. Their redesign could transform them into ecological gates, educational landscapes, or climate-sensitive public spaces.

A concrete case shows how this reinterpretation of river mouths is already present, albeit informally, in the Messina debate. In 2023 a group of architects — Claudio and Massimo De Francesco, Maria Grazia Mondello, and Clara Stella Vicari Aversa, the latter acting as consultant — submitted to the Municipality of Messina a proposal for the pedestrianization of viale Boccetta, with the aim of restoring to the mouth of the stream of the same name a public outlook over the port, in continuity with the ancient tree-lined promenade known as the *Rambla del Boccetta,* active in the past (D'Amico, 2023; Ed staff Tempostretto, 2023). In fact, from the 1930s to the early 1970s, Viale Boccetta in Messina featured a magnificent central tree-lined promenade with palm trees, flowerbeds, and benches. This Rambla was demolished and transformed into a major traffic hub and expressway following the construction of the highway junction inaugurated in 1972. The view that Viale Boccetta should not remain as it is at present – merely a key hub for traffic and motorway links – is shared by many, yet the situation remains unresolved and the area is still in limbo, and even dangerous (Ed. Staff Letteraemme, 2023). The project, still not implemented three years later (Gentile Patti, 2026), includes draining materials, tree-planted green spaces, and a transparent platform over the river mouth: a precise translation, at the scale of a single urban stream, of the same categories — ecological threshold, public space, permeability — on which the strategy discussed here is based. It is significant that the same C. Vicari Aversa cited in the theoretical framework of this contribution appears among the signatories (Vicari Aversa, 2025), confirming a continuity between theoretical reflection on the terracqueous edge and design practice on the Strait.

The Messina shore therefore completes the territorial strategy of the Strait. While Reggio Calabria offers the hypothesis of the seven fiumare as a green-blue framework, Messina offers a network of urban streams and coastal margins that can be reinterpreted as complementary infrastructures. Together, the two shores form a system of land-water sections capable of supporting a new adaptive vision of the Strait.



Figure 5. *The "Rambla del Boccetta" proposal in Messina as a case study of land-water edge regeneration, transforming the river mouth into a public, ecological and climate-adaptive threshold. (Sourcet: C. and M. De Francesco, M.G. Mondello, C.S. Vicari Aversa)*

3.6. The digital twin as methodological infrastructure

Digital twins represent the most advanced integration of these processes. A digital twin is a dynamic model of a physical system, continuously updated through data (Fuller et al., 2020). In urban contexts, digital twins can support climate adaptation by integrating environmental sensors, simulations, monitoring systems, and spatial data. Recent research on urban digital twins highlights their ability to provide detailed views of urban systems and to support resilience strategies in relation to floods, hydrogeological instability, and other adverse events (Kalfas et al., 2025; Van der Jeugt, 2024; Villani et al., 2025).

For the Strait of Messina, a digital twin could integrate the seven fiumare of Reggio Calabria, Messina's urban streams, coastal margins, infrastructural networks, vegetation cover, impervious surfaces, areas exposed to hydraulic risk, and microclimatic data. Such a model would not be a final representation, but an adaptive decision-support platform shared between the two administrative sides of the Strait.

The digital twin could respond to design questions such as: which sections of the fiumare have the greatest potential for ecological restoration? Where are thermal stress and lack of shade most intense? Which stream mouths could become ecological public spaces? Where can permeable surfaces most effectively reduce runoff? Which crossings interrupt the continuity of the corridors? Which neighborhoods would benefit most from new slow routes and climate shelters?

As with any data-driven infrastructure, the digital twin should not be understood as a neutral or purely technical object. Its structure depends on which data are included, which variables are prioritized, which risks are considered acceptable, and which interests are represented. For this reason, the digital twin of the Strait should be critically designed, including not only physical data but also cultural, social, and ecological layers — a theme resumed in paragraph 3.8.

3.7. Design strategies for smart green-blue corridors

The design strategies proposed by the research are organized around seven main actions.

The first action is selective renaturalization. This does not imply the return of every watercourse to an impossible pre-urban condition. Rather, it means identifying where natural processes can be reintroduced: vegetated strips, permeable soils, ecological patches, and controlled water-expansion areas.

The second action is sustainable stormwater management. Rain gardens, bioswales, permeable pavements, infiltration trenches, detention basins, and water-reuse systems can reduce surface runoff and transform water management into a visible component of urban design.

The third action is microclimatic mitigation. Trees, pergolas, shaded paths, water-sensitive surfaces, and light-colored materials can reduce thermal stress and create more comfortable public spaces.

The fourth action concerns slow mobility. Green-blue corridors can support pedestrian and cycle routes capable of connecting neighborhoods, schools, services, waterfronts, and natural systems. Mobility is treated not only as circulation, but as a way of inhabiting the landscape.

The fifth action is the regeneration of river mouths. The river mouth is the critical space where the corridor meets the sea: it can become an ecological threshold, a point of public access, a monitoring node, or an educational landscape, as shown by the viale Boccetta case discussed in paragraph 3.5.

The sixth action is the introduction of climatic micro-architectures. Lightweight pavilions, shaded seating, observation platforms, water points, educational devices, and monitoring stations can make the corridors recognizable and usable. Such architectures must be minimal, reversible, and compatible with hydraulic safety.

The seventh action is smart monitoring. Sensors and digital platforms can measure the performance of the corridor over time, feeding the digital twin discussed in paragraph 3.6 and supporting maintenance and adaptation.

Together, these strategies define a new type of urban infrastructure: not grey, fixed, and monofunctional, but green-blue, flexible, measurable, and public.

3.8. Governance, ethics, and the role of the designer

Artificial intelligence does not replace the architect, planner, or landscape architect. On the contrary, it expands their capacity to observe, measure, and evaluate, making the project more transparent and verifiable. However, its use requires critical awareness: data are never neutral. The selection of indicators, the quality of datasets, the transparency of algorithms, and the accessibility of digital tools influence the outcomes of the process. For this reason, the smart green-blue corridor should not be understood only as a technological system, but must remain a public, ecological, and cultural project.

The proposal introduces a change in the way vulnerable territories are interpreted and designed: the project no longer begins from the idea of controlling nature through rigid limits, but from the possibility of working with natural processes. This does not mean abandoning safety or hydraulic engineering, but expanding the very concept of safety. A safe territory is not only a territory protected by walls and channels; it is also a territory capable of absorbing water, reducing heat, maintaining ecological continuity, offering accessible public spaces, and adapting to change.

The comparison between Reggio Calabria and Messina shows that the problems of hydraulic vulnerability and urban fragmentation are not isolated, but belong to a broader territorial condition shared by both shores of the Strait. Artificial intelligence makes this strategy more operational: it enables the project to engage with complexity, uncertainty, and time, and transforms the corridor into a living infrastructure, not a fixed intervention.

The risk of technological determinism nevertheless remains real. Data-driven tools can support design only if they are guided by clear ecological, social, and spatial objectives. The corridor is not intelligent because it contains sensors or algorithms: it is intelligent because it connects environmental performance, public value, adaptive management, and territorial care. The intelligent edge, to use the theoretical expression from which this research begins, is therefore a critically governed margin in which artificial intelligence supports human judgment without replacing it.

4. CONCLUSIONS

The research proposes the Strait of Messina as a laboratory for a new generation of adaptive ecological infrastructures. Reggio Calabria and Messina are not considered as isolated urban systems, but as two shores of the same fragile and interdependent territory, according to the theoretical framework of the terracqueous edge developed by Vicari Aversa (2025) and here extended to the specific case of the Strait.

The green-blue corridor is the central design device of this vision. It transforms vulnerable land-water margins into spaces of ecological continuity, climate adaptation, public accessibility, and environmental care. It makes it possible to reinterpret watercourses, riverbeds, waterfronts, residual spaces, and infrastructural margins as parts of a shared territorial network.

On the Calabrian side, the hypothesis of regenerating the seven *fiumare* of Reggio Calabria defines a green-blue framework capable of reconnecting uplands, urban districts, and the sea. Catona, Gallico, Annunziata, Calopinace, Sant'Agata, Armo, and Valanidi become not only hydraulic structures, but adaptive corridors for a more resilient city. On the Sicilian side, the streams and coastal margins of Messina — and the concrete case of viale Boccetta — represent complementary components of the same strategy, capable of reducing vulnerability, improving public space, and reconnecting the city with its hydrological landscape.

Artificial intelligence constitutes the methodological core of the research. Through remote sensing, GIS mapping, environmental monitoring, hydraulic models, and digital twins, AI supports the reading of vulnerable margins, the identification of priority areas, the construction of measurable scenarios, and the adaptive management of transformations, without ever replacing the designer's critical judgment.

The final objective is not to produce a single and definitive project, but to define a replicable methodology for Mediterranean coastal and torrential territories. The smart green-blue corridor is therefore not only an environmental strategy. It is a new form of architectural and urban thinking: porous, adaptive, measurable, and rooted in the fragile beauty of the landscape.

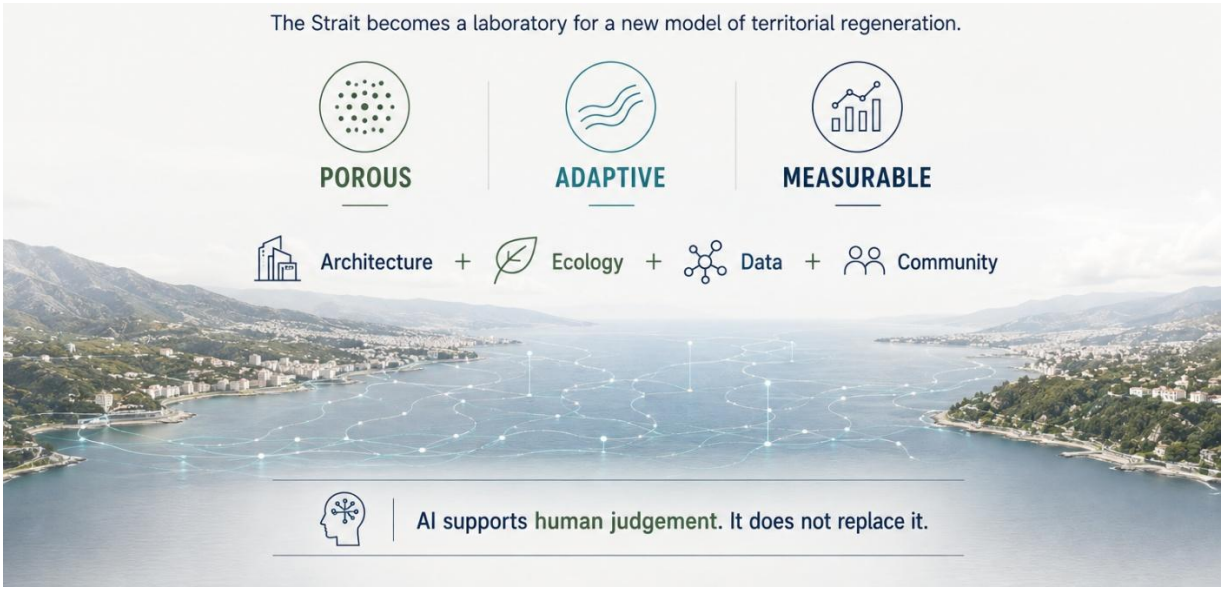


Figure 6. *The Strait of Messina as a laboratory for adaptive territorial regeneration, integrating architecture, ecology, data, and community within a porous, adaptive, and measurable framework. Artificial Intelligence supports the monitoring, interpretation, and evaluation of territorial processes while reinforcing, rather than replacing, human judgement in design and decision-making.* (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

Research and Author Contributions:
This research represents also part of results carried out in departmental research laboratory *STRETT-ARCH_Strait Regeneration, Territory Transformation, Architecture* (Department of Architecture and Design – *dAeD, UNIRC*) in which the authors are involved and in the joint convention between Universities *A.Ma.Te Sponde.*
Although the research is the result of the work carried out jointly by all the authors, the drafting of the essay is to be attributed differently to each of them: § Abstract; § 1. Introduction, § 3.7. § 4. Conclusion, C.S.V.A. and A.G.Q.; § 3.1., § 3.5. by C.S.V.A.; § 2., § 3.2, § 3.3, § 3.4, § 3.6. § 3.8. by A.G.Q.

REFERENCES

Aronica, G. T., Bonaccorso, B., Brigandi, G., & Naso, S. (2013*). Hydraulic hazard assessment of the streams:* Galati, Mili, Larderia, Zafferia, San Filippo, Cumia-Bordonaro, Bisconte-Catarratti and Papardo in the municipal territory of Messina. General report. Municipality of Messina; University of Messina, Department of Civil Engineering.
Comune di Reggio Calabria. (2023). *Municipal Civil Protection Plan: Illustrative report.* Comune di Reggio Calabria.
D'Amico, L. (2023). *Messina, torna la "rambla" di viale Boccetta: ecco il progetto*. In: Gazzetta del Sud, 26 giugno 2023. https://messina.gazzettadelsud.it/articoli/cronaca/2023/06/26/messina-torna-la-rambla-di-viale-boccetta-ecco-il-progetto-cd4074a9-7ac7-4007-8279-9e1fd3aaa44d/
Editorial staff Letteraemme (2023), Da passeggiata ad "autodromo": c'era una volta la rambla del viale Boccetta. In: *Letteraemme,* 5 febbraio 2023. https://www.letteraemme.it/da-passeggiata-ad-autodromo-cera-una-volta-la-rambla-del-viale-boccetta-le-foto/
Editorial staff Tempostretto (2023), Il progetto. "Viale Boccetta con vista mare per rilanciare Messina". In: *Tempostretto,* 4 agosto 2023. https://www.tempostretto.it/news/il-progetto-viale-boccetta-con-vista-mare-per-rilanciare-messina.html

European Environment Agency. (n.d.). Urban green and blue infrastructure. Climate-ADAPT.
Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). *Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research.* IEEE Access, 8, 108952–108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358
Gentile Patti, G. (2026, February 12). La Rambla dello Stretto: Quando Messina non era ostaggio delle auto. In: *Universome.* https://universome.unime.it/2026/02/12/la-rambla-dello-stretto/
Kalfas, D., et al. (2025). Enhancing predictive urban planning in European smart cities through AI-driven digital twin technology. Urban Science, 9(7), 267.
Regione Calabria. (n.d.). *Hydrographic basins of the city of Reggio Calabria* [Cartographic data]. Regional Cartographic Center.
Van der Jeugt, L. (2024). *Urban digital twins: Exploring their potential for climate adaptation* [Master's thesis].
Vicari Aversa, C. S. (2025). *Architettura nell'illimitato bordo terracqueo / Architecture in the unlimited terracqueous edge.* Collana APeT_Architettura, Paesaggio e Territorio, dialoghi tra complessità e innovazione, Le Penseur Edizioni, Brienza.
Vicari Aversa, C. S.; Sennyey Halasz E. L.: Fazia C., (2026), Blue- Green Alleys and demonstration projects. In: *Encyclopedia of Green and Smart City* (EGSC, Springer). (In press).
Villani, L., et al. (2025). A digital twin framework to improve urban sustainability. *Land,* 14(1), 83.
Well, F., & Ludwig, F. (2021). Development of an Integrated Design Strategy for Blue-Green Architecture. *Sustainability,* 13(14), 7944. https://doi.org/10.3390/su13147944

AKILLI YAŞAMIN MİMARİLERİ

Dr. Alessia G. QUATTRONE
Department of Architecture and Design, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
ORCID ID: 0009-0003-0847-2512

ÖZET

Bu araştırma, yapay zekâ sonrası mimaride yaşam ve barınma kavramını incelemekte; yapay zekâyı yalnızca tasarımı destekleyen teknik bir araç olarak değil, aynı zamanda konut, kentsel ve kolektif mekânların hayal edilme, üretilme ve deneyimlenme biçimlerini dönüştürebilecek kültürel bir aygıt olarak ele almaktadır. Mimarlık kuramı, ortam bilişimi ve dijital ikiz çalışmaları arasındaki kesişimde yer alan güncel literatürden hareketle çalışma, mimarinin istikrarlı ve tamamlanmış bir biçim olarak anlaşılmasından; çevresel, davranışsal ve toplumsal verilere gerçek zamanlı olarak yanıt verebilen, uyarlanabilir, öngörücü ve ilişkisel bir mimarlık anlayışına geçişin izini sürmektedir.

Yaşam ve barınma kavramı; akıllı teknolojiler, izleme sistemleri, dijital ikizler, üretken algoritmalar ve ortam arayüzleri aracılığıyla yeniden ele alınmakta; giderek daha duyarlı ve otomatik hâle gelen mekânların tasarımsal, etik ve toplumsal sonuçları sorgulanmaktadır. Bu senaryoda ev ve kent, artık gündelik yaşamın yalnızca basit birer kabı olmaktan çıkarak öğrenen, öngören ve davranışları yönlendiren etkileşimli çevrelere dönüşmektedir. Bu durum; beden, mahremiyet, bakım, konfor, denetim ve kimlik arasındaki ilişkilere dair yeni sorular ortaya çıkarmaktadır.

Araştırma, yapay zekâ sonrası mimariye ilişkin eleştirel bir düşünce geliştirmektedir: Makinenin mimarinin yerini aldığı bir yaklaşım değil, mimarın rolünün veri, insan ihtiyaçları, mekânsal kalite ve kolektif sorumluluk arasında arabulucu olarak yeniden tanımlandığı genişletilmiş bir tasarım alanı söz konusudur. Amaç, otomasyonun belirleyici olduğu bir çağda yaşam biçimlerinin nasıl evrilebileceğini, mimarinin insani, duyusal ve politik boyutlarını kaybetmeden anlamaya yönelik kuramsal ve metodolojik bir çerçeve ortaya koymaktır.

Mimarlık kuramı, dijital kültür ve çevresel duyarlılık arasında bağlantı kuran bu çalışma, yapay zekâ sonrası yaşamı teknolojik faillik ile insan deneyimi arasında bir müzakere alanı olarak tanımlamaktadır. Gelecekteki yaşam biçimlerinin yalnızca verimlilik, optimizasyon veya performans üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini; mimarinin yakınlığı, belirsizliği, duygusal ilişkileri ve tamamen otomatikleştirilmiş ve standartlaştırılmış kararlarla nötrleştirilmek yerine açık, yorumlanabilir ve toplumsal açıdan anlamlı kalan mekânlarda yaşama hakkını koruma kapasitesi üzerinden ele alınması gerektiğini öne sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: post-dijital yaşam; yapay zekâ; uyarlanabilir mimarlık; dijital ikiz; duyarlı mekân; öngörücü tasarım; veri etiği; çevresel konfor; insan–çevre etkileşimi; yeni yaşam biçimleri.

ARCHITECTURES OF INTELLIGENT DWELLING

ABSTRACT

This research investigates dwelling in post-artificial intelligence architecture, considering AI not only as a technical tool supporting design, but as a cultural device capable of transforming the ways domestic, urban, and collective spaces are imagined, produced, and inhabited. Starting from recent literature at the intersection of architectural theory, ambient computing, and digital-twin studies, the paper traces the transition from architecture understood as a stable and completed form to an adaptive, predictive, and relational architecture, able to respond in real time to environmental, behavioural, and social data.

The concept of dwelling is reread through intelligent technologies, monitoring systems, digital twins, generative algorithms, and ambient interfaces, questioning the design, ethical, and social implications of increasingly sensitive and automated spaces. In this scenario, the house and the city are no longer simple containers of everyday life, but interactive environments that learn, anticipate, and orient behaviours. This condition raises new questions about the relationship between body, privacy, care, comfort, control, and identity.

The research proposes a critical reflection on architecture after artificial intelligence: not an architecture replaced by the machine, but an augmented design field in which the role of the architect is redefined as a mediator between data, human needs, spatial quality, and collective responsibility. The aim is to outline a theoretical and methodological framework for understanding how dwelling may evolve in an age marked by automation, without losing its human, sensitive, and political dimensions.

By connecting architectural theory, digital culture, and environmental responsiveness, the contribution identifies post-AI dwelling as a field of negotiation between technological agency and human experience. It suggests that the future of inhabiting should not be measured only through efficiency, optimization, or performance, but through the capacity of architecture to preserve proximity, ambiguity, affective relations, and the right to inhabit spaces that remain open, interpretable, and socially meaningful, rather than neutralised through purely automated and standardised decisions.

Keywords: post-digital dwelling; artificial intelligence; adaptive architecture; digital twin; responsive space; predictive design; data ethics; environmental comfort; human–environment interaction; new ways of inhabiting.

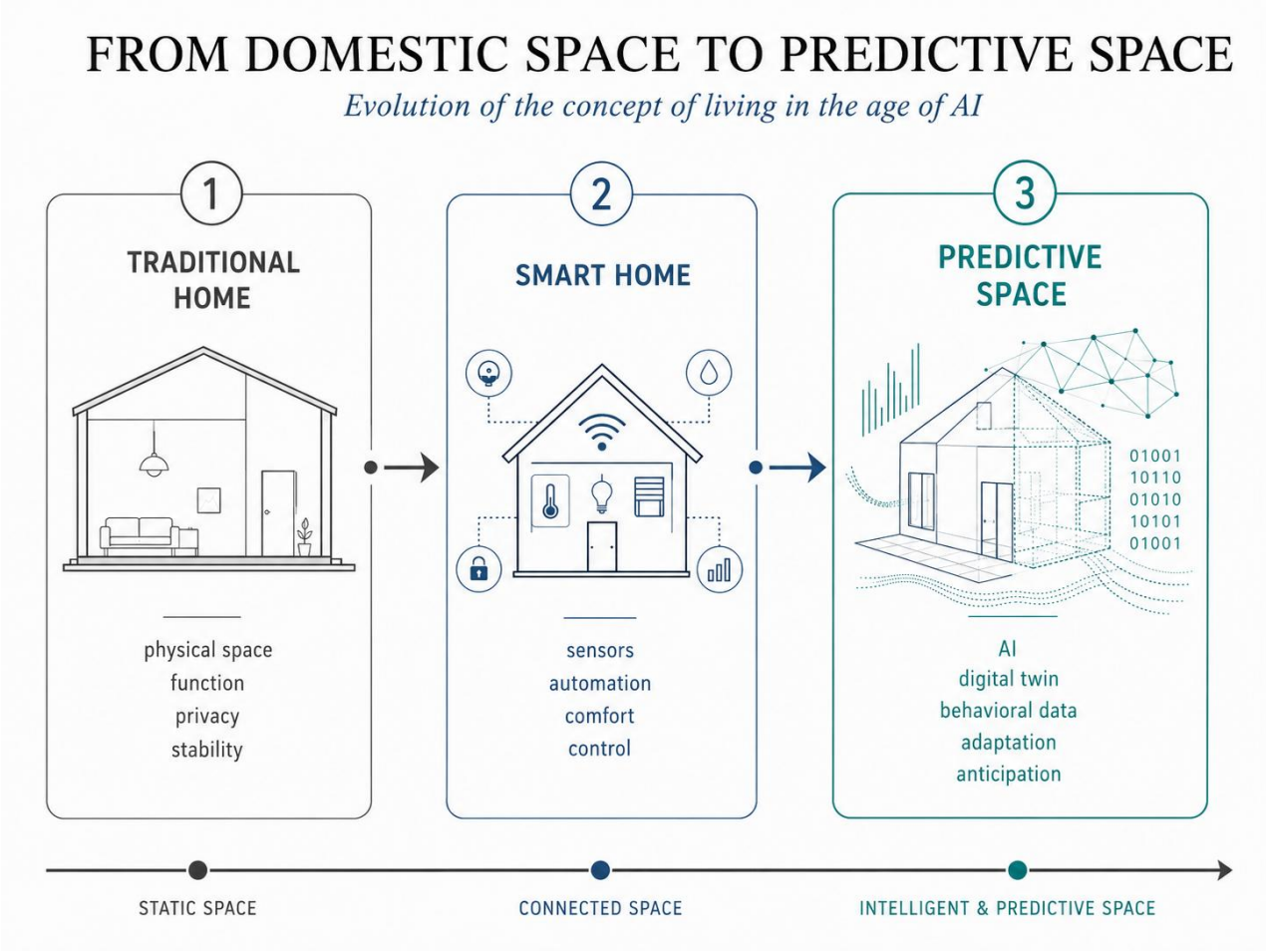
1. INTRODUCTION

Dwelling does not simply mean occupying a space. It means constructing a continuous relationship between body, environment, memory, identity, and community. Since its origins, architecture has given form to this relationship through spatial devices capable of protecting, organising, representing, and enabling everyday life. The house, the city, and collective spaces have never been neutral containers, but cultural structures in which values, habits, hierarchies, imaginaries, and social practices are embedded.

In the age of artificial intelligence, this condition is undergoing a profound transformation. The introduction of algorithmic systems, environmental sensors, digital platforms, predictive models, and connected devices changes the ways space is designed, managed, and inhabited. AI does not act merely as a technology applied to the building, but as a cognitive infrastructure capable of reading data, interpreting behaviours, and producing adaptive scenarios. This condition extends a longer cybernetic lineage in architectural theory: Pask (1969) had already argued that architecture could be understood through control and feedback systems rather than static form, and Negroponte (1975) anticipated buildings capable of responding to their inhabitants as “soft” and behaviourally adaptive machines. What AI adds to this trajectory is not the principle of feedback itself, but its scale, granularity, and predictive reach.

The issue of dwelling after artificial intelligence therefore requires moving beyond a simplified reading of the smart home. The smart home, commonly understood as a set of home-automation devices, voice assistants, security systems, and energy automations, represents only one part of the phenomenon. The most relevant change concerns the transition from architecture conceived as a stable, completed, and controllable form to architecture understood as a dynamic, adaptive, and relational system. In this scenario, space is not only designed to be used; it is designed to learn from use.

Figure 1. From Domestic Space to Predictive Space. Evolution of the concept of living in the age of AI. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)



The conceptual shift from traditional domestic space to predictive space may be understood as a progressive transformation of the relationship between inhabitant, technology, and architectural environment. The traditional home is mainly defined by physical space, function, privacy, and stability. The smart home introduces sensors, automation, comfort, and control. Predictive space, instead, incorporates AI, digital twins, behavioural data, adaptation, and anticipation. This transition is not only technological, but cultural and architectural, as summarised in Table 1.

Phase	Conception of spac	Main technologies	Role of the inhabitan	Architectural implications
Traditional home	Stable, physical, and functional space	Conventional building and technical systems	Active user directly controlling the space	Centrality of form, internal distribution, privacy, and permanence
Smart home	Connected and automated space	Home automation, sensors IoT devices, voice assistants	User setting command or predefined scenario	Introduction of automation for comfort, safety, and energy efficiency
Adaptive space	Environment responding to variable conditions	Environmental sensors, responsive systems, actuators, digital interface	User interacting with a dynamic environment	Overcoming spatial rigidity; adaptation of light, climate, energy, and functions

Phase	Conception of spac	Main technologies	Role of the inhabitan	Architectural implications
Predictive spac	Intelligent system learning and anticipating	AI, machine learning, digital twins, predictive algorithms	Inhabitant observed, interpreted, and assiste by the system	Redefinition of dwelling as a relationship between body, dat environment, and algorithmic decision
Post-AI dwelling	Relational, ethical, and political field	Integrated AI, ambient interfaces, generative models, continuous monitoring	Subject involved in a negotiation between autonomy and automation	Need for legible, reversible, human-centred, and socially responsible spaces

Table 1. Evolution of the concept of dwelling in the age of artificial intelligence. (Source: authors' elaboration, 2026.)

The central question is not only whether artificial intelligence can make buildings more efficient, but how it is modifying the very concept of dwelling. If modernity interpreted the house as a machine for living, according to a functional and rational logic, the post-AI condition proposes the house as a sensitive and predictive environment. It is no longer simply a space that accommodates actions, but a system that records, processes, anticipates, and sometimes orients the behaviours of its inhabitants.

This transformation places architecture before a double challenge. On the one hand, artificial intelligence can offer important tools to improve comfort, sustainability, accessibility, safety, and spatial adaptability. On the other hand, it can produce new forms of control, surveillance, technological dependence, and standardisation of dwelling experience — risks documented in recent reviews of domestic IoT and AI systems (Buil-Gil et al., 2022; You et al., 2024). Architectural design is therefore called to position itself critically between these two possibilities, avoiding both technocratic enthusiasm and nostalgic rejection of technology.

This paper proposes a theoretical and methodological reflection on dwelling in post-artificial intelligence architecture. Its aim is to understand how AI, digital twins, environmental monitoring, generative algorithms, and ambient interfaces are redefining the relationship between space, body, and behaviour. The research considers AI not as a substitute for the architect, but as a cultural device that forces the discipline to rethink its fundamental categories: form, function, use, comfort, privacy, care, responsibility, and identity.

2. METHODOLOGY

The research adopts a critical, theory-building approach rather than an empirical or quantitative one. It proceeds through a targeted review of literature spanning three adjacent fields: the cybernetic and interactive-architecture tradition (Pask, 1969; Negroponte, 1975; Fox & Kemp, 2009), studies on ambient computing and climate-adaptive building systems (Weiser, 1991; Loonen et al., 2013; Ratti & Claudel, 2016), and more recent technical and ethical literature on digital twins and AI-driven smart homes (Abdelrahman et al., 2024; Corssac & Wickboldt, 2022; Buil-Gil et al., 2022; You et al., 2024). These sources are not treated as a systematic or exhaustive review, but as an interpretive corpus from which recurring categories — legibility, reversibility, technological proportion, privacy by design — are extracted, compared, and reorganised into the conceptual framework and design-principle tables presented in Section 3. This qualitative, comparative method is consistent with theoretical contributions in architectural discourse, where the objective is to construct an interpretive lens rather than to test a hypothesis against empirical data.

3. RESEARCH AND RESULTS

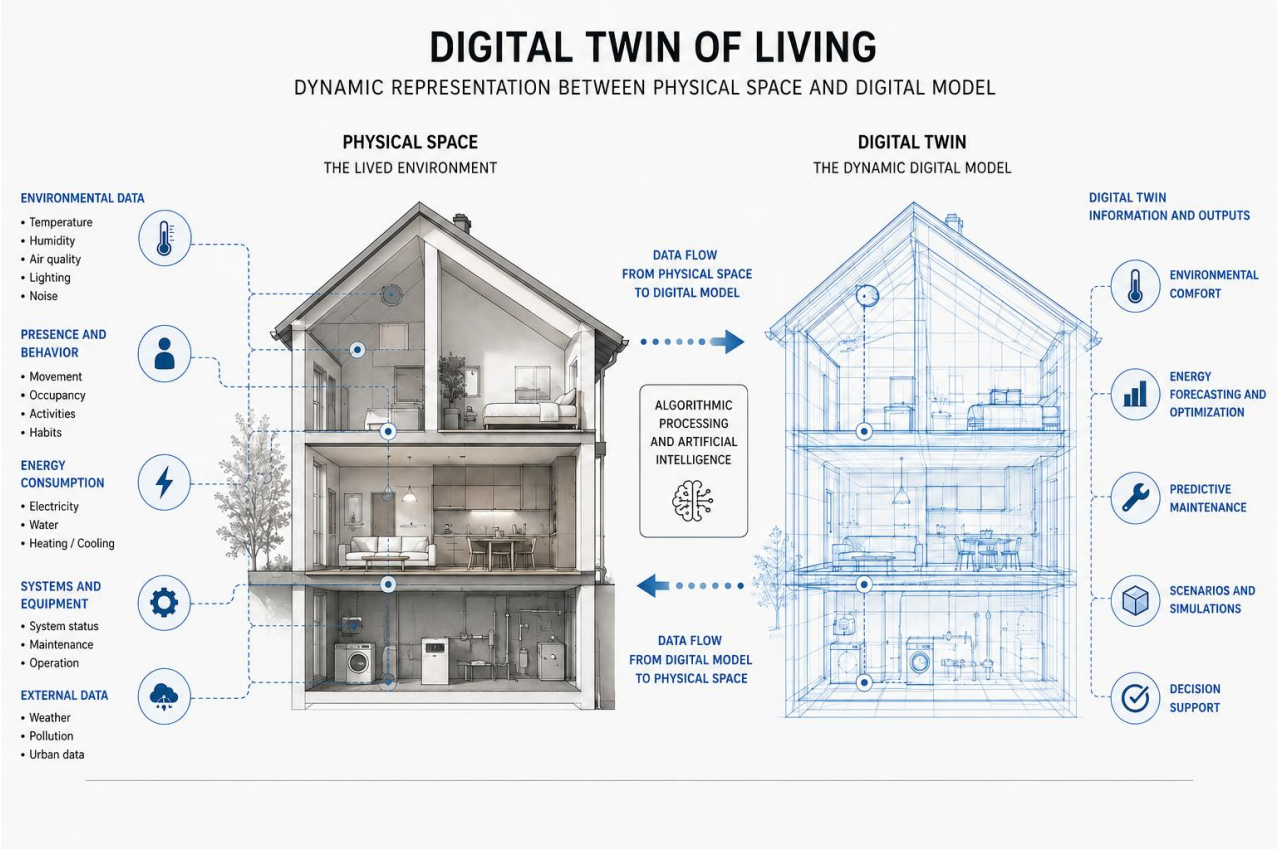
The research develops from a main question: what happens to dwelling when architectural space becomes capable of learning, predicting, and responding? This question makes it possible to read

artificial intelligence not as a mere technical innovation, but as a factor of epistemological transformation for architecture. Post-AI dwelling does not concern only new design tools, but a different conception of space as an interactive, informed, and processual environment.

3.1 From the automated house to the relational house

A first aspect concerns the transition from the automated house to the relational house. Traditional home-automation systems are based on commands, preset scenarios, and functional responses: switching on a light, regulating temperature, closing a curtain, activating an alarm. Artificial intelligence introduces a more complex logic, based on the ability to recognise patterns, learn habits, and construct adaptive responses. The house no longer merely executes instructions; it interprets data from multiple sources: presence of inhabitants, climatic conditions, energy consumption, air quality, schedules, preferences, and recurring gestures.

Figure 2. Digital Twin of Living. Dynamic representation between physical space and digital model. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)



The concept of the digital twin represents one of the most significant tools of this transformation. Analysing definitions extracted through natural-language processing from over fifteen thousand scientific publications, Abdelrahman et al. (2024) show that no single definition of the digital twin holds across domains; for the building and architecture domain specifically, they converge on a definition centred on a spatial-temporal virtual representation of a physical asset that manages static and dynamic information and supports forecasting and decision-making over suitable, not necessarily real-time, intervals. Applied to the single dwelling, this logic has already been operationalised: Corssac and Wickboldt (2022), in a proof-of-concept study, implement a two-way connection between a house and its digital replica to visualise appliance energy consumption and to simulate optimal heating schedules for thermal comfort. Unlike a traditional three-dimensional

model, the digital twin is not a static representation, but an operational device that makes it possible to observe, analyse, and predict the behaviour of a building over time.

In the field of dwelling, the digital twin modifies the relationship between design and use. Architecture no longer ends at the moment of construction, but continues to be updated through data related to everyday experience. The house can be monitored in its energy, climatic, and functional performance; it can detect critical conditions; it can simulate future scenarios; it can suggest adaptive strategies. This means that design is no longer only formal anticipation, but a continuous process of interpretation and correction.

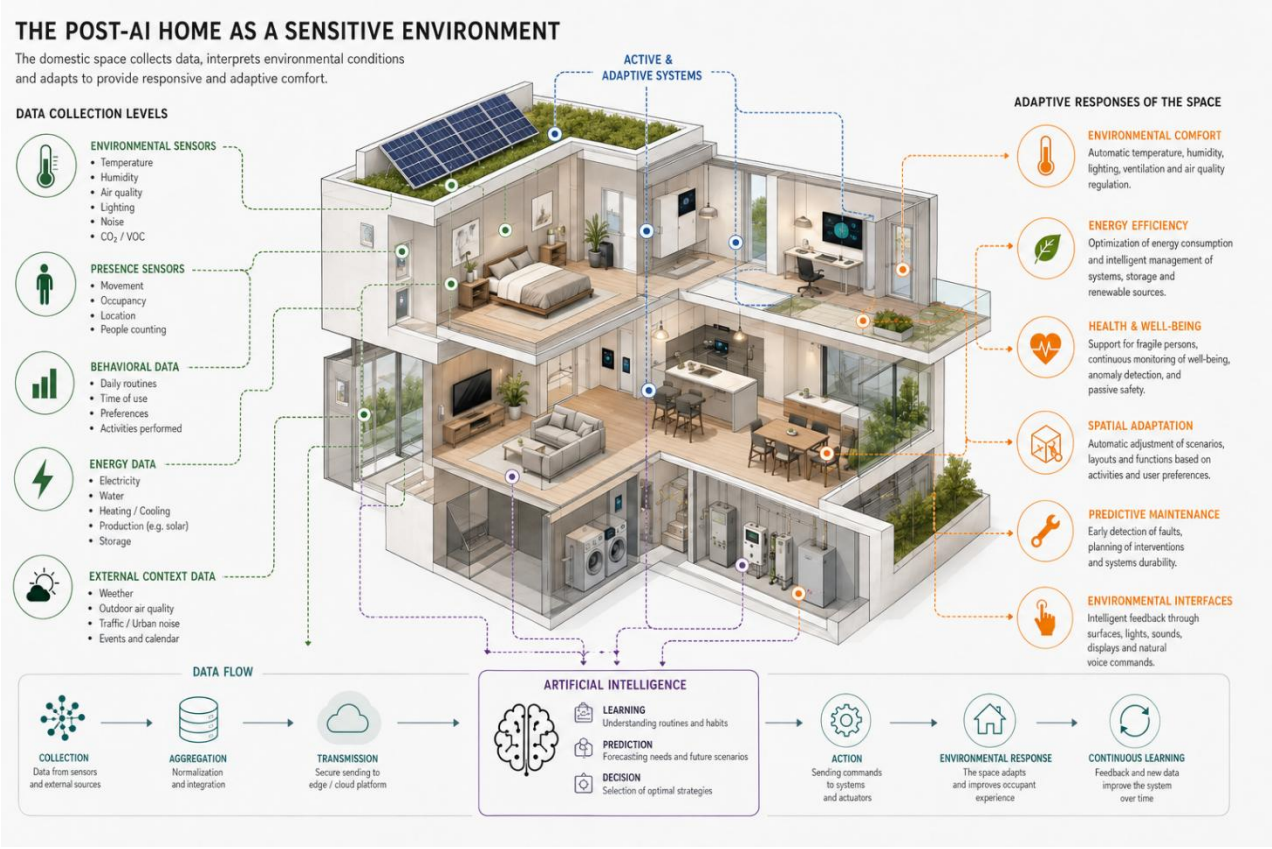
Technology / syster	Main function	Effect on domestic space	Design criticality
Environmental sensors	Detect temperature, humidity light, noise, and air quality	Space becomes able to perceiv environmental conditions	Risk of excessive measurement o domestic life
Presence and behavioural sensors	Detect movement, occupanc habits, and activities	Space adapts to the presence ar rhythms of inhabitants	Possible invasion of privacy and behavioural profiling
Home automation systems	Automate lights, curtains, climate, safety, and technical systems	The house becomes more efficient and controllable	Dependence on closed systems ar proprietary platforms
Digital twin	Create a dynamic digital replica of physical space	Design continues after construction through monitorin and simulation	Need for updated data, interoperability, and transparent control
Machine learning	Learn patterns and predict future needs	Space can anticipate comfort, consumption, and use scenario	Risk of opaque decisions that use cannot understand
Generative algorithms	Produce spatial, distributive, and performance-based alternatives	Design becomes exploratory, simulative, and multi-scenario	Risk of reducing architectural quality to numerical optimisation
Ambient interfaces	Integrate interaction through surfaces, voice, light, sound, and gestures	Technology becomes part of th environment rather than an external device	Possible loss of conscious control by the inhabitant

Table 2. Intelligent technologies and design transformations of dwelling space. (Source: authors' elaboratio, 2026.)

This condition opens the way to predictive space. A predictive space does not simply react to an immediate request; it attempts to anticipate future needs and conditions. It can regulate temperature before the inhabitant arrives, adapt lighting according to circadian rhythms, optimise energy consumption, detect anomalous behaviours, assist fragile or elderly people, and predict maintenance needs. In this sense, artificial intelligence introduces a new temporality into architectural space: space is no longer only memory and presence, but also prediction.

However, the predictive dimension is not neutral. Anticipating a behaviour also means interpreting it, classifying it, and sometimes orienting it. Reviewing decades of work on AI-driven detection technologies in smart homes, You et al. (2024) argue that this shift requires explicit ethical guidelines spanning privacy, fairness, transparency, accountability, and user autonomy — precisely because classification and anticipation are not ethically neutral operations. A house that learns the habits of its inhabitant can improve comfort, but it can also reduce the unpredictability of domestic experience. It can facilitate everyday life, but it can also normalise certain behaviours as more efficient, healthier, or more desirable. The risk is that dwelling may be translated into a sequence of optimisable data, losing its affective, symbolic, and free component.

Figure 3. The Post-AI Home as a Sensitive Environment. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)



3.2 Adaptive and responsive architecture

A second aspect concerns adaptive and responsive architecture. The notion of responsive architecture has already introduced the idea of buildings capable of modifying themselves in relation to external or internal conditions — a trajectory that runs from Pask's (1969) cybernetic reading of architecture, through Negroponte's (1975) soft architecture machines, to Fox and Kemp's (2009) systematic account of interactive architecture. Dynamic envelopes, climatic facades, and intelligent shading systems have since been consolidated as a recognisable field: Loonen et al. (2013) review climate-adaptive building shells as systems that regulate their own performance in response to changing outdoor conditions, offering a technical precedent for the more data-intensive adaptivity AI now enables. Artificial intelligence extends this logic by allowing space to process complex relationships between environmental data, human needs, and performance objectives.

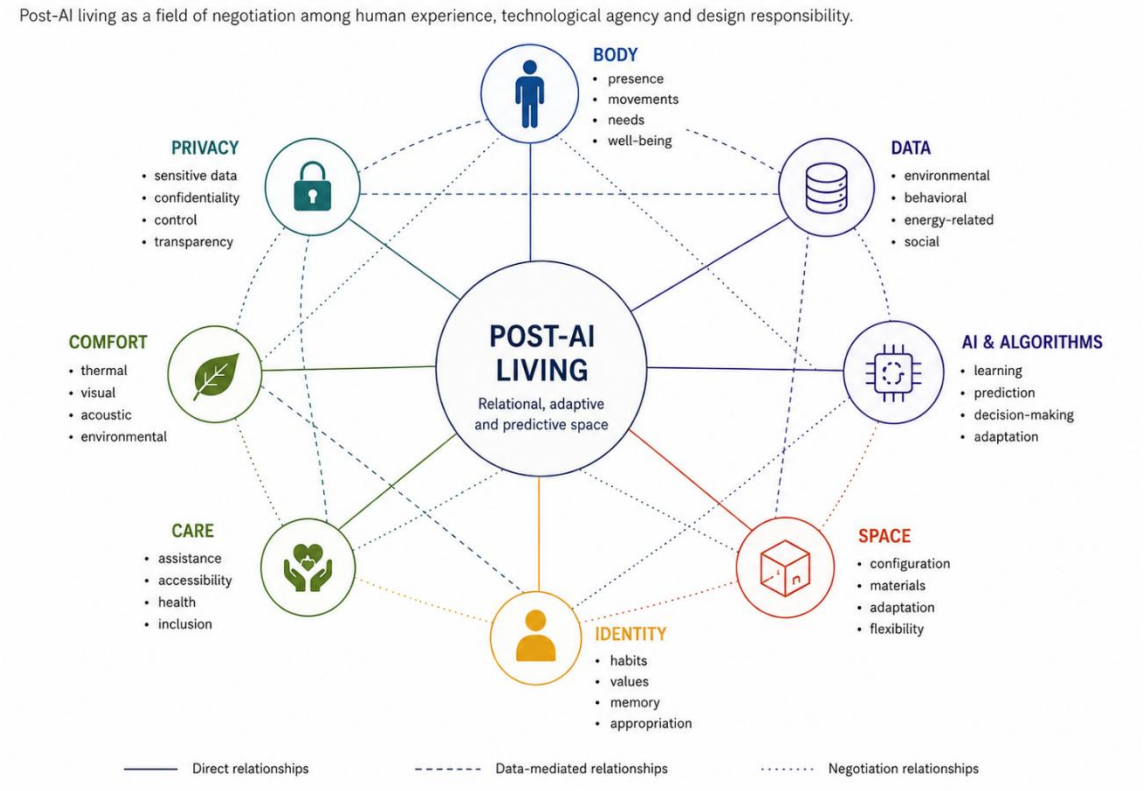
In the domestic and urban context, this means designing environments capable of adapting not only to climate, but also to the plurality of lives that pass through them. Comfort can no longer be understood as a universal and standardised value. It depends on the body, age, health, culture, habits, time, and emotional conditions. AI can contribute to building environments that are more sensitive to this complexity, but only if it is guided by conscious architectural design. Technology alone does not produce spatial quality.

The theme of comfort therefore becomes central. In traditional architecture, comfort is often measured through physical parameters: temperature, humidity, lighting, ventilation, and acoustics. In post-AI dwelling, these parameters are intertwined with behavioural and perceptual data. The house can adapt light to the presence of a person, modulate temperature according to individual preferences, and suggest spatial configurations according to activities. However, the risk is that comfort may be confused with the complete elimination of conflict, unpredictability, and variability. Dwelling, on the contrary, also means living with margins of indeterminacy.

Figure 4. Map of Relationships between Body, Data and Space. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)

3.3 Ambient interfaces

A third aspect concerns ambient interfaces. Weiser (1991) described this trajectory early, in the transition toward what he called ubiquitous computing: technologies that recede into the background of everyday life until they become indistinguishable from the environment itself. In the age of ambient intelligence, this principle extends to domestic space: walls, surfaces, furniture, lighting devices, sound systems, and everyday objects can function as diffuse interfaces.



Interaction no longer occurs only through a screen or an explicit command, but through gestures, presence, movement, voice, biometric data, and environmental conditions. Domestic space becomes a sensitive field, in which the boundary between architecture and interface becomes thinner.

This transformation has significant consequences for design. The architect no longer designs only walls, rooms, and paths, but systems of relationship between people, data, objects, and

environment. Architectural quality does not depend only on form, matter, and proportion, but also on the legibility of interactions, the transparency of systems, and the possibility of control by the inhabitant. An intelligent space must be understandable: if the environment reacts without the user being able to understand why, the intelligence of space can become opacity — precisely the point at which Weiser's ideal of "calm", unobtrusive technology risks tipping into an opaque one.

Figure 5. Adaptive Dwelling Section: Day / Night Scenarios. The domestic space varies according to time, behaviour, and environmental conditions. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)



3.4 The ethics of intelligent dwelling

From this emerges the fourth aspect: the ethics of intelligent dwelling. The house is traditionally the place of privacy, intimacy, vulnerability, and care. When this place becomes crossed by sensors, data, and algorithms, privacy is no longer only a legal or digital issue, but becomes an architectural issue. Where are sensors located? What is recorded? Who controls the data? Can the inhabitant deactivate the system? Can he or she understand how decisions are made? Can one dwell without being constantly measured? A systematic review of 63 studies by Buil-Gil et al. (2022) documents how smart-home devices can produce concrete digital harms — chiefly privacy intrusions, but also hacking, malware, and unauthorised access to system controls — that are rarely visible to the inhabitant at the moment of use, while You et al. (2024) argue that mitigating such risks requires ethical design guidelines built around privacy, fairness, transparency, accountability, and user autonomy.

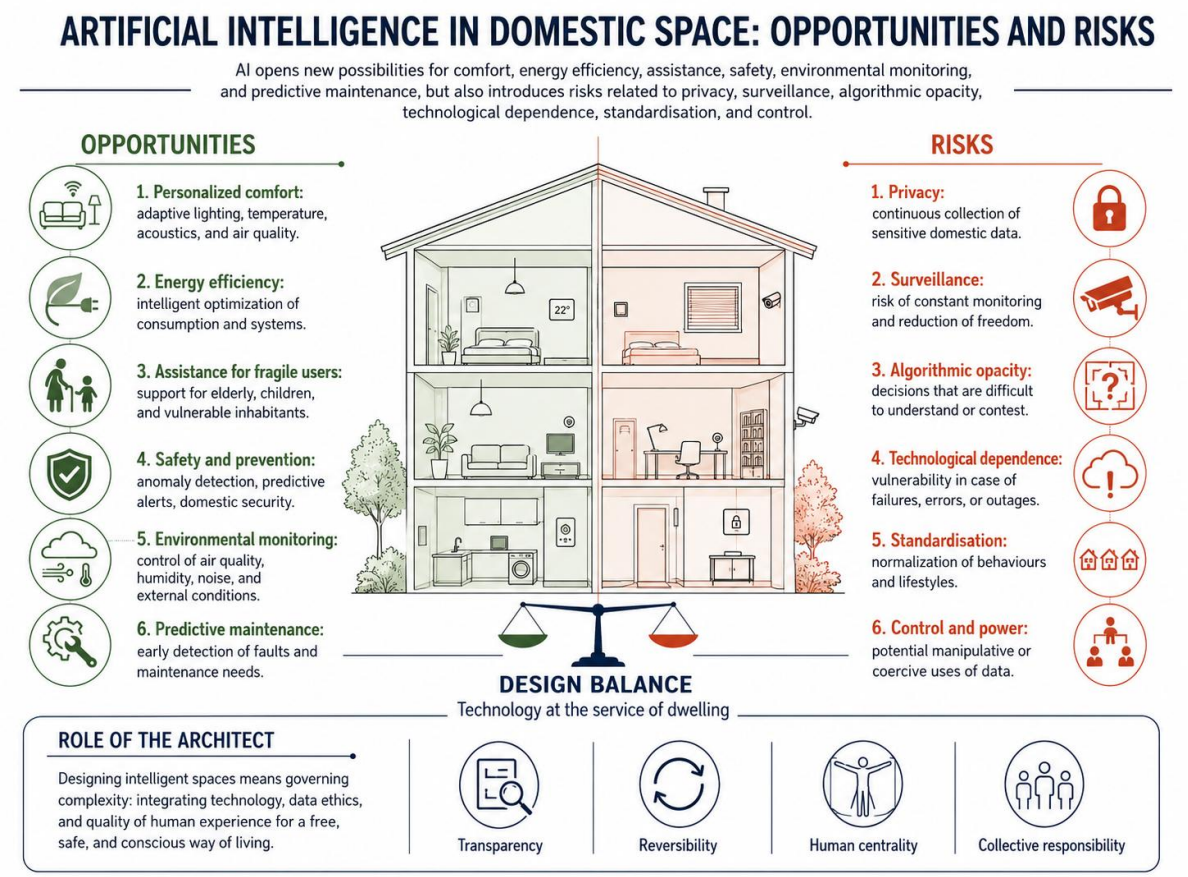
Opportunity	Description	Corresponding risk	Design implication
Personalised comfort	Dynamic adaptation of light, temperature, acoustics, and air quality to individual preference	Invisible standardisation of behaviour	Design modifiable and non-prescriptive systems
Energy efficiency	Optimisation of consumption through climatic, energy, and behavioural data	Priority of performance over experience	Integrate technical sustainability and human well-being
Assistance for fragile users	Support for elderly people, children, people with disabilities, or vulnerable conditions	Continuous domestic surveillance	Balance care, autonomy, and privacy
Predictive safety	Detection of anomalies, intrusions, faults, or domestic risks	Constant control and reductic of freedom	Make control systems visible an reversible
Predictive maintenance	Anticipation of failures and planning of interventions	Technological dependence an system vulnerability	Ensure clarity, accessibility, and maintainability
Spatial adaptation	Possibility of modifying use scenarios according to activitie and needs	Reduction of spontaneity and appropriation	Preserve flexibility, ambiguity, and freedom of use
Environmental monitoring	Continuous control of air quality, microclimate, pollution and consumption	Massive collection of sensitiv data	Apply data minimisation, transparency, and user control

Table 3. Opportunities and risks of artificial intelligence in domestic space. (Source: authors' elaboration, 2026.)

Post-AI dwelling therefore requires a principle of design transparency. Intelligent environments must make their functioning legible, avoiding the transformation of architecture into an invisible device of control. At the same time, a principle of reversibility is necessary: every automation should be modifiable, suspended, or interrupted by the inhabitant. Artificial intelligence must not dispossess the user of decision-making capacity, but expand his or her possibilities.

A further principle is technological proportion. Not all spaces need to be automated, not all actions need to be predicted, and not all behaviours need to be optimised. Architecture must also defend spaces of slowness, ambiguity, spontaneous appropriation, and non-programmed use. Dwelling is not a problem to be solved entirely through data; it is a complex human practice made of habits, affections, conflicts, desires, memory, and identity.

Figure 6. Artificial Intelligence in Domestic Space: Opportunities and Risks. (Source: authors' elaboration using ChatGPT, OpenAI, 2026.)



In this sense, artificial intelligence also redefines the role of the architect. The architect is no longer only the author of form or the technical coordinator of the building process, but a mediator between different forms of knowledge. He or she must understand the logics of data without reducing space to data; integrate technological systems without transforming architecture into a simple digital infrastructure; design adaptive environments without erasing the freedom of the inhabitant. Design becomes a field of negotiation between technological agency and human experience.

3.5 From dwelling to the city: the collective scale

This role is particularly important at the urban and collective scale. Dwelling does not coincide only with the house, but includes neighbourhoods, public spaces, infrastructures, services, ecological networks, and places of social life. Ratti and Claudel (2016) describe how pervasive digital systems and networked sensors are already reshaping urban mobility, energy use, and public life well beyond the scale of the single building — a shift that extends the logic of predictive dwelling to the scale of the city. AI can contribute to intelligent city management, environmental monitoring, mobility, safety, energy efficiency, and accessibility. However, at the urban scale too, risks of surveillance, exclusion, and inequality emerge. A predictive city can improve services, but it can also classify citizens, orient behaviours, and strengthen forms of control.

Post-AI dwelling must therefore be understood as a political question. It does not concern only the individual relationship between person and house, but the collective right to understandable, inclusive, and open spaces. If artificial intelligence participates in the production of space, it becomes necessary to question who designs the algorithms, who owns the data, who benefits from optimisation, and who risks being excluded. The quality of dwelling cannot be measured only in

terms of efficiency, but must include proximity, accessibility, care, social relations, and the possibility of appropriation.

Principle	Meaning	Design application	Aim
Legibility	The inhabitant must understand how space collec data and produces responses	Clear interfaces, understandable signals, non-opaque systems	Avoid transforming intelligent space into invisible control
Reversibility	Every automation must be modifiable, suspended, or deactivated	Manual commands, adjustable automation levels, editable scenarios	Return control over the environment t the inhabitant
Technological proportion	Not every function must be automated	Selective use of AI only where produces real dwelling quality	Avoid technological overdeterminatio and system dependence
Human centrality	Data must not replace bodily and everyday experience	Design oriented to comfort, car freedom, identity, and appropriation	Maintain dwelling as a human rather than merely performative experience
Privacy by design	Data protection must be integrated from the beginnin	Non-invasive sensors, minimise data, local control, transparency	Protect intimacy, autonomy, and domestic freedom
Adaptability	Space must change without becoming prescriptive	Flexible environments, plural u scenarios, open systems	Welcome change, unpredictability, an diversity of inhabitants
Collective responsibili	AI in space is also a social, cultural, and political issue	Inclusive, accessible, non-discriminatory, and socially legible projects	Consider dwelling as a cultural, socia and political right

Table 4. Design principles for a human and responsible post-AI dwelling. (Source: authors' elaboration, 2026.)

The main result of the research is therefore the definition of post-AI dwelling as a critical and design field. It does not coincide with the simple digitalisation of the house, but with a transformation of the relationship between architecture and life. Space becomes sensitive, but it must remain inhabitable. It becomes predictive, but it must leave room for the unexpected. It becomes intelligent, but it must not become authoritarian. It becomes adaptive, but it must not erase the complexity of human experience.

The future of dwelling cannot be measured only through performance, efficiency, and optimisation. It must be evaluated through the capacity of architecture to produce environments capable of supporting relationships, freedom, identity, and care. Artificial intelligence can offer extraordinary tools to improve design, but the responsibility of transforming these tools into dwelling quality remains deeply architectural.

4. CONCLUSIONS

Architecture after artificial intelligence is not an architecture without architects, nor a space entirely governed by the machine. It is rather an augmented design field, in which data, algorithms, and intelligent systems enter into relation with human needs, spatial quality, and collective responsibility. In this scenario, the concept of dwelling is profoundly redefined.

The research has shown how AI transforms the house and the city from containers of everyday life into interactive environments capable of learning, anticipating, and orienting behaviours. This transformation opens important possibilities: greater adaptability, improved energy management, support for fragility, personalised comfort, environmental monitoring, and predictive capacity. However, it also generates critical issues: loss of privacy, algorithmic opacity, control,

standardisation, technological dependence, and reduction of dwelling experience to measurable parameters.

The central point is that dwelling cannot be completely automated without losing part of its nature. To dwell also means to interpret, make mistakes, modify, appropriate, remember, share, and construct meaning. A perfectly optimised house that is unable to welcome ambiguity and freedom risks becoming an efficient but poor device from a human and architectural point of view.

For this reason, the future of post-AI dwelling must be built on a balance between technological intelligence and human sensitivity. Technology must support, not replace; it must enable, not determine; it must accompany, not control. Architecture retains an essential role in this scenario: transforming data and devices into inhabitable, interpretable, and socially meaningful places.

The architect is called to become a critical mediator between technological innovation and the quality of spatial experience. His or her task will not only be to integrate intelligent systems into buildings, but to question the meaning of these systems, their social effects, and the forms of life they make possible. The issue is not to build more automated houses, but to construct more conscious ways of inhabiting.

In conclusion, artificial intelligence changes the very concept of dwelling because it introduces into space a new cognitive and predictive capacity. But this capacity must be oriented by a design vision capable of preserving proximity, affectivity, identity, responsibility, and the right to indeterminacy. Only in this way can dwelling in the age of AI become not a condition of automated control, but a new cultural, architectural, and political possibility.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. From Domestic Space to Predictive Space. Evolution of the concept of living in the age of AI: from traditional home as physical and stable space, to smart home as connected and automated environment, to predictive space as an intelligent, adaptive, and data-informed system.

Figure 2. Digital Twin of Living. Dynamic representation between physical space and digital model. Sensor data, behavioural information, energy consumption, and external conditions feed a digital twin capable of simulation, prediction, and decision support.

Figure 3. The Post-AI Home as a Sensitive Environment. The domestic space collects environmental, behavioural, energy, and contextual data, processes them through artificial intelligence, and produces adaptive responses related to comfort, energy efficiency, care, spatial adaptation, and maintenance.

Figure 4. Map of Relationships between Body, Data and Space. Post-AI dwelling as a field of negotiation among body, privacy, comfort, care, identity, data, AI, and space. The diagram highlights direct, data-mediated, and negotiation relationships.

Figure 5. Adaptive Dwelling Section: Day / Night Scenarios. The domestic space varies according to time, behaviour, and environmental conditions. During the day, it supports light, ventilation, work, and energy management; at night, it prioritises privacy, rest, safety, and reduced consumption.

Figure 6. Artificial Intelligence in Domestic Space: Opportunities and Risks. AI opens new possibilities for comfort, energy efficiency, assistance, safety, environmental monitoring, and predictive maintenance, but also introduces risks related to privacy, surveillance, algorithmic opacity, technological dependence, standardisation, and control.

Research and Author Contributions:

This research represents also part of results carried out in departmental research laboratory *STRETT-ARCH_Strait Regeneration, Territory Transformation, Architecture* (Department of Architecture and Design – *dAeD, UNIRC*)

REFERENCES

Abdelrahman, M., Macatulad, E., Lei, B., Quintana, M., Miller, C., & Biljecki, F. (2024). What is a digital twin anyway? Deriving the definition for the built environment from over 15,000 scientific publications. arXiv. https://arxiv.org/abs/2409.19005

Buil-Gil, D., Kemp, S., Kuenzel, S., Coventry, L., Zakhary, S., Tilley, D., & Nicholson, J. (2022). The digital harms of smart home devices: A systematic literature review. arXiv. https://arxiv.org/abs/2209.05458 (published version: Computers in Human Behavior, 145, 107770, 2023, https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107770)

Corssac, L. B., & Wickboldt, J. A. (2022). A digital twin-based smart home: A proof of concept study. arXiv. https://arxiv.org/abs/2212.14238

Fox, M., & Kemp, M. (2009). Interactive architecture. Princeton Architectural Press.

Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, 483–493. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.016

Negroponte, N. (1975). Soft architecture machines. MIT Press.

Pask, G. (1969). The architectural relevance of cybernetics. Architectural Design, 39(9), 494–496.

Ratti, C., & Claudel, M. (2016). The city of tomorrow: Sensors, networks, hackers, and the future of urban life. Yale University Press.

Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. Scientific American, 265(3), 94–104. https://doi.org/10.1038/scientificamerican0991-94

You, L., Zhou, J., Li, Z., & Chen, F. (2024). AI ethics in smart homes: Progress, user requirements and challenges. arXiv. https://arxiv.org/abs/2412.09813

TIME FOR ACTION: REDEFINING TOURISM EDUCATION AT ALEKSANDËR MOISIU UNIVERSITY TO MEET MARKET DEMANDS

Brunilda Licaj PhD[102]
Mirela Tase Prof. As. Dr[103]
Eli Vyshka Prof. As. Dr[104]
Marsida Abdyl PhD[105]
Arlind Kasa PhD[106]

Abstract As Albania's tourism sector experiences unprecedented growth, the demand for a highly skilled workforce has become critical. Aleksandër Moisiu University of Durrës (AMU) plays a pivotal role in preparing future professionals for this dynamic market. However, rapidly evolving industry standards necessitate an immediate strategic shift in vocational education.
This study evaluates the effectiveness of AMU's professional tourism programs and examines the alignment between academic training and industry needs. Utilizing a mixed-methods approach, empirical data was collected from a sample of **500 students** in professional programs and **50 businesses** across four key sectors: **HoReCa**, **Agritourism**, **Travel Agencies**, and **Maritime Tourism**.
The findings reveal a noticeable disconnect between classroom instruction and workplace requirements, particularly within emerging niches like agritourism and maritime services. While students demonstrate strong foundational knowledge, industry leaders highlight critical shortages in practical experience, tourism management software proficiency, and advanced language skills.
To bridge this divide, immediate action is required. The study proposes a modernized educational strategy centered on a dual-learning model (combining theory and hands-on practice), stronger public-private partnerships, and updated curricula aligned with sustainable and maritime tourism trends.
Keywords: *Aleksandër Moisiu University, professional studies, tourism education, HoReCa, agritourism, maritime tourism, skills gap, educational strategy.*

[102] Faculty of Business, Tourism Department, Unversity A. Moisiu Durres, Albania
[103] Faculty of Business, Tourism Department, Unversity A. Moisiu Durres, Albania
[104] Faculty of Professional Study, University A. Moisiu Durres, Albania
[105] Faculty of Business, Departments of Economics, University A. Moisiu Durres Albania
[106] Faculty of Business, Tourism Department, Unversity A. Moisiu Durres, Albania

THE DISCOVERY OF THE OLDEST KNOWN CAVE CHURCH AT THE SITE OF JESUS' BAPTISM – JORDAN RIVER

Prof Dr Mohammed Waheeb
Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism (QRFTH), The Hashemite University

Abstract

The project to discover the site of the Baptism of Jesus Christ on the eastern bank of the Jordan River began in 1996. Excavations, scientific research, and laboratory analyses continued until 2004, followed by academic publishing through 2015, when the site was inscribed on the UNESCO World Heritage List. Research, conferences, and workshops related to the discovery have continued up to the present day (2026), reflecting the site's local, regional, and global significance.

There is no doubt that the field surveys and archaeological excavations achieved numerous objectives. Byzantine churches emerged, built upon the ruins of the Roman period, along with mosaic floors, monks' caves adjacent to monasteries, prayer halls, and complex hydraulic systems including wells, pools, channels, strainers, and manholes dating back to various historical eras. The most prominent of these are the Roman period (1st to 4th century AD) and the Byzantine period (4th to 7th century AD). The Baptism Site continued to play its cultural and religious role throughout the Islamic periods and up to the present day.

The discovery highlighted the historic importance of the eastern bank of the Jordan River. Archaeological evidence, historical accounts of ancient and modern travelers and pilgrims, and holy scriptures particularly the Gospels confirm the eastern side of the Jordan River as the precise location of the baptism of Jesus Christ and the early believers.

The Cave Church and Archaeological Features

Regarding the Cave Church, the Byzantines constructed it directly in front of the cave on the western slope of *Tell Mar Elias* (Elijah's Hill). This specific cave was chosen over two adjacent caves to build the church in front of it, effectively transforming the cave into the church's sanctuary (apse). Evidence points to the cave's importance and its association with John the Baptist, leading to its official adoption by the Byzantines during the 5th and 6th centuries AD.

Excavations also documented a water channel descending from the two upper pools. Water reached these pools via a channel constructed over *Tell Mar Elias*, which filled them after feeding an external well and reservoir.

Following the collapse of the original hydraulic system, the local monks dug a stone-lined well (*bir tayy*) into the floor of the eastern pool to reach the water table in the valley. Water was then drawn manually or using a wooden winch, poured into the adjacent pool, and any overflow was directed through a channel inside the Cave Church.

Notably, the cave floor is slightly elevated above the church floor, suggesting it served as the Holy of Holies, albeit without rock-cut or stone-built seating. Although heavily disturbed, the remaining mosaic floor fragments indicate that it was colourful and adorned with geometric patterns similar to those found in the nearby Northern Church.

Finally, archaeological evidence indicates that the cave predates the construction of the church. Pottery and artefact finds confirm that the three caves located on the eastern slope of *Tell Mar Elias* date back to the Roman period, associated with the encampment site near *Tell al-Kharrar*.

A RE-EXAMINATION OF ARCHAEOLOGICAL EXCAVATION FINDINGS TALL EL-HAMMAM BETWEEN THE VILLAGES OF LOT AND THE COMPANIONS OF AL-AYKAH

Mohammed Waheeb
Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism, The Hashemite University.

Abstract
The site of Tall el-Hammam (located north east of Dead Sea in the Rama and Kufrayn Jordan Valley / historical Livias) is considered one of the largest and most significant archaeological urban complexes particularly regarding its Bronze Age and Chalcolithic fortification walls in Transjordan. In recent decades, it has sparked intense academic debate following the findings of the Tall el-Hammam Excavation Project (conducted in collaboration with an American team). The project hypothesized that the site corresponds to biblical "Sodom" or the " Lot Villages " (Diyār Lūṭ).
Despite the extensive laboratory testing (including chemical and physical analyses of ultra-high temperatures and cosmic/meteoritic impact ejecta) and rigorous field efforts, this hypothesis suffers from a methodological flaw. This flaw stems from neglecting the overarching Qur'anic historical framework and relying exclusively on the biblical text, which lacks a precise account of Prophet Shu‘ayb and his people (Aṣḥāb al-Aykah).
This paper presents a new critical re-examination that repositions the findings of Tall el-Hammam into their correct context, proposing that the site represents the central hub of the (Aṣḥāb al-Aykah) rather than the "Villages s of Lot."

Problem Statement and Hypothesis
The core issue lies in the fact that most of Western archaeological interpretations in Jordan are predominantly governed by biblical texts (Old and New Testaments). Because Prophet Shu‘ayb is presented in the Torah in a non-prophetic capacity (as Jethro, the Priest of Midian), and because "Aṣḥāb al-Aykah" are not explicitly mentioned by name in these texts, this cultural and historical component has been entirely absent from the perspective of western excavators when interpreting the urban catastrophe at Tall el-Hammam.

Research Hypothesis:
Shifting the "Villages of Lot" from the Southern Ghor (Bab edh-Dhra‘, Numeira, and Zoar) to the Central Ghor (Tall el-Hammam) contradicts over a century of accumulated archaeological surveys & excavations and conflicts with Qur'anic geographical consistency. Conversely, the field evidence and scientific data at Tall el-Hammam align precisely with the characteristics, environmental profile, and geographical scope of the"Aṣḥāb al-Aykah".

First: Qur'anic Geography and Spatial Sequence

-The Permanence of Lot’s Villages in the South Ghor: Early archaeologists (such as W. F. Albright and Nelson Glueck), in alignment with the Qur'anic text, established that the Villages of Lot are situated in the Southern Jordan Valley near the Dead Sea basin (Al-Safi / Bab edh-Dhra ' etc.). The Qur'anic texts affirm that both the Villages of Lot and Aṣḥāb al-Aykah lay along the same established trade route (*"And indeed, both [cities] are on a clear highway"* (**Sūrah al-Ḥijr: 79**).

-The Geographical Trajectory of Prophet Shu‘ayb: Midian lies in the southern highlands (the region of Al-Karak and its surroundings). Prophet Shu‘ayb’s northward movement toward the Central Jordan Valley would place him directly in contact with "Aṣḥāb al-Aykah" in the Al-Ramah and Al-Kufrayn region (Tall el-Hammam). This area maintains a logical spatial and

topographical distance from the highlands and is historically characterized by dense water resources and lush vegetation (*Al-Aykah* literally denoting dense, intertwined foliage).

Second: Nature of the Catastrophe and Laboratory Findings

Results published by the American excavation team at Tall el-Hammam demonstrated massive destruction caused by extreme thermal energy originating from the sky (a high-temperature thermal and cosmic airburst/meteoritic event). This led them to immediately link the destruction to the "stones of layered hard clay" (*Sijjīl*) mentioned in the story of Lot.

However, the Qur'anic text explicitly states that Aṣḥāb al-Aykah were also annihilated by a atmospheric catastrophe from above, defined as the **"Punish**ment of the Day of the Shadow" (‘Adhāb Yawm al-Thullah):

{"But they denied him, so the punishment of the day of the shadow took them. Indeed, it was the punishment of a terrible day."} {Sūrah ash-Shu‘arā’: 189}.

This event describes an overarching cloud that showered them with extreme heat and fire, which precisely matches the thermal and shock-wave destruction layers documented in the laboratory analyses of Tall el-Hammam findings.

Third: Linguistic and Historical Analysis of the Texts

1. Etymology of "Al-Aykah" and Environmental Correspondence: Linguistically, *Al-Aykah* refers to dense, tangled trees and lush orchards sustained by abundant water sources. This serves as a direct geomorphological and environmental description of the Al-Kufrayn basin and Rama Valley (Tall el-Hammam), in stark contrast to the far more arid and harsh landscape of the Southern Dead Sea basin.
2. Absence of Biblical Counterparts: The reliance of Western excavators on the Bible as a singular historical framework caused them to overlook the possibility of an adjacent, contemporary civilization closely linked to Midian that suffered a similar catastrophic end. Consequently, the archaeological remains were automatically attributed to the only narrative widely recognized in their tradition (the story of Sodom and Lot).

The rigorous archaeological efforts and precise laboratory testing led by the American team at Tall el-Hammam represent highly valuable scientific work that should not be diminished. However, the Historical Interpretation derived from these results requires critical re-examination and neutral academic scrutiny.

- Primary Conclusion: Attempting to "relocate" the Villages of Lot over 80–100 km northwards from the Southern Ghor to the Central Ghor disregards a century of established archaeological evidence at Bab edh-Dhra‘and Numeira.
- Alternative Model: Reinterpreting Tall el-Hammam as the urban center of Aṣḥāb al-Aykah resolves the geographical contradiction, preserves the historical identity of the Southern Ghor as the realm of Lot’s people, and introduces a new methodological framework that utilizes the Qur'anic text as an independent, rigorous historical and geographical source.

We call upon Arab and Muslim researchers to establish specialized interdisciplinary research groups to study the intersection of archaeological survey data and Qur'anic geography, reducing total reliance on biblical hypotheses:

1. Convene a Scientific Conference Dedicated to Tall el-Hammam: To evaluate recent physical and high-temperature thermal data in light of the concept of *‘Adhāb Yawm al-Thullah* (Punishment of the Day of the Shadow) and the territorial extent of Aṣḥāb al-Aykah.
2. Promote Comparative Linguistic and Environmental Studies: Between ancient place-names in the Central Jordan Valley and the botanical/topographical descriptions recorded in the Holy Qur'an.

Keywords: Civilizations, Heritage, Holy Text, Archaeology, South Jordan.

DOES HABITUAL EXERCISE MODULATE SYSTEMIC INFLAMMATION AND LEFT VENTRICULAR FUNCTION IN DIABETIC PATIENTS WITH ISCHEMIC HEART DISEASE?

Dr Sarah Shahid
Assistant Professor of Physiology, Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan
https://orcid.org/0009-0001-2859-0319

ABSTRACT

Background. Diabetic patients with ischemic heart disease face a double burden: their hearts are already inflamed from chronic hyperglycemia, and they are at high risk of severe dysfunction after a cardiac event. Whether regular physical activity can suppress this baseline inflammatory state and protect the heart is unknown. If it can, it would represent a low-cost, medication-free intervention with major public health implications.

Methods. We studied 150 ischemic heart disease patients from two cardiac centers in Peshawar, including 92 diabetic patients. Patients reported their habitual exercise level, which was classified into four categories using metabolic equivalents (METs): sedentary (<1.5 METs, <150 min/week), lightly active (1.5-3.9 METs), moderately active (3.0-5.9 METs), or vigorously active (>6.0 METs, >300 min/week). We measured their systemic inflammatory burden and ejection fraction and compared outcomes across activity levels.

Results. In diabetic patients, sedentary behavior was associated with a systemic inflammatory marker (neutrophil-to-lymphocyte ratio) of 5.40 and an ejection fraction of 49.0 percent, with 45.5 percent meeting criteria for left ventricular systolic dysfunction. Moderately active diabetic patients had a ratio of 2.13, ejection fraction of 61.5 percent, and zero cases of systolic dysfunction. The correlation between activity level and inflammation was strong and statistically significant (rho = minus 0.422, p<0.0001). Non-diabetic patients showed the same anti-inflammatory benefit of activity, suggesting the protective effect is not negated by diabetes status.

Conclusion. Habitual physical activity suppresses systemic inflammation and protects left ventricular function in diabetic ischemic heart disease patients. The benefit is substantial enough to be clinically relevant and appears independent of diabetes status. Activity promotion should be a cornerstone of care in this high-risk population.

Keywords. Diabetic ischemic heart disease; physical activity; systemic inflammation; left ventricular function; neutrophil-to-lymphocyte ratio; Exercise

STRATEGIC HUMAN RESOURCE MANAGEMENT AND ORGANIZATIONAL EFFECTIVENESS

Seifeslasie Asmamaw
Bahir Dar University

Abstract
Strategic human resource management plays a vital role in improving organizational effectiveness by aligning human resource practices with organizational goals and long-term strategies. This systematic review synthesizes recent evidence on the relationship between strategic human resource management and organizational effectiveness, emphasizing key practices, emerging trends, implementation challenges, and future research directions. The review indicates that effective human resource practices, including talent management, employee training and development, performance management, compensation, and employee engagement, enhance productivity, innovation, employee commitment, and sustainable competitive advantage. However, organizational culture, leadership commitment, technological change, and resource limitations continue to affect successful implementation. The findings also highlight the increasing importance of digital technologies and data-driven human resource practices in strengthening organizational performance. This review provides valuable insights for researchers, managers, and policymakers seeking to improve organizational effectiveness through strategic human resource management and identifies priorities for future research.
Keywords: Human resource management, Organizational effectiveness, Employee performance, Talent management

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE ROLE OF AUDITING IN ENHANCING ACCOUNTABILITY IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS IN GOMBE STATE: A CASE STUDY OF GOMBE STATE MINISTRY OF FINANCE

Murtala Mohammed Baba
Department of Accounting, School of Management Sciences, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria
Ahmadi Abubakar Majidadi
Department of Accounting, School of Management Sciences, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria
Aminu Adamu Ahmed
Department of Information Communication Technology, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria

Abstract
Public sector accountability remains a critical governance challenge in Nigeria, with persistent concerns about financial mismanagement, audit query backlogs, and weak accountability mechanisms in state-level ministries. This study examined the role of auditing specifically internal audit function, external audit quality, audit independence, and audit reporting timeliness in enhancing public sector accountability at the Gombe State Ministry of Finance, with governance quality as a mediating variable. Anchored in Agency Theory and Stewardship Theory, the study adopted a quantitative cross-sectional survey design with a structured questionnaire administered to 230 staff using stratified random sampling. IBM SPSS Statistics Version 29 was used for descriptive and reliability analysis, while SmartPLS Version 4 was employed for PLS-SEM and mediation analysis. Results revealed that internal audit function ($\beta = 0.321$, $p < 0.001$), external audit quality ($\beta = 0.278$, $p < 0.001$), audit independence ($\beta = 0.256$, $p < 0.001$), and audit reporting timeliness ($\beta = 0.214$, $p = 0.002$) each significantly and positively influenced public sector accountability (PSA), with governance quality mediating all four paths (VAF: 40.1%–42.3%). Collectively, the model explained 62.9% of variance in PSA ($R^2 = 0.629$). Audit query resolution improved from 38 unresolved cases in 2019 to 12 in 2023, corresponding to improving audit dimension means. All constructs demonstrated strong reliability ($\alpha > 0.82$) and validity (AVE > 0.55). The study recommends strengthening internal audit capacity, mandatory IPSAS-aligned audit reporting, and statutory protection of audit independence to enhance accountability in Gombe State public institutions.
Keywords: Auditing, Public Sector Accountability, Governance Quality, PLS-SEM, Agency Theory, Stewardship Theory, Gombe State

1. Introduction

Public sector accountability is defined as the obligation of public officials and institutions to answer for the use of public resources, the exercise of delegated authority, and the delivery of mandated services constitutes one of the foundational principles of democratic governance and sound public financial management (IPSASB, 2022; Olayinka & Akhidime, 2022). In Nigeria, accountability failures in the public sector have contributed to chronic governance deficits, including budget padding, misappropriation of public funds, ghost worker syndrome, contract inflation, and audit query accumulation all of which undermine the efficient delivery of public services and erode citizen trust in government institutions (Aderibigbe & Jayeoba, 2023; Okeke et al., 2024).

Auditing encompassing both internal and external audit functions constitutes the primary institutional mechanism through which public sector accountability is operationalized and

enforced. Internal auditing provides continuous assurance on the adequacy of internal controls, compliance with financial regulations, and the accuracy of financial reporting within government ministries and agencies. External auditing, conducted by the State Auditor-General's Office and the National Audit Office (for federal entities), provides independent assurance to the legislature and the public on the reliability of government financial statements and the propriety of public expenditure. Together, internal and external auditing form the dual assurance infrastructure that underpins public sector accountability in Nigeria's constitutional framework (FRCN, 2023).

Gombe State, one of Nigeria's 36 states and capital of the North-East's most rapidly developing subregional economy, has in recent years implemented several public financial management reform initiatives, including the adoption of the Treasury Single Account (TSA), partial IPSAS transition, and restructuring of the State Auditor-General's Office. The Gombe State Ministry of Finance (GSMOF) serves as the apex financial management institution for Gombe State Government, overseeing budget preparation, revenue management, expenditure control, and public debt management. Despite these reforms, the Gombe State Auditor-General's Annual Reports (2020–2023) consistently document significant audit query backlogs, delayed audit report submission, and instances of unresolved financial irregularities raising fundamental questions about the effectiveness of current auditing arrangements in enhancing accountability at GSMOF.

While a growing body of literature documents the accountability benefits of auditing in Nigerian public institutions, most studies focus on federal ministries, southern states, or local government councils, with limited empirical attention to North-Eastern state-level ministries (Aderibigbe & Jayeoba, 2023; Olayinka & Akhidime, 2022). Furthermore, the mediating role of governance quality in translating audit inputs into accountability outcomes has been theorized but rarely empirically tested using PLS-SEM in Nigerian state government contexts (Okeke et al., 2024). This study fills both gaps by examining all four audit dimensions simultaneously within a mediation model at GSMOF.

The study objectives are to:

1) assess the influence of internal audit function on public sector accountability;
2) examine the effect of external audit quality on accountability;
3) determine the impact of audit independence on accountability;
4) evaluate audit reporting timeliness's role in accountability;
5) test the mediating role of governance quality;
6) track audit dimension and accountability trends at GSMOF from 2019 to 2023.

2. Literature Review

2.1 Theoretical Framework

This study is grounded in two complementary theoretical frameworks. Agency Theory (Jensen & Meckling, 1976) provides the foundational rationale for auditing in public sector contexts: where principals (citizens, legislature) delegate authority to agents (government officials, ministry managers), information asymmetry creates opportunities for agent opportunism including financial mismanagement, self-dealing, and misreporting. Auditing mitigates agency problems by providing independent verification of financial information, reducing information asymmetry, and imposing accountability costs on non-compliant behavior (Aderibigbe & Jayeoba, 2023). Stewardship Theory (Davis et al., 1997), while acknowledging agency conflicts, argues that stewards, managers intrinsically motivated by organizational success and public service values, voluntarily exhibit accountable behaviors when governance structures support and reinforce stewardship orientation. In the public sector context, Stewardship Theory predicts that where governance quality is high characterized by clear accountability

frameworks, transparent reporting norms, and ethical leadership managers will proactively support audit processes and comply with audit recommendations even beyond what enforcement mechanisms require (Olayinka & Akhidime, 2022). Together, Agency Theory and Stewardship Theory provide a comprehensive motivational framework for understanding how auditing, mediated by governance quality, shapes accountability in Gombe State public institutions.

2.2 Internal Audit Function and Public Sector Accountability

The internal audit function (IAF) in public sector organizations encompasses risk-based audit planning, operational audit execution, financial compliance review, and advisory services on control improvement. An effective IAF is characterized by: adequate staffing with professionally qualified auditors; operational independence from line management; risk-based audit planning aligned with organizational objectives; comprehensive audit coverage across all financial processes; and timely reporting of findings to appropriate governance structures (IIA, 2022). Okeke et al. (2024) found in a study of 18 Nigerian state ministries that IAF effectiveness measured by staffing quality, independence, and coverage comprehensiveness was the strongest predictor of audit query resolution rates ($\beta = 0.44$), with ministries possessing effective IAFs resolving 73% of raised queries within the statutory 60-day response period compared to 31% for those with weak IAFs.

Aderibigbe and Jayeoba (2023) demonstrated in a study of South-Western Nigerian state ministries that IAF investment measured by audit staff-to-auditee ratios and audit coverage frequency was significantly associated with lower rates of financial irregularity disclosures in external audit reports. Globally, the Institute of Internal Auditors (IIA, 2022) documented that public sector entities with mature IAFs (meeting IIA International Standards) exhibited 41% lower incidence of material misstatement in annual financial statements compared to entities with immature or non-compliant IAFs.

2.3 External Audit Quality, Independence, and Reporting Timeliness

External audit quality in the public sector encompasses the technical competence of auditors, adherence to International Standards of Supreme Audit Institutions (ISSAIs), the comprehensiveness of audit procedures, and the relevance and clarity of audit opinions and management letters (AFROSAI-E, 2023). High-quality external audits provide credible independent assurance that reinforces accountability incentives for government officials and satisfies legislative oversight requirements. Olayinka and Akhidime (2022) found that external audit quality was significantly associated with improved budget compliance and reduced financial irregularity rates in Nigerian state governments, with a standardized mean difference of 0.62 between high- and low-quality audit environments.

Audit independence operationalized as freedom from management interference in audit planning, execution, and reporting is recognized as the cornerstone of external audit credibility (ISSAI 10, 2022). In Nigeria, the constitutional independence of the Auditor-General is formally guaranteed, but practical independence is frequently compromised by funding dependence on audited entities, political interference in appointment processes, and career advancement pressures (Okeke et al., 2024). Audit reporting timeliness the speed with which audit reports are submitted to appropriate governance bodies following the close of the audit period is a critical determinant of the accountability value of audit outputs: late reports reduce the relevance of audit findings for legislative oversight and budget decision-making (AFROSAI-E, 2023; Aderibigbe & Jayeoba, 2023).

2.4 Governance Quality as a Mediator

Governance quality encompassing the clarity of accountability frameworks, effectiveness of oversight mechanisms, transparency of financial reporting, ethical leadership quality, and

stakeholder engagement practices constitutes an important mediating variable between audit inputs and accountability outcomes (Olayinka & Akhidime, 2022). High-quality auditing enhances governance quality by generating information that enables oversight bodies to hold management accountable, identify governance weaknesses for remediation, and improve accountability culture over time. In turn, higher governance quality amplifies the accountability impact of audit findings by ensuring that recommendations are acted upon, financial irregularities are sanctioned, and systemic control weaknesses are systematically addressed. This mediation chain has been theorized in public sector accountability literature but has rarely been modeled empirically using structural equation methods in Nigerian state government contexts (Okeke et al., 2024).

3. Methodology

3.1 Research Design and Sampling

A positivist quantitative cross-sectional survey design was adopted. The target population comprised all 230 professional staff of the Gombe State Ministry of Finance, spanning the Budget Office, Internal Audit Department, Accounts Department, Revenue Management Unit, and Finance Policy Division. A stratified random sampling approach was used, with strata defined by department and designation level. All 230 questionnaires distributed were retrieved and valid (100% response rate). Data collection was conducted in October–November 2024 and informed consent was secured from all respondents.

3.2 Instrumentation

The structured questionnaire comprised eight sections: demographics (6 items); Internal Audit Function (5 items, adapted from IIA, 2022); External Audit Quality (5 items, from AFROSAI-E, 2023); Audit Independence (4 items, from Olayinka & Akhidime, 2022); Audit Reporting Timeliness (4 items, from Aderibigbe & Jayeoba, 2023); Governance Quality (5 items, from Okeke et al., 2024); and Public Sector Accountability (6 items covering financial transparency, legislative compliance, audit recommendation implementation, and public value delivery, adapted from IPSASB, 2022). All items used five-point Likert scales. A pilot study with 25 staff confirmed acceptable reliability ($\alpha > 0.70$) across all constructs.

3.3 Data Analysis

IBM SPSS Statistics Version 29 was used for frequency analysis, descriptive statistics, Cronbach's alpha reliability, and normality testing (Kolmogorov-Smirnov). SmartPLS Version 4 was used for PLS-SEM encompassing: measurement model assessment (loadings ≥ 0.70, CR, AVE, HTMT); structural model estimation (path coefficients, R^2, Q^2, f^2) via 5,000-iteration bootstrapping; and mediation analysis using indirect effects with 95% bootstrapped confidence intervals and VAF classification (Hair et al., 2022; Ringle et al., 2023). Additionally, a trend analysis of GSMOF audit dimension scores and audit query resolution data was conducted using SPSS descriptive statistics across five annual periods (2019–2023).

4. Results and Discussion

4.1 Demographic Profile

Table 1 presents the demographic profile of the 230 respondents. Gender distribution was approximately balanced: males 50.9% and females 49.1%. The 31–40 age bracket was the dominant cohort (40.0%), with 30.9% in the 41–50 bracket. Senior Officers constituted the largest designation group (39.6%). HND/B.Sc. holders were the largest educational category (50.4%), with 27.8% holding postgraduate qualifications. Work experience was spread across all bands, with 37.4% having 6–10 years of service.

Table 1: Demographic Characteristics of Respondents (N = 230)

Variable	Category	Frequency	Percentage (%)
Gender	Male	117	50.9
	Female	113	49.1
Age	20–30 years	44	19.1
	31–40 years	92	40.0
	41–50 years	71	30.9
	Above 50 years	23	10.0
Designation	Director/Deputy Dir.	17	7.4
	Principal Officer	52	22.6
	Senior Officer	91	39.6
	Admin. Officer	70	30.4
Qualification	OND/NCE	28	12.2
	HND/B.Sc.	116	50.4
	M.Sc./MBA	64	27.8
	Ph.D./Fellowship	22	9.6
Experience	1–5 years	49	21.3
	6–10 years	86	37.4
	11–20 years	68	29.6
	Above 20 years	27	11.7
Total		**230**	**100.0**

4.2 Audit Trend Analysis (2019–2023)

Table 2 presents the longitudinal trend in audit dimension mean scores and unresolved audit queries at GSMOF from 2019 to 2023. All five audit dimensions showed consistent improvement over the five-year period, with Internal Audit Function improving from 2.91 in 2019 to 3.81 in 2023 reflecting improvements in IAF staffing, coverage, and reporting quality following the 2021 GSMOF Audit Department restructuring. Correspondingly, unresolved audit queries declined from 38 in 2019 to 12 in 2023, a 68% reduction over five years providing objective evidence of improving accountability outcomes. Figure 1 graphically illustrates this improvement trajectory.

Table 2: Audit Dimension Scores and Unresolved Audit Queries – GSMOF (2019–2023)

Year	IAF	EAQ	AI	ART	PSA	Unresolved Audit Queries
2019	2.91	2.84	2.78	2.61	2.88	38
2020	3.11	3.04	2.97	2.82	3.05	31
2021	3.34	3.28	3.19	3.04	3.24	25
2022	3.57	3.51	3.44	3.27	3.51	18
2023	3.81	3.74	3.68	3.57	3.79	12

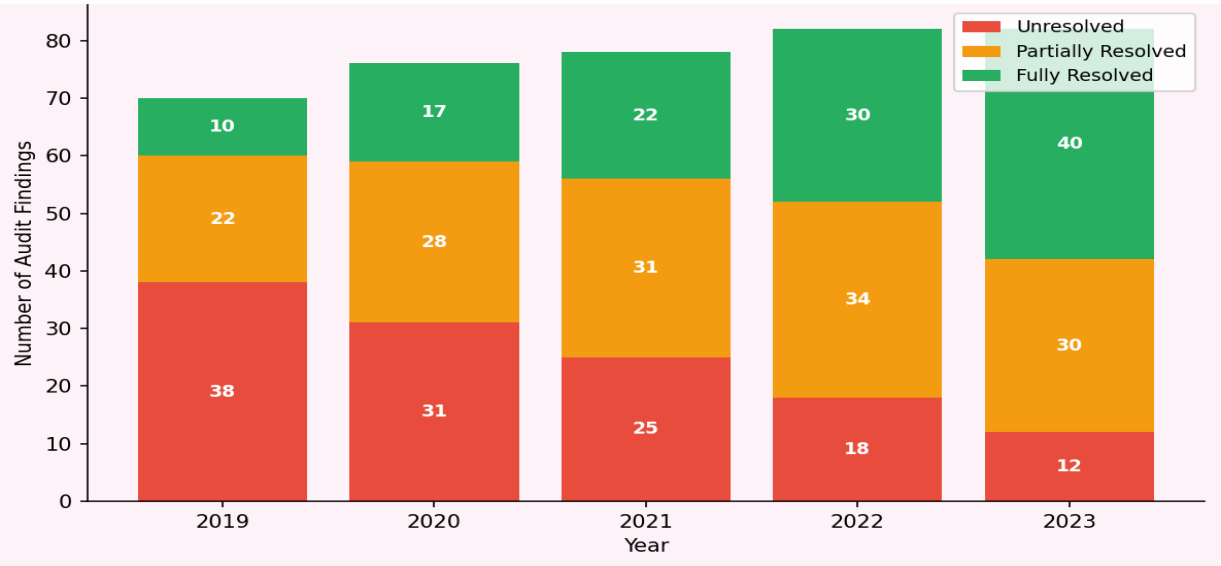


Figure 1: Audit Findings Resolution Trend – Gombe State Ministry of Finance (2019–2023)

4.3 Descriptive Statistics

Table 3 presents construct-level descriptive statistics for the 2024 survey. Internal Audit Function recorded the highest mean (M = 3.81, SD = 0.72), while Audit Reporting Timeliness recorded the lowest (M = 3.57, SD = 0.81) indicating that while internal audit activity has improved, timely submission of audit reports to oversight bodies remains the weakest link in GSMOF's audit accountability chain. Public Sector Accountability (M = 3.79) was rated moderately high, consistent with the objective improvement in audit query resolution rates documented in the trend analysis. All skewness (range: −0.13 to −0.28) and kurtosis (range: 2.87–3.09) values confirmed normality.

Table 3: Descriptive Statistics for All Study Constructs (N = 230)

Construct	N	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
Internal Audit Function (IAF)	230	3.81	0.72	-0.28	2.89
External Audit Quality (EAQ)	230	3.74	0.75	-0.21	3.02
Audit Independence (AI)	230	3.68	0.77	-0.18	2.96
Audit Reporting Timeliness (ART)	230	3.57	0.81	-0.13	3.09
Governance Quality (GQ) — Mediator	230	3.72	0.74	-0.22	2.93
Public Sector Accountability (PSA)	230	3.79	0.71	-0.25	2.87

4.4 Measurement Model

Table 4 presents the measurement model reliability and validity results. Cronbach's alpha values ranged from 0.822 to 0.863, and CR values from 0.860 to 0.893 both well above the 0.70 threshold. AVE values ranged from 0.551 to 0.622, all exceeding 0.50, confirming convergent validity. MSV was below AVE for all constructs, confirming Fornell-Larcker discriminant validity. Table 5 presents HTMT ratios (range: 0.588–0.714), all below 0.85, confirming discriminant validity across all construct pairs (Henseler et al., 2023).

Table 4: Measurement Model – Reliability and Validity (SmartPLS v4)

Construct	Items	Cronbach's α	CR	AVE	MSV
Internal Audit Function	5	0.851	0.883	0.603	0.344
External Audit Quality	5	0.840	0.874	0.581	0.324
Audit Independence	4	0.832	0.868	0.566	0.311
Audit Reporting Timeliness	4	0.822	0.860	0.551	0.298
Governance Quality (Mediator)	5	0.847	0.880	0.594	0.340
Public Sector Accountability	6	0.863	0.893	0.622	0.357

Table 5: HTMT Discriminant Validity Matrix

CONSTRUCTS	IAF	EAQ	AI	ART	GQ
Internal Audit Function (IAF)	—				
External Audit Quality (EAQ)	0.641	—			
Audit Independence (AI)	0.617	0.634	—		
Audit Report Timeliness (ART)	0.588	0.604	0.582	—	
Governance Quality (GQ)	0.697	0.714	0.679	0.651	—

Figure 2 presents the conceptual framework illustrating the mediated paths from auditing dimensions through governance quality to public sector accountability, including the regulatory control variable.

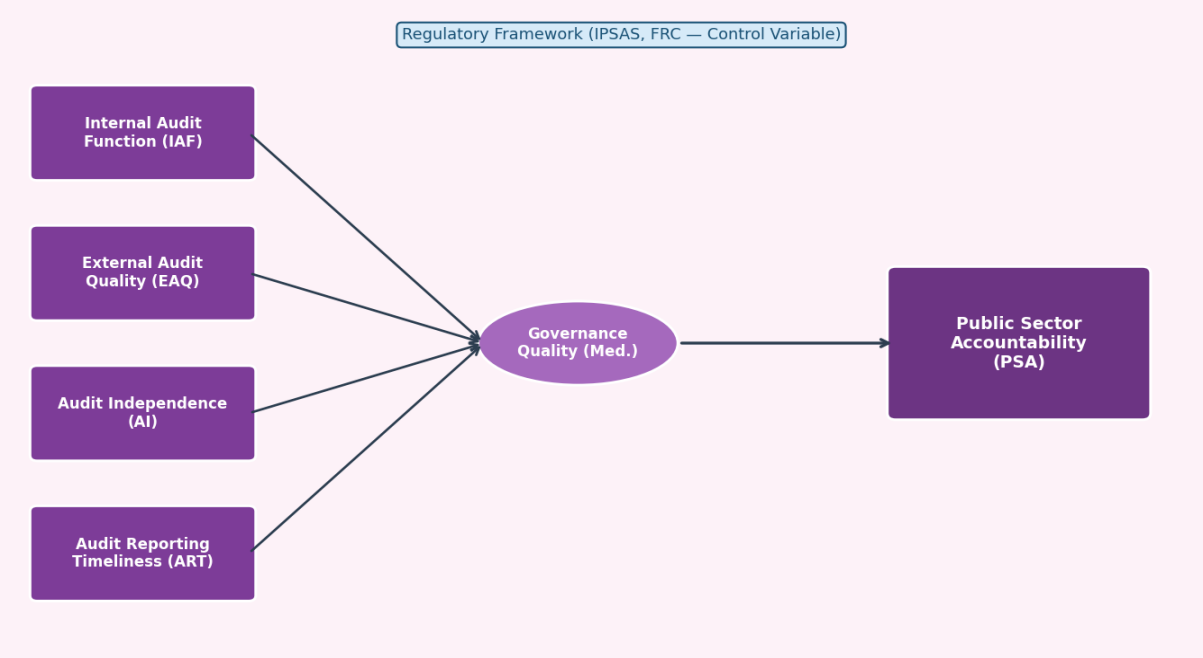


Figure 2: Conceptual Framework – Auditing, Governance Quality and Public Sector Accountability

4.5 Structural Model and Hypothesis Testing

Table 6 presents the structural model results from SmartPLS v4 bootstrapping analysis (5,000 iterations). All six hypotheses were supported at statistically significant levels.

Table 6: Path Coefficients and Hypothesis Testing Results (SmartPLS v4)

Hyp.	Path Relationship	β	t-value	p-value	Decision
H1	Internal Audit Function → PSA	0.321	4.714	0.000	Supported
H2	External Audit Quality → PSA	0.278	4.012	0.000	Supported
H3	Audit Independence → PSA	0.256	3.717	0.000	Supported
H4	Audit Report Timeliness → PSA	0.214	3.128	0.002	Supported
H5	IAF → Governance Quality	0.442	6.318	0.000	Supported
H6	Governance Quality → PSA	0.487	7.014	0.000	Supported

Internal Audit Function was the strongest direct predictor of Public Sector Accountability (H1: $\beta = 0.321$, $t = 4.714$, $p < 0.001$), consistent with Agency Theory's proposition that continuous internal monitoring reduces agent opportunism and information asymmetry between public officials and their principals (Jensen & Meckling, 1976; Okeke et al., 2024). External Audit Quality demonstrated a significant positive effect (H2: $\beta = 0.278$, $p < 0.001$), confirming that higher-quality external audits characterized by comprehensive risk-based procedures, qualified

ISSAI-compliant auditors, and clear audit opinions significantly enhance accountability perceptions and compliance outcomes at GSMOF (AFROSAI-E, 2023). Audit Independence (H3: $\beta = 0.256$, $p < 0.001$) and Audit Reporting Timeliness (H4: $\beta = 0.214$, $p = 0.002$) both demonstrated significant positive effects, consistent with Olayinka and Akhidime (2022) and Aderibigbe and Jayeoba (2023) respectively.

Internal Audit Function significantly predicted Governance Quality (H5: $\beta = 0.442$, $t = 6.318$, $p < 0.001$), establishing IAF as the primary driver of institutional governance quality at GSMOF consistent with Stewardship Theory's prediction that strong internal audit mechanisms reinforce governance structures that support stewardship-oriented management behavior (Davis et al., 1997). Governance Quality in turn significantly predicted Public Sector Accountability (H6: $\beta = 0.487$, $t = 7.014$, $p < 0.001$), confirming its critical role as the intermediary mechanism through which auditing translates into accountability outcomes.

Figure 3 presents the PLS-SEM path model with all significant path coefficients.

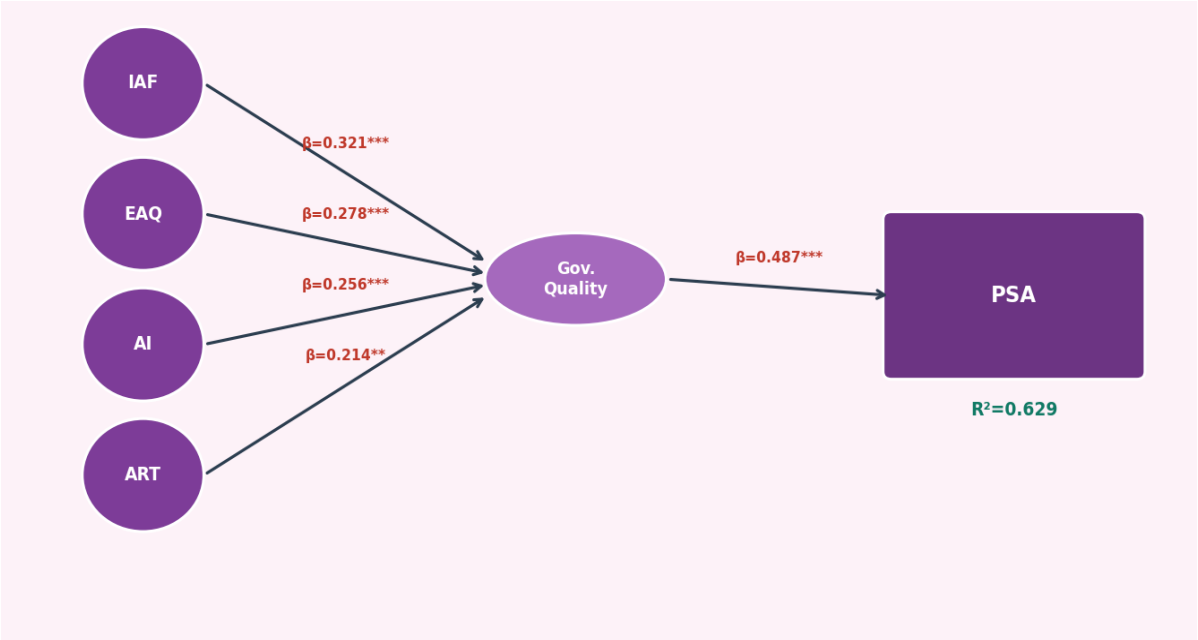


Figure 3: PLS-SEM Structural Model – Path Coefficients and R² Values

4.6 Mediation Analysis

Table 7 presents the mediation results. All four indirect paths through Governance Quality were statistically significant, with 95% bootstrap confidence intervals excluding zero. VAF values ranged from 40.1% to 42.3%, confirming partial mediation in all cases — indicating that auditing dimensions influence accountability both through their effect on governance quality and through residual direct effects. The relatively consistent VAF values across all four audit dimensions (40–42%) suggests that governance quality plays a similarly important mediating role for all audit types, reinforcing the importance of governance system strengthening as a complementary accountability intervention alongside audit capacity investment.

Table 7: Mediation Analysis – Indirect Effects via Governance Quality (SmartPLS v4)

Mediation Path	Indirect (β)	95% CI [LL, UL]	VAF (%)	Type
IAF → GQ → PSA	0.215	[0.161, 0.277]	40.1	Partial
EAQ → GQ → PSA	0.192	[0.138, 0.252]	40.8	Partial
AI → GQ → PSA	0.178	[0.124, 0.238]	41.0	Partial
ART → GQ → PSA	0.157	[0.104, 0.214]	42.3	Partial

4.7 Model Predictive Power

Table 8 presents R^2, Q^2, and f^2 statistics. Public Sector Accountability achieved $R^2 = 0.629$ (Adj. $R^2 = 0.622$), indicating that the four audit dimensions and governance quality collectively explain 62.9% of variance in accountability outcomes, a substantial level of predictive power (Hair et al., 2022). $Q^2 = 0.591$ significantly exceeded zero, confirming predictive relevance. The f^2 effect size for PSA (0.411) indicates a large practical effect. Governance Quality's R^2 of 0.195 reflects the strong influence of IAF in determining institutional governance quality.

Table 8: Model Predictive Power — R^2, Q^2, and Effect Sizes (SmartPLS v4)

Endogenous Construct	R^2	Adj. R^2	Q^2	f^2
Public Sector Accountability (PSA)	0.629	0.622	0.591	0.411
Governance Quality — Mediator	0.195	0.192	0.184	0.242

4.8 Discussion

The dominance of the Internal Audit Function as the primary direct predictor of Public Sector Accountability (β = 0.321) and the strongest predictor of Governance Quality (β = 0.442) confirms the IAF's dual role as both a direct accountability mechanism and a governance system strengthener. This finding is consistent with Agency Theory's prediction that internal monitoring reduces information asymmetry between government officials and their principals (Jensen & Meckling, 1976; Okeke et al., 2024). The improvement in IAF mean scores from 2.91 in 2019 to 3.81 in 2023, accompanied by a 68% reduction in unresolved audit queries, provides objective corroborating evidence that IAF improvements at GSMOF have yielded measurable accountability gains.

The significant partial mediation by governance quality (VAF: 40.1%–42.3%) reveals a critical insight: auditing's accountability benefits are not purely mechanical, they operate substantially through their effect on the broader governance environment. This has important implications for reform strategy: audit capacity investment that is not accompanied by governance strengthening through accountability frameworks, leadership commitment to audit follow-up, and transparent reporting culture will achieve only partial accountability improvement. The Stewardship Theory framework (Davis et al., 1997) predicts exactly this complementarity: stewardship-oriented governance structures amplify the accountability returns from audit investment by ensuring that audit findings are acted upon voluntarily rather than requiring external enforcement.

Audit Reporting Timeliness's significant but comparatively modest effect (β = 0.214) alongside its lowest mean score (M = 3.57) identifies timely reporting as the weakest and most improvement-ready dimension of GSMOF's audit accountability architecture. AFROSAI-E (2023) documented that in Sub-Saharan African public audit offices, audit reports submitted within 90 days of the financial year-end had three times the legislative uptake rate and twice

the management letter implementation rate compared to those submitted after 180 days. Reducing GSMOF's audit reporting lag through workflow digitization, staff capacity enhancement, and legislative mandate reinforcement represents the single highest-return audit improvement opportunity identified in this study.

5. Conclusion

This study has empirically demonstrated that internal audit function, external audit quality, audit independence, and audit reporting timeliness collectively and significantly influence public sector accountability at the Gombe State Ministry of Finance, mediated through governance quality. The PLS-SEM model achieved $R^2 = 0.629$, with all six hypothesized relationships achieving statistical significance and four significant partial mediation pathways confirmed through VAF analysis. Longitudinal trend analysis provided objective corroborating evidence: unresolved audit queries declined from 38 in 2019 to 12 in 2023, corresponding to improving audit dimension scores. These findings validate the integrated Agency Theory and Stewardship Theory framework in the Nigerian state government context and provide a comprehensive evidence base for audit-driven accountability reform at GSMOF.

First, the Gombe State Government should significantly increase budgetary allocation to the GSMOF Internal Audit Department, specifically funding the recruitment of additional professionally qualified auditors (ICAN/ACCA-certified), modern audit management software, and risk-based audit planning capacity. Second, the Gombe State House of Assembly should enact legislation strengthening the statutory independence of the State Auditor-General, including security of tenure, autonomous budget appropriation, and protection from executive interference in audit planning and reporting. Third, GSMOF should implement an Audit Report Tracking System – digital and publicly accessible to monitor the status of audit recommendations from issuance to full implementation, with quarterly public reporting on resolution rates. Fourth, the Gombe State Government should mandate IPSAS-compliant financial reporting for all state MDAs by 2026, aligned with FRCN guidance, to improve the quality of financial information available for external audit and legislative oversight. Fifth, the Office of the Auditor-General for Gombe State should strengthen its collaboration with the African Organization of Supreme Audit Institutions (AFROSAI-E) to access technical assistance for capacity building in ISSAI-compliant audit methodology, quality assurance systems, and performance audit capabilities.

The study's primary limitations include its single-institution focus, cross-sectional survey design, and reliance on staff perceptions rather than objective audit outcome data (e.g., audit query resolution rates from official records, PEFA assessment scores). Future research should incorporate objective accountability metrics including PEFA scores, audit opinion trends, and legislative accountability indices alongside perceptual survey data to triangulate findings. Longitudinal designs tracking accountability outcomes before and after specific audit reform interventions such as IAF restructuring, audit software implementation, or Auditor-General independence legislation would provide causal evidence on intervention effectiveness. Comparative studies across all Gombe State MDAs, or across multiple North-Eastern states, would enable identification of best practices and systemic barriers at the portfolio level.

References

Aderibigbe, T. A., & Jayeoba, O. I. (2023). External auditing and public sector accountability in Nigerian state governments: Evidence from Southwest States. *Journal of Public Sector Accounting and Finance, 9*(2), 88–112.

AFROSAI-E. (2023). Public sector auditing and accountability in Africa: Performance assessment framework (3rd ed.). *African Organization of English-speaking Supreme Audit Institutions.*

Davis, J. H., Schoorman, F. D., & Donaldson, L. (1997). Toward a stewardship theory of management. *Academy of Management Review, 22*(1), 20–47. https://doi.org/10.2307/259223

Financial Reporting Council of Nigeria (FRCN). (2023). Nigerian code of corporate governance 2022: Public sector edition. *FRCN Publications.*

Gombe State Auditor-General's Office. (2020–2023). *Annual reports on the public accounts of Gombe State [2019–2022 editions]*. Gombe State Government Printer.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2022). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review, 31*(1), 2–24. https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2023). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science, 43*(1), 115–135. https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8

Institute of Internal Auditors (IIA). (2022). International standards for the professional practice of internal auditing (2022 ed.). *The IIA.*

International Organization of Supreme Audit Institutions (INTOSAI). (2022). ISSAI 10: Mexico declaration on SAI independence. *INTOSAI Development Initiative.*

IPSASB. (2022). Conceptual framework for general purpose financial reporting by public sector entities. *International Federation of Accountants.*

Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics, 3*(4), 305–360. https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X

Okeke, M. N., Okafor, C., & Ugwu, I. (2024). Internal audit effectiveness and public accountability in Nigerian state ministries: A structural equation modelling approach. *Journal of Financial Crime, 31*(3), 844–868. https://doi.org/10.1108/JFC-09-2023-0217

Olayinka, O., & Akhidime, A. E. (2022). External audit quality and public sector accountability in Nigerian state governments. *International Journal of Auditing, 26*(1), 44–62. https://doi.org/10.1111/ijau.12245

Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J.-M. (2023). SmartPLS 4. *SmartPLS GmbH.* https://www.smartpls.com

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). Research methods for business students (9th ed.). *Pearson Education.*

INVESTIGATION OF THE ELECTROCHEMICAL, STRUCTURAL, AND THERMOELECTRIC PROPERTIES OF LINIO$_2$ CATHODE MATERIAL FOR LI-ION BATTERIES: AN AB INITIO STUDY

A. Leknizi
R. Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco

Both $LiNiO_2$ and NiO_2 crystallise in a trigonal hexagonal structure, belonging to the R-3m space group. Our calculations show that the ferromagnetic phase of $LiNiO_2$ is energetically more stable than its paramagnetic phase; we will therefore focus on this configuration. The insertion of Li^+ ions into the NiO_2 matrix results in a significant expansion of the unit cell volume, by approximately 20 per cent, from approximately 83 Å^3 to 100 Å^3. This expansion is explained both by the increase in interplanar spacing along the c-axis and by the partial reduction of Ni^{4+} ions to Ni^{3+}, or even Ni^{2+}, which have a larger ionic radius. The calculated structural parameters are in good agreement with the experimental and theoretical data available in the literature, and the negative formation energies confirm the thermodynamic stability of both compounds. L'étude de la structure de bandes révèle une asymétrie marquée entre les états de spin-up et de spin-down. Un gap énergétique d'environ 1,31 eV apparaît dans le canal spin-up, alors que les bandes du canal spin-down traversent le niveau de Fermi. Ce comportement met en évidence un ferromagnétisme demi-métallique, où seul le canal spin-up contribue à la conduction électrique. L'analyse des densités d'états totale et partielle confirme ce caractère demi-métallique et montre que ce sont principalement les orbitales 3d du nickel qui dominent au voisinage du niveau de Fermi, entre −2 eV et +2 eV, alors que les états 2p de l'oxygène se situent plus profondément dans la bande de valence. Le lithium, quant à lui, ne contribue quasiment pas au transport électronique, ce qui confirme son rôle de stabilisateur structural plutôt que de porteur de charge actif.
Analysis of the band structure reveals a marked asymmetry between the spin-up and spin-down states. An energy gap of approximately 1.31 eV appears in the spin-up channel, whilst the bands in the spin-down channel cross the Fermi level. This behaviour indicates a semi-metallic ferromagnetism, in which only the spin-up channel contributes to electrical conduction. Analysis of the total and partial density of states confirms this halfmetallic character and shows that it is primarily the nickel 3d orbitals that dominate in the vicinity of the Fermi level, between −2 eV and +2 eV, whilst the oxygen 2p states lie deeper within the valence band. Lithium, on the other hand, contributes virtually nothing to electron transport, which confirms its role as a structural stabiliser rather than an active charge carrier. The thermoelectric properties of $LiNiO_2$ were evaluated over a temperature range from 0 to 800 K using the BoltzTraP code. Electrical conductivity decreases continuously as the temperature rises, reaching a value of approximately 2.47×10^{20} S·m^{-1}·s^{-1} at 300 K, confirming the material's good electrical conductivity and its potential as a cathode. The Seebeck coefficient remains negative between 0 and 700 K, indicating that electrons are the majority charge carriers, before changing sign at around 700 K, reflecting a transition to hole-dominated conduction at very high temperatures. Electronic thermal conductivity, meanwhile, increases gradually with temperature, reaching approximately 1.67×10^{15} W·K^{-1}·m^{-1}·s^{-1} at 300 K. Finally, the power factor peaks at around 1.2×10^{11} W·m^{-1}·K^{-2}·s^{-1} at 50 K, then decreases rapidly before stabilising above 550 K.
Keywords: compound $LiNiO_2$ and Li^+/Li for the voltage.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ASSESSMENT OF THE GROWTH PERFORMANCE AND HEMATO-BIOCHEMICAL RESPONSES OF BROILER CHICKENS FED DIETS SUPPLEMENTED WITH HENNA (*LAWSONIA INERMIS* L.) LEAF POWDER

Shahariar Shazzad
Department of Dairy and Poultry Science, Faculty of Veterinary and Animal Science, Hajee.Mohammad Danesh Science and Technology University (HSTU), Dinajpur, Bangladesh.
Tahera Yeasmin
Department of Dairy and Poultry Science, Faculty of Veterinary and Animal Science, Hajee.Mohammad Danesh Science and Technology University (HSTU), Dinajpur, Bangladesh.
Md. Arafat Jaman
Department of Microbiology and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh-2202, Bangladesh
Emon Ahamed
Department of Microbiology and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh-2202, Bangladesh
Naimur Rahman Sharul
Department of Microbiology and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh-2202, Bangladesh
Jebin Tasmin
Department of Microbiology and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh-2202, Bangladesh
Abtahi Islam Tariq
Department of Microbiology and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Bangladesh Agricultural University, Mymensingh-2202, Bangladesh

Abstract
The present research aimed to assess the impact of henna consumption at different dosages on the production efficacy of broilers. A total of 120 one-day-old chicks was randomly allocated into four dietary treatment groups labelled T0, T1, T2, and T3, each with three replications. The avian subjects in groups T0, T1, T2, and T3 received henna powder at concentrations of 0, 1, 2, and 3% per kilogram of feed, while T0 was administered solely the basal feed. Total body weight increase (g/bird) was markedly ($P<0.05$) elevated in the T2 group broilers (1468.8±28.97) compared to the T3 (1342.6±58), T1 (1428.9±29.29), and T0 (1302.2±10.7) groups, respectively. Total feed consumption (g/bird) was markedly ($P<0.05$) elevated in T2 (2194.75±32.2), succeeded by T3 (2067.5±18.13), T1 (2125±34.59), and T0 (2072.50±17.34) groups, respectively. The overall feed efficiency of broilers was substantially ($P < 0.05$) inferior in T3 (1.45±0.016), T1 (1.41±0.02), and T0 (1.53±0.02) compared to T2 (1.36±0.033). Henna exerted a notable influence on the lipid profiles of broilers ($P <0.05$), with T0 exhibiting elevated levels (165.58 5.11 mg/dl) and T3 displaying diminished levels (132.79 4.34 mg/dl). The levels of carcass, PVC, platelets, WBC, and RBC were statistically significant ($P < 0.05$). The ESR and HDL did not exhibit statistical significance ($P > 0.05$). The maximum profit (taka) per kilogram of broiler was observed in T2 (24.420.25), succeeded by T1 (20.870.33), T3 (13.240.28), and T0 (9.530.21), in that order. Henna at a concentration of 2% per kilogram can be incorporated into feed to enhance the productive performance of broilers.
Key word: Henna *(Lawsonia inermis L.),* broiler, lipid profile, cost-effective

CHALLENGES AND INSTITUTIONAL–STRUCTURAL BARRIERS TO INDIVIDUAL MASTERY IN THE PATH OF IRAN'S POLITICAL ECONOMY UNDERDEVELOPMENT

Vorya Shabrandi
Dr. Sajjad Bahrami Moghadam
(The Gap Between Individual Capability and Institutional Structure in Iran)

Abstract:

This article investigates the structural obstacles to individual mastery in Iran's political economy through the design and testing of an interdisciplinary conceptual model. The central research question asks why, despite significant human capital, talented individuals and elites are unable to progress through the final stages of professional and intellectual mastery in Iran. To address this, three complementary theoretical frameworks are employed: first, Douglas North's theory of extractive institutions to explain the institutional roots of underdevelopment; second, Nassim Taleb's concepts of *antifragility* and "*skin in the game*" to highlight the lack of accountability in power structures; and third, Ali-Reza Qoli's sociological analysis of elite suppression to account for historical barriers that reproduce underdevelopment. These frameworks are integrated with Robert Greene's six-stage mastery model call, apprenticeship, practice, creativity, intuition, and mastery. The findings indicate that most stages of mastery in Iran face institutional, educational, cultural, and political obstacles, leading to outcomes such as brain drain, exclusion of independent elites, and incomplete personal development. Accordingly, the study proposes the "*Cycle of Mastery Challenges*" model as an explanation of systemic barriers to development, emphasizing the need for institutional reform, power redistribution, and a learning-oriented culture to enable mastery as a developmental right. The research demonstrates how a rent-seeking structure, weak institutions, and systematic elite suppression transform mastery into an individual, migration-driven, and exceptional phenomenon in Iran. Ultimately, the proposed conceptual model suggests that overcoming the cycle of underdevelopment requires institutional reorganization, balanced power distribution, and restored accountability among decision-makers.

Keywords: Iran, mastery, underdevelopment, institutional economics.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ROAD SAFETY AND INFRASTRUCTURE DEFICIENCIES ON THE LOKOJA-FELELE EXPRESSWAY: EVIDENCE-BASED RECOMMENDATIONS FOR ACCIDENT REDUCTION

Guma, Edward Pishikeni
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Olonilenbi Patience
Department of Building Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Haruna, Akoji Agustine
Department of Building Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Simpa, Aliyu Abdulaziz
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Usman, Abdulazeez A.
Department of Architectural Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

ABSTRACT

Road traffic accidents remain a major challenge to sustainable transportation in Nigeria, with the Lokoja-Felele section of the Abuja-Okene Expressway recording an alarming frequency of crashes, particularly involving heavy-duty trucks. The persistence of accidents at nearly the same location over the years has not only resulted in loss of lives and properties but has also forced many residents to relocate from the area. This study was therefore conducted to assess the level of compliance of the Lokoja-Felele highway section with Nigerian Federal Highway design standards and to propose practical recommendations for improving road design and safety measures to reduce accidents. The study adopted a mixed-method approach. Field assessment using GNSS receiver, remote sensing data, ArcGIS, and AutoCAD Civil 3D was carried out to evaluate geometric parameters such as lane width, gradient, shoulders, central reservation, drainage, and signage. In addition, 130 structured questionnaires were administered to regular road users, including drivers, passengers, and motorcyclists, to capture perception of safety and identify priority interventions. Results revealed significant non-compliance with design standards. The carriageway width of 7m per direction meets the standard for a 2-lane arterial road. However, critical deficiencies were observed: the central reservation was inconsistent and disappeared completely at the Felele bus stop hotspot; paved shoulders and verges were absent, leading to direct interface between traffic and buildings; drainage infrastructure was lacking, causing flooding and rapid pavement deterioration; and road markings, warning signs, and pedestrian crossings were either faded or absent. Topographic analysis further showed that steep slopes in some sections combined with poor drainage increase the risk of loss of vehicle control. Perception data corroborated the engineering findings. Approximately 95.4% of respondents rated the section as unsafe, while 100% identified Felele bus stop during morning hours as the most dangerous location, citing the disappearance of the median and high traffic convergence as key factors. A total of 26.2% of respondents reported direct involvement in an accident on the section within the last 12 months. Based on these findings, this study proposes evidence-based and practical recommendations. Key engineering interventions include: 1) Installation of speed bumps and road humps at Felele bus stop and other hotspots to enforce speed reduction, a measure prioritized by 68.5% of respondents; 2) Provision of paved shoulders and verges to accommodate breakdowns and prevent lane blockage; 3) Restoration and widening of the central reservation with installation of crash barriers to separate opposing traffic and eliminate conflict points; 4) Upgrading of

drainage systems, including lined drains and culverts, to mitigate flooding and protect pavement integrity; and 5) Enhancement of road markings, reflective signage, and designated pedestrian crossings to improve visibility and safety for all users. Complementary non-engineering measures are also recommended, including permanent deployment of road safety officials at critical hours and locations, strict enforcement of speed limits for heavy-duty vehicles, and continuous public awareness campaigns on road safety. In conclusion, the integration of these design improvements and safety measures will enhance compliance with national standards, reduce accident frequency, and improve the overall safety, efficiency, and resilience of the Lokoja-Felele section of the Abuja-Okene Expressway.

Keywords: Road safety, Highway design standards, Accident reduction, Speed management, Road infrastructure, Lokoja-Felele Expressway

COMPUTATIONAL INVESTIGATION OF ELECTRONIC PROPERTIES AND ATOMIC CHARGE DISTRIBUTION IN DNA NUCLEOBASES USING RHF, DFT AND MP2 METHODS

Salihu Abubakar
Salihu Abubakar, School of Applied Sciences,Department of Science Laboratory Technology,Kogi State Polytechnic, Lokoja ,Nigeria
Gidado A.S.
Gidado A.S, Faculty of Physical Sciences,Department of Physics, Bayero University, Kano, Nigeria
Abdulazeez S.U.
Abdulazeez S.U School of Applied Sciences,Department of Science Laboratory Technology,Kogi State Polytechnic, Lokoja ,Nigeria.

ABSTRACT
Understanding the electronic structure and charge distribution in DNA nucleobases is fundamental to elucidating their biological functions. This study presents a comprehensive computational investigation of the electronic properties of adenine, cytosine, guanine, and thymine using RHF, DFT (B3LYP and LSDA), and MP2 methods with a 6-31+G basis set. The Mulliken atomic charges, HOMO-LUMO energy gaps, dipole moments, and polarizabilities were calculated and analyzed. The charge distribution showed significant dependence on the computational method, with RHF and MP2 producing identical results, while DFT methods yielded different values. All hydrogen atoms exhibited positive charges, consistent with their role as charge donors, while nitrogen and oxygen atoms showed negative charges. The highest positive charges were observed on H7 (adenine: 0.484964), H10 (cytosine: 0.487257), H14 (guanine: 0.506779), and H11 (thymine: 0.525505), indicating positions prone to hydrogen bonding. Guanine showed the highest HOMO-LUMO energy gap (11.4930 eV at RHF/6-31G), dipole moment (7.2120 D at B3LYP/6-31G), and polarizability (76.337 a.u. at LSDA/3-21G), consistent with its role in DNA stability. These findings provide insights into the electronic factors governing DNA base pairing and molecular recognition.
Keywords: DNA nucleobases, Mulliken charges, HOMO-LUMO, dipole moment, polarizability, DFT

THE EFFECT OF HONEY AND GINGER ON *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* AND *BACILLUS SPP*

Vandefan John Adekwagh
The Department of Microbiology, Veritas University, Abuja
Vandefan James
Nigerian Police Force, Force Headquarter, Abuja
Ode Onyeche Ann
Department of Geography and Environmental management, Faculty of Geography and Atmospheric Sciences, Abuja University, Nigeria

ABSTRACT
The research evaluates the effects of Honey and Ginger on two common throat bacteria, including Staphylococcus aureus and Bacillus spp. For bactericidal assays, honey and ginger solutions were made in the lab after the target bacteria were isolated through culturing and identification methodologies. An assessment was performed for the effectiveness of honey and ginger on specific bacterial strains through broth microdilution and disc diffusion techniques. With varying degrees of efficacy, the results indicated that honey and ginger had clear bactericidal action against Staphylococcus aureus and Bacillus spp. The study aims to assess the possible bactericidal effects of two natural compounds–honey and ginger–on two common throat-related bacterial species: Staphylococcus aureus and Bacillus spp. The bacteria used were obtained through culture and identification methods while bactericidal test preparations, honey, and ginger solutions were made. In broth microdilution and disc diffusion methods, the effectiveness of the selected bacterial species with honey and ginger was tested against a control (ciprofloxacin). Honey and ginger exhibited clear bactericidal qualities on both Staphylococcus aureus and Bacillus spp, although differing in effectiveness against bacterial infections in the throat. The findings showed that studying additional treatments outside normal medicine is possible. Furthermore, results have shown that honey and ginger have healing properties essential to suppress bacteria causing resistant throat infections.

KEYWORDS: Staphyllococcus aureus , Baccilus sp, Bactericidal, Assay, solutions

CHAPTER ONE

INTRODUCTION

1.0 BACKGROUND OF THE STUDY

Honey and ginger are well-known names in Nigeria and Africa due to their nutritional and medicinal benefits. Garlic, onion, and clove, among other plant and non-plant-based natural products, have strong antimicrobial properties (Dresden, 2020). Honey is an organic sweet material that is produced naturally by honeybees from plant nectar as well as flowers of other plants (Pavlova et al., 2018). (Margaôan et al*, 2021) stated that honey is a valuable product with various nutritional elements, including minerals and vitamins, and can perform antibacterial functions and possess antioxidants. Non-enzymatic compounds include ascorbic acid, proteins, and amino acids, while the main contributors to its antioxidative properties are those such as glucose oxidase, among others (Afroz* et al*, 2023). Osmotic activity, high acidity, and the presence of antimicrobial compounds like hydrogen peroxide all contribute to honey's high antimicrobial properties (Almasaudi, 2021).*

Throat-related bacterial infections pose significant health concerns, with organisms like Staphylococcus aureus *and sporadically* Bacillus spp *implicated in such infections. At the same time, conventional antibiotic treatment exists, and increasing antibiotic resistance emphasizes*

the need for alternative therapies. The pressing need to tackle these issues demands investigating substitute methods. The potential bactericidal properties of ginger and honey extracts as viable natural substitutes are the main focus of this study. Studying these extracts aims to help develop efficient management plans for Staphylococcus aureus *and* Bacillus spp *infections, which will have broader implications for infectious diseases. This research aims to close the gap between natural substances and traditional therapies, providing a thorough and cutting-edge strategy to fight bacterial infections.*

CHAPTER 2

2.0 LITERATURE REVIEW

2.1 HONEY

Honey is a naturally occurring product made by honeybees (Apis mellifera; Family: Apidae) from the nectar of flowers. Humans have utilized honey since prehistoric times, some 5500 years ago. It has been a food and medical product since the earliest times. Honey is a complex mixture with significant variations in composition and characteristics due to its geographical and botanical origin. Its main features depend on the floral origin or the nectar foraged by bees (Machado et al.,*2018). Most of the ancient population, including the Mayans, Babylonians, Greeks, Chinese, Egyptians, Romans, and Egyptians, consumed honey for nutritional and medicinal purposes. The only natural product derived from insects is honey, used in industry, cosmetics, medicine, and nutrition. Honey is regarded as a healthy diet enjoyed by people of all ages, both men and women. Honey can be kept unopened at room temperature in a dry place and does not need to be refrigerated because it never goes wrong. Honey has a water activity (WA) of 0.56 to 0.62 and a pH value of nearly 3.9 (Zarei* et al, *2019*). *Honey's high fructose content (25% sweeter than table sugar) has made it a popular natural sweetener since ancient times.*

Furthermore, honey is becoming a more and more common ingredient in drinks. These days, a wide range of unidentified activities are suggested in general magazines, journals, and leaflets promoting natural products, along with information on using honey as a remedy for numerous human ailments. Honey has several positive health effects, including effects on the nervous system, gastrointestinal tract, respiratory system, antibacterial, anti-inflammatory, and antidiabetic.



Fig 1 **Honey**

2.1.1 COMPOSITION OF HONEY

Honey's composition varies mainly depending on the floral source, but seasonal, environmental factors and processing conditions are also important.

1. CARBOHYDRATES

Sugar in honey is not a single species but consists of three kinds of sugar. These are fruit sugar (fructose), which is among the highest (41%), and grape sugar (glucose), which has about 34% of ordinary sugar (sucrose), which is between 1 and 2%. The ratio of one type of sugar to another depends on the source, i.e., flower pasture, and to some extent on enzyme invertase, which breaks down regular sugar in grapes and fruit. This enzyme is located in the flower from which the bees collect nectar and is also present in the bee's body (Tafere, 2021).

2. AMINO ACIDS AND PROTEINS

Proteins come in honey from nectar and pollen as an integral part of plants. Proteins in honey may be in the form of a very complex structure or the form of simple compounds (*amino acids*). *The content of amino acids and proteins is relatively small. Honey contains almost all physiologically critical amino acids. The primary amino acid is proline, a measure of honey ripeness. The proline content of normal honey should be more than 200 mg/kg. Values below 180 mg/kg mean that sugar addiction probably adulterates honey (Sommano* et al., 2020).

3. MINERALS AND TRACE ELEMENTS

Honey contains various amounts of mineral substances. The main element in honey is potassium, besides many other elements such as chlorine, sulfur, calcium, sodium, phosphorus, magnesium, iron, and copper (Balkanska et al.*, 2020). The amount of*

CHAPTER THREE

3.0 MATERIALS AND METHOD

3.1 STUDY AREA

This research work will be carried out at the Department of Microbiology Laboratory, Veritas University Abuja (VUNA), also known as the Catholic University of Nigeria. The Catholic Bishops Conference of Nigeria founded it through a resolution at its March 2002 meeting in Abuja. The initiative was born by the collective desire of the attending Bishops for a University that would provide high-quality tertiary education according to the tradition of the Catholic Church.



Figure 3.1: Map of Bwari showing Veritas University Abuja

3.2 MATERIALS

Nutrient agar, Mueller–Hinton agar blood agar, crystal violet, iodine, acetone, 80% alcohol, safranin, Petri dishes, beakers, spatula, wire loops, cotton wool, and filter papers (WhatmanNo1), measuring cylinders, sterile sample bottles, pipettes, conical flasks, sterile

swab sticks, aluminum foil, glass rods, glass spreader, funnel, Bunsen burner, disposable hand gloves, and laboratory coat, autoclave, hot-air-oven, a microscope and slides, electronic weighing balance, incubator, refrigerator.

3.3 SAMPLE COLLECTION

The sample was obtained from students of Veritas University using sterile swab sticks inserted into their throats.

3.4 COLLECTION AND PREPARATION OF HONEY AND GINGER

Locally made honey was obtained from Benue state, and then the ginger was gotten from within the household and then washed to remove dirt, cut up into small pieces, and allowed to dry for two weeks at room temperature and blended.

3.5 EXTRACTION PROCESS (GINGER)

The ginger extrication was obtained using the cold maceration technique in a glass container beaker for 48 hours. The extract was filtered using Whatman filter paper and a glass funnel. The filtrate was then evaporated to dryness using a water bath at 50°C to give a light brownish residue.

3.6 ISOLATION AND IDENTIFICATION OF BACTERIA

A sterile cotton swab was used to collect samples from the throat. Afterward, the sample was streaked onto the prepared nutrient agar plates using aseptic techniques, and the plates were then incubated at 37 degrees Celsius for 18-24 hours to observe the organism's growth.

3.6.1 MICROSCOPIC EXAMINATION

The isolates were subjected to gram staining as follows:

Smears of the cultures were prepared gently on a slide. Take the smears and air-dry them before passing through a gentle flame on the Bunsen burner in a circular manner. Take 10-60 seconds for the flooded crystal violets in the smears to stand; rinse off the excessive staining by gently passing sterile water over it from a plastic wash bottle. Put iodine solution into the smears after they have stood for 10 to 60 seconds; then rinse the slides with running water. Smears were decolorized with a few drops of acetone and then rinsed with water after 5 seconds until the color stopped flowing over the slide. Smears were counter-stained immediately with safranin for 10 to 60 seconds, then washed off with water, blotted with blotting paper to remove the excess water, and allowed to air-dry. The slides were observed on the microscope with oil immersion on the objective lens. The results were recorded as positive for the purple bacteria and negative for the red or pink bacteria (Tripathi and Sapra, 2020).

3.6.2 BIOCHEMICAL IDENTIFICATION

3.6.2.1 METHYL RED TEST

To ascertain the microorganism's capacity to oxidize glucose while producing and stabilizing high levels of acid end products. After 48 hours of inoculation on methyl red broth at 37 °C, 5 ml of the methyl indicator was added. Red colors are indicative of positive results. Negative is indicated by yellow (McLaughlin and Petersen 2018).

3.7 ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY TESTING

The well method was used for testing. Agar plates with concentration of Staphylococcus aureus and Bacillus spp *were prepared. Ginger and honey extracts were applied to wells, and inhibition zones were measured.*

3.8 MEASUREMENT OF INHIBITION ZONES

The diameter of inhibition zones surrounding the disc containing honey and ginger extract on agar plates were measured, and Results were recorded and analyzed as an indicator of antimicrobial activity.

CHAPTER FOUR

4.0 RESULTS AND DISCUSSION

4.1 MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS

Characteristics	*S.aureus*	*B.spp*
Shape	Circular	Circular
Size	0.5-1.5 micrometers	0.5-1.0 micrometers
Color	Yellow	Creamy white
Elevation	Convex	Convex
Margin	Entire	Entire
Transparency	Opaque	Opaque
Wet/ dry	Wet	Wet

Table 4.1 shows the morphological characteristics of the isolates from the throat.

4.2

4.3 ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY OF TEST ORGANISM (STAPHYLOCOCCUS AUREUS AND BACILLUS SPP) TO THE SAMPLES (HONEY AND GINGER)

Antimicrobial efficacy was carried out to show the antimicrobial effect of honey and ginger on

Staphylococcus aureus and *Bacillus spp*

4.3.1 Antimicrobial Susceptibility of Staphylococcus aureus to Different Concentrations of Honey and Ginger

EXTRACTS	**ZONE OF INHIBTION (MM)**			**MIC**	**CONTROL (MM)**
100 %		**80 %**	**60 %**		
HONEY	**10.0**	**8.0**	**2.0**	**60%**	**2.6**
GINGER	**8.0**	**6.0**	**0.0**	**60%**	**2.6**

Control= ciprofloxacin

4.3.2 Antimicrobial Susceptibility of Bacillus spp to Different Concentrations of Honey and Ginger

EXTRACTS	ZONE OF INHIBTION (MM)			MIC	CONTROL (MM)
	100 %	80 %	60 %		
HONEY	8.0	4.0	2.0	60 %	2.2
GINGER	10.0	4.0	2.0	60 %	2.2

Control= ciprofloxacin

The Staphylococcus aureus and Bacillus spp *used and isolated in this research are the microbes. These bacteria have been exposed by many researchers to different antimicrobial agents (Ali et al., 2014; Tumin et al., 2005).* Bacillus *bacteria are complex forms of life that can be located in different surroundings, namely: air; soils; and water sources all around our planet. They are also known to live on the surface of our bodies, including the throat, where they are usually considered as part of healthy microbes. This bacteria that are typically considered non-pathogenic, coexist without damage. Yet* Bacillus spp *are able to act as opportunistic pathogens under certain conditions, mainly among individuals who have compromised immunity. The human throat and nasal passage can be colonized by the bacterium* Staphylococcus aureus *In contrast to* Bacillus spp. Staphylococcus aureus *inhabits throats or nasal passages but this does not lead to any diseases but pathogenicity can sometimes still occu. It is well-established that agents like honey, ginger, etc., confer antimicrobial activity. Antimicrobial sensitivity of* Staphylococcus aureus *and* Bacillus spp *to honey and ginger extract at different concentrations was carried out.*

Honey was shown to be 100% effective for treating Staphylococcus aureus *over a wide concentration range. The findings of this study are comparable to those of Khalil et al. (2014), who reported inhibition zones from 2 – 10 mm in diameter (Saad et al., 2017; Yelin & Kundadi, 2019). Ginger inhibited* Staphylococcus aureus *at 100% and 80% while being resistant at 60% concentration.*

All concentrations exhibited zones of inhibition varying from 2 mm to 8 mm on Bacillus spp since it indicated 100% sensitivity towards honey; at the same time, this bacterium showed sensitivity to ginger extract in a similar pattern.

From the above expression, it is safe to hypothesize that the lower the gradient of antimicrobial agent in honey and ginger in a solution, the lower its effect or sensitivity to microorganisms. Also, the higher the natural product in a mixture, the more its antimicrobial activities.

Recommendation

It is essential to encourage the wider use of natural products with antimicrobial properties, as they not only provide effective alternatives to conventional drugs but also reduce the risk of resistance development. Specifically, honey and ginger can be formulated into safer therapeutic options that lack the adverse side effects often associated with synthetic medications. Beyond their antimicrobial action, these natural remedies also offer nutritional

and therapeutic benefits, making them cost-effective and valuable for both preventive and curative healthcare.

Conclusion

Honey and ginger, long valued in traditional medicine, have consistently demonstrated potent antibacterial properties. Modern scientific investigations now confirm their effectiveness against pathogens such as *Staphylococcus aureus* and *Bacillus spp.*, supporting the idea that natural compounds can serve as reliable alternatives to synthetic antimicrobials. Their dual role in providing therapeutic benefits and reducing the risk of resistance highlights their relevance in contemporary healthcare, offering safer, cost-effective, and nutritionally beneficial options for managing throat-related bacterial infections.

REFERENCES

Afroz, R., Tanvir, E. M., and Hossain, M. M. (2023). Physical properties of honey. *Honey: Composition and health benefit* (pp. 12-31).

Almasaudi, S. (2021). The antibacterial activities of honey. *Saudi Journal of Biological Sciences, 28*(4), 2188-2196.

Andersson, D. I., Balaban, N. Q., Baquero, F., Courvalin, P., Glaser, P., Gophna, U., ... and Tønjum, T. (2020). Antibiotic resistance: Turning evolutionary principles into clinical reality. *FEMS Microbiology Reviews, 44(*2), 171-188.

Ali Talha Khalil, Imran Khan, Kafeel Ahmad, Yusra Ali Khan, Jangrez Khan, Zabta Khan Shinwari. (2014). Antibacterial activity of honey in north-west Pakistan against select human pathogens. *Journal of Traditional Chinese Medicine*,34(1): 86-89

Arablou, T., and Aryaeian, N. (2018). The effect of ginger (Zingiber officinale) as an ancient medicinal plant on improving blood lipids. Journal of herbal medicine*, 12, 11-15.*

Balkanska, R., Stefanova, K., and Stoikova–Grigorova, R. (2020). Main honey botanical components and techniques for identification: A review. Journal of Apicultural Research, 59*(5), 852-861.*

Bengtsson-Palme, J., Kristiansson, E., and Larsson, D. J. (2018). Environmental factors influencing the development and spread of antibiotic resistance. FEMS microbiology reviews, 42*(1), fux053.*

Boye, A., Ekanem, P., Hailu, T., & Hordofa, I. (2022). Histopathological Evaluation of Ethanolic Leaf Extract of Lippia adoensis on Liver, Kidney, and Biochemical Parameters in Swiss Albino Mice. Hepatic Medicine: Evidence and Research, 14*, pp. 123–133.*

Cherian, T. S., Subramaniam, P., and Gupta, M. (2020). Erosive effect of milk, honey, cereal porridge, and millet porridge on enamel of primary teeth: An in vitro study. Indian Journal of Dental Research, 31*(1), 129-133.*

Christaki, E., Marcou, M., and Tofarides, A. (2020). Antimicrobial resistance in bacteria: Mechanisms, evolution, and persistence. Journal of Molecular Evolution, 88(*1), 26-40*

Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., and Fett, R. (2017). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. Food Chemistry, 196, *309-323.*

Ding, D., Wang, B., Zhang, X., Zhang, J., Zhang, H., Liu, X., ... and Yu, Z. (2023). The spread of antibiotic resistance to humans and potential protection strategies. Ecotoxicology and environmental safety*, 254*, 114734.

Dresden, D. (2020). Top seven safe effective natural antibiotics. Retrieved from https://www.medicalnewstoday.com/articles/321108 on 5/03/2021.

Fatima, Z., Purkait, D., Rehman, S., Rai, S., and Hameed, S. (2023). Multidrug resistance: A ` threat to antibiotic era. In Z. Fatima, D. Purkait, S. Rehman, S. Rai, and S. Hameed ` (Eds.), *Biological and Environmental Hazards, Risks, and Disasters* (pp. 197-220). *Elsevier.*

Fayisa, W. O., and Tuli, N. F. (2023). Review on Staphylococcus aureus. *International ` Journal of Nursing Care Research, 1(*1), 1-8.

Ferri, M., Ranucci, E., Romagnoli, P., and Giaccone, V. (2017). Antimicrobial resistance: A ` global emerging threat to public health systems. *Critical Reviews in Food Science and ` Nutrition, 57*(13), 2857-2876.

Frieri, M., Kumar, K., and Boutin, A. (2017). Antibiotic resistance. *Journal of Infection and ` Public Health, 10*(4), 369-378.

*Gasmi, A., Shanaida, M., Oleshchuk, O., Semenova, Y., Mujawdiya, P. K., Ivankiv, Y., and ` Bjørklund, G. (2023). Natural ingredients to improve immunity.* Pharmaceuticals, ` 16(*4), 528.*

Gnanamani, A., Hariharan, P., and Paul-Satyaseela, M. (2017). Staphylococcus aureus: ` Overview of bacteriology, clinical diseases, epidemiology, antibiotic resistance and ` therapeutic approach. Frontiers in Staphylococcus aureus, 4*(28), 10-5772.*

Gulumbe, B. H., Haruna, U. A., Almazan, J., Ibrahim, I. H., Faggo, A. A., and Bazata, A. Y. ` (2022). Combating the menace of antimicrobial resistance in Africa: A review on `stewardship, surveillance and diagnostic strategies. Biological Procedures Online, ` 24(*1), 19.*

Harada, L. K., Silva, E. C., Campos, W. F., Del Fiol, F. S., Vila, M., Dąbrowska, K., and ` Balcão, V. M. (2018). Biotechnological applications of bacteriophages: State of the ` art. Microbiological Research, 212, *38-58.*

Hayder, I., and Jawed, H. (2023). Evaluation of wound healing properties of natural honey. ` Pakistan Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 56(3), 87–94.

Ibrahim, J., Eisen, J. A., Jospin, G., Coil, D. A., Khazen, G., and Tokajian, S. (2016). Genome

Imo, C., and Za'aku, J. S. (2019). Medicinal properties of ginger and garlic: A review. ` Current Trends in Biomedical Engineering and Biosciences, 18, 47-52.

Jomova, K., Raptova, R., Alomar, S. Y., Alwasel, S. H., Nepovimova, E., Kuca, K., and ` Valko, M. (2023). Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and ` antioxidants: Chronic diseases and aging. Archives of Toxicology, 97*(10), 2499-2574.*

Khalil, T. A., Khan, I., Ahmad, K., Khan, Y. A., Khan, K., and Shinwari, Z. K. (2014). ` Antibacterial activity of honey in north-west Pakistan against select human pathogens. ` Journal of Traditional Chinese Medicine, 34(1), 86–89.

Kordestani, S. S. (2019). *Atlas of wound healing: A tissue engineering approach.* Elsevier ` Health Sciences.

Krishnan, S. (2018). Traditional herbal medicines – A review. *International Journal of ` Research and Analytical Reviews, 5*(4), 611–614.

Kuppusamy, S., Kakarla, D., Venkateswarlu, K., Megharaj, M., Yoon, Y. E., and Lee, Y. B. ` (2018). A critical view of veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global ` agroecological issue. Agriculture, Ecosystems & Environment, 257*, 47-59.*

Lakshmi, M., Ammini, P., Kumar, S., and Varela, M. F. (2017). The food production ` environment and the development of antimicrobial resistance in human pathogens of ` animal origin. Microorganisms, 5*(1), 11.*

Lerminiaux, N. A., and Cameron, A. D. (2019). Horizontal transfer of antibiotic resistance ` genes in clinical environments. *Canadian Journal of Microbiology, 65*(1), 34-44.

Linz, M. S., Mattappallil, A., Finkel, D., and Parker, D. (2023). Clinical impact of ` Staphylococcus aureus skin and soft tissue infections. Antibiotics, 12*(3), 557.*

*Machado De-Melo, A. A., Almeida-Muradian, L. B. D., and Sancho, M. T. (2018). ` Composition and properties of Apis mellifera honey: A review.* Journal of Apicultural ` *Research, 57*(1), 5-37.

Madden, D. (2022). Improved molecular and computational approaches for detecting ` antimicrobial resistance in pathogenic bacteria (Doctoral dissertation, University of ` the Sunshine Coast, Queensland).

*Mahboubi, M. (2019). Zingiber officinale Rosc. essential oil, a review of its composition and `* bioactivity. *Clinical Phytoscience,* (51), pp. 1–12. ` https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4

Mandal S, Pal N. K, Chowdhury I. H, Deb Mandal M. (2019). Antibacterial activity of

` *Manyi-Loh, C., Mamphweli, S., Meyer, E., and Okoh, A. (2018). Antibiotic use in ` agriculture and its consequential resistance in environmental sources: potential public ` health implications.* Molecules, 23*(4), 795.*

Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., and Li, H. B. (2019). ` Bioactive compounds and bioactivities of ginger (Zingiber officinale Roscoe).* Foods, ` 8(6), 185*

Mărgăoan, R., Topal, E., Balkanska, R., Yücel, B., Oravecz, T., Cornea-Cipcigan, M., and ` Vodnar, D. C. (2021). Monofloral honey is a potential source of natural antioxidants, `minerals, and medicine. Antioxidants, 10*(7), 1023.*

McLaughlin, S., and Petersen, J. (2018). Case Study: Hands-On Mini-Case Studies Promote ` Integration of Microbiological Concepts.* Journal of College Science Teaching, 47(*6), ` 42–46. https://doi.org/10.2505/4/jcst18_047_06_42

Mulani, M. S., Kamble, E. E., Kumkar, S. N., Tawre, M. S., and Pardesi, K. R. (2019). `Emerging strategies to combat ESKAPE pathogens in the era of antimicrobial ` resistance: A review. Frontiers in Microbiology, 10, *539.*

Murugaiyan, J., Kumar, P. A., Rao, G. S., Iskandar, K., Hawser, S., Hays, J. P., and van ` Dongen, M. B. (2022). Progress in alternative strategies to combat antimicrobial ` resistance: Focus on antibiotics. Antibiotics, 11*(2), 200.*

Nandhini, P., Kumar, P., Mickymaray, S., Alothaim, A. S., Somasundaram, J., and Rajan, M. ` (2022). Recent developments in methicillin-resistant Staphylococcus aureus (MRSA) ` treatment: A review. Antibiotics, 11*(5), 606.*

Nezhad-Mokhtari, P., Javanbakht, S., Asadi, N., Ghorbani, M., Milani, M., Hanifehpour, Y., ` and Akbarzadeh, A. (2021). Recent advances in honey-based hydrogels for wound ` healing applications: Towards natural therapeutics. Journal of Nanomaterials, 2021, ` *6676534.*

Oladipo, I. C., and Ishola, O. S. (2020). *Multi-drug resistant pathogens and food safety.*

Otaiku, A. (2020). PremBrew Farm: *Organic Ginger Cultivation.*

Ozkur, M., Benlier, N., Takan, I., Vasileiou, C., Georgakilas, A. G., Pavlopoulou, A., Cetin,

` Parikh, P., Kumar, S., Banerjee, T., Kode, J., Zunjar, V., Singh, R., ... and Patel, J. ` (2020). Prophylactic potential of Indian medicinal plants in managing influenza like ` illness especially COVID-19. *Medicinal Plants-International Journal of ` Phytomedicines and Related Industries, 12*(3), 323-337.

Pavlova, T., Stamatovska, V., Kalevska, T., Dimov, I., Assistant, G., and Nakov, G. (2018). ` Quality characteristics of honey: A review. Proceedings of University of Ruse, *57.*

Peterson, E., and Kaur, P. (2018). Antibiotic resistance mechanisms in bacteria: relationships ` between resistance determinants of antibiotic producers, environmental bacteria, and ` clinical pathogens. Frontiers in microbiology, *p. 9, 426686. Public Health, 10(4), 369–*

` *378. ScienceDirect.* https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.08.007

Radha, M. H., and Laxmipriya, N. P. (2015). Evaluation of Aloe vera's biological properties ` and clinical effectiveness: A systematic review. *Journal of Traditional and ` Complementary Medicine, 5*(1), 21–26.
Rahman, M. M., Mosaddik, A., and Alam, A. K. (2021). Traditional foods with their ` constituent's antiviral and immune system modulating properties. Heliyon*, 7(1).*
Ranneh, A.M. Akim, H.A. Hamid, H. Khazaai, A. Fadel, Z.A. Zakaria, M. Albujja, M.F.A. ` Bakar, Honey and its nutritional and anti-inflammatory value, BMC Complement. Med. ` Therap. 21 (1) (2021) 30.
*Reygaert, W. C. (2018). An overview of the antimicrobial resistance mechanisms of bacteria. ` AIMS microbiology, 4(*3), 482.
Saad, B. A., Alaa A. M., Al-Nahari, E. S., M. Abd El-Ghany, E. B. Saad, M. A., Soad, A., ` Esam, M. Q., Yousef A. and Steve H. (2017). Antimicrobial effect of different types of ` honey on Staphylococcus aureus. Saudi Journal of Biological Sciences, 24, 1255-1261
Saeed, M. A., and Jayashankar, M. (2019). Therapeutic properties of honey. Journal of Global ` *Biosciences*, 8(12), 6600–6615.
Saha, M., and Sarkar, A. (2021). Review on multiple facets of drug resistance: a rising ` challenge in the 21st century. Journal of xenobiotics, 11*(4), 197-214.*
Salam, M. A., Al-Amin, M. Y., Salam, M. T., Pawar, J. S., Akhter, N., Rabaan, A. A., and ` Alqumber, M. A. (2023). Antimicrobial resistance: a growing serious threat for global ` public health. In Healthcare (Vol. 11, No. 13, p. 1946). MDPI.
Samarghandian, S., Farkhondeh, T., and Samini, F. (2017). Honey and health: A review of ` recent clinical research. Pharmacognosy research*, 9(2), 121.*
Schaal, B. (2019). Plants and people: Our shared history and future. *Plants, People, Planet, ` 1(*1),14,19. ScienceDirect; AcademicPress
Shapla UM, Solayman M, Alam N, et al. 5- Hydroxymethylfurfural (HMF) levels in honey and ` other food products: effects on bees and human health. Chemistry Central Journal 12 ` (2018): 1–18.
Shareef, S. (2022). Anti-Inflammatory and Antioxidant Activities of Ginger.
*Silva, F.C. Biluca, L.V. Gonzaga, R. Fett, E.M. Dalmarco, T. Caon, A.C.O. Costa, In vitro ` anti-inflammatory properties of honey flavonoids: a review,* Food Research ` International 141 *(2021) 110086.*
Sivakrishnan, M. S. (2018). Traditional herbal medicines – a review. *International Journal of ` Research and Analytical Reviews*, 5(4), 611-614
Smieszek, T., Pouwels, K. B., Dolk, F. C. K., Smith, D. R., Hopkins, S., Sharland, M., and ` Robotham, J. V. (2018). Potential for reducing inappropriate antibiotic prescribing in ` English primary care. Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, p. 73 ii36-ii43.*
Solayman, M. (2023). Minerals and Trace Elements. *Honey: Composition and Health Benefits*, ` *pp. 80-101.*
Sommano, S. R., Bhat, F. M., Wongkeaw, M., Sriwichai, T., Sunanta, P., Chuttong, B., and ` Burgett, M. (2020). Amino acid profiling and chemometric relations of black dwarf ` honey and bee pollen. Frontiers in Nutrition, 7, *558579.*
*Srinivasan, K. (2017). Ginger rhizomes (Zingiber officinale): A spice with multiple health ` beneficialpotentials.*PharmaNutrition,5*(1),18–` 28.*https://doi.org/10.1016/j.phanu.2017.01.001
Sufa, H. I., Kurniati, I., Dermawan, A., and Sembiring, F. (2023*). Efficient Techniques for ` Identifying Gram-Positive Clinical Bacteria*. Penerbit NEM.
Tafere, D. A. (2021). Chemical composition and uses of Honey: A Review. *Journal of Food ` Science and Nutrition Research, 4*(3), 194-201
Tang, K. W. K., Millar, B. C., and Moore, J. E. (2023). Antimicrobial resistance (AMR). British

` *Journal of Biomedical Science, 80*, 11387.
anveer, M. H., Rafa, A. A., Sharma, A., and Islam, T. (2022). Horizontal gene transfer*: an* ` *insight into antimicrobial resistance (Doctoral dissertation, Brac University).*
Traglia, G. M., Place, K., Dotto, C., Fernandez, J. S., Montaña, S., dos Santos Bahiense, C., ...
` and Ramírez, M. S. (2019). Interspecies DNA acquisition by a naturally competent ` Acinetobacter baumannii strain. *International journal of antimicrobial agents, 53*(4), ` 483-490.
Tripathi, N., and Sapra, A. (2020). *Gram staining.*
Tumin, N., Halim, N. A., Shahjahan, M., Noor Izani, N. J., Sattar, M. A., Khan, A. H., and ` Mohsin, S. S. J. (2005). Antibacterial activity of local Malaysian honey. *Malaysian ` Journal of Pharmaceutical Sciences, 3*(2), 1-10.
Uddin, T. M., Chakraborty, A. J., Khusro, A., Zidan, B. R. M., Mitra, S., Emran, T. B., and ` Koirala, N. (2021). Antibiotic resistance in microbes: History, mechanisms, therapeutic
` strategies and prospects. *Journal of infection and public health, 14*(12), 1750-1766.
Urban-Chmiel, R., Marek, A., Stępień-Pyśniak, D., Wieczorek, K., Dec, M., Nowaczek, A., ` and Osek, J. (2022). Antibiotic resistance in bacteria—A review.* Antibiotics, 11*(8), ` 1079.
Watkins, R. R., and David, M. Z. (2021). An update on the epidemiology, microbiology, and ` treatment options for community-acquired methicillin-resistant Staphylococcus aureus
` infections. *Journal of Medical Microbiology, 70*(5), 001420.
Wei, Z., Deng, X., Zheng, A., and Yang, P. (2021). Honey and its various beneficial effects in ` managing wound infections: A review. *Journal of Food Science and Technology, ` 58*(8), 2873-2885.
Yelin, A. and Kundadi, (2019). Phytochemical identification of honey from several regions in
` Java and Sumbawa. *International Conference on Biology and Applied Science ` (ICOBAS),*1-5
Yupanqui Mieles, J., Vyas, C., Aslan, E., Humphreys, G., Diver, C., and Bartolo, P. (2022). ` Honey: An advanced antimicrobial and wound healing biomaterial for tissue ` engineering applications. Pharmaceutics, 14*(8), 1663.*
Zarei, M., Fazlara, A., and Alijani, N. (2019). Evaluation of the changes in physicochemical ` and antioxidant properties of honey during storage. *Functional Foods in Health and ` Disease, 9*(9), 593-605.

APPENDIX

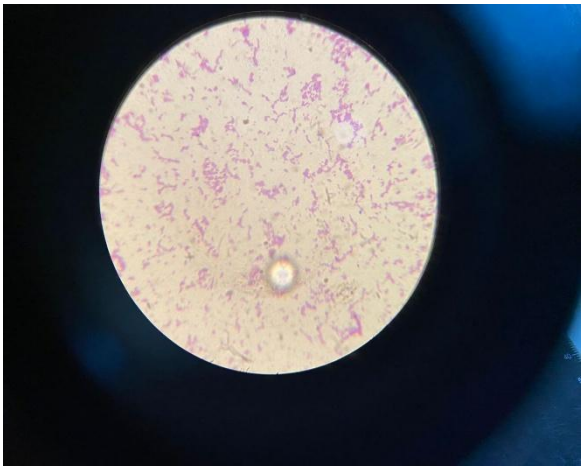


***Figure 5:1 Microscopic view of* Staphylococcus aureus.**

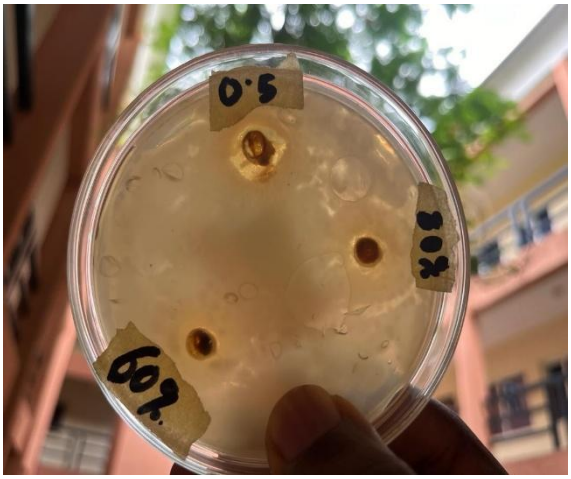


***Figure 5:2* Honey sensitivity on Staphylococcus aureus**

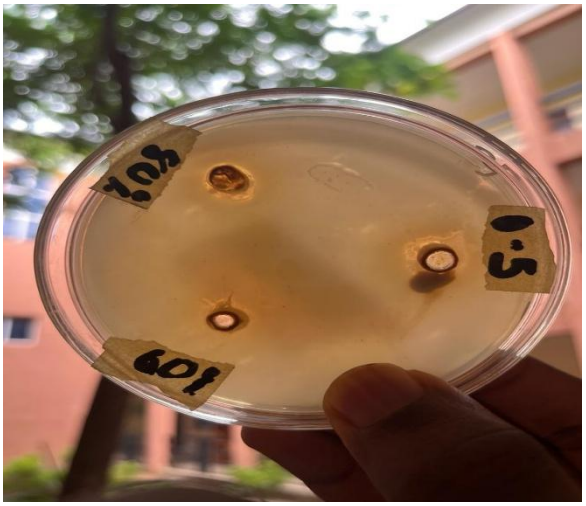


Figure 5:3 Ginger sensitivity on *S. aureus*



Figure 5:4 Control sensitivity on *S. aureus*



Figure 5:5 Microscopic view of *Bacillus spp spp*

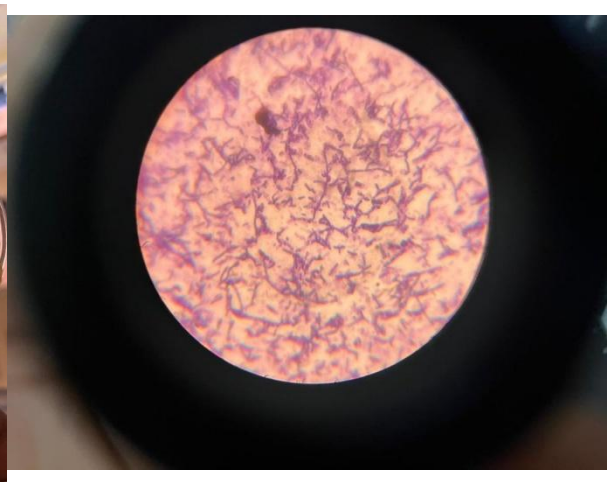


Figure 5:6 Honey sensitivity on *Bacillus*



Figure 5:7 Ginger sensitivity on *Bacillus spp* Bacillus *spp*



Figure 5:8 Control sensitivity on

THE USE OF GIS FOR GEOSPATIAL ANALYSIS ALONG ABUJA KADUNA HIGHWAY

Vandefan John Adekwagh
The Department of Microbiology, Veritas University, Abuja
Vandefan James
Nigerian Police Force, Force Headquarter, Abuja
Ode Onyeche Ann
Department of Geography and Environmental management, Faculty of Geography and Atmospheric Sciences, Abuja University, Nigeria

ABSTRACT
Kidnapping along the **Kaduna–Abuja Road** has become a major security challenge in Nigeria, leaving the route nearly deserted despite multiple checkpoints and joint patrols. This study assessed the **performance of the Nigerian Police Force (NPF)** in combating kidnapping using a **cross-sectional descriptive survey**. Data were collected from 485 respondents, including police officers, residents, commuters, farmers, vigilante groups, and traditional/religious leaders, through questionnaires, interviews, focus group discussions, and police records.Findings revealed that the causes of kidnapping include **poverty, unemployment, proliferation of arms and military uniforms, cashless economy policy, moral decadence, corruption, poor governance, inadequate equipment of law enforcement agencies,** and **inequality**. Five major flashpoints prone to kidnapping were identified: **Gonin-gora, Rijana, Jere, Maraban-Rido,** and **Gangara**.Results showed that 60.5% of residents considered the NPF ineffective, while 59.6% expressed dissatisfaction with its performance. Challenges faced by the police include **inadequate funding, corruption, poor training**, lack of modern security gadgets, uncooperative **GSM operators,** and negative public perception. Strategies adopted include general policing measures and specialised units such as the **IGP Intelligence Response Team, C**

Keywords
Kidnapping, Nigerian Police Force, Kaduna–Abuja Road, Security Challenges, Community Policing, Corruption, Poverty, Unemployment, Flashpoints, Law Enforcement Effectiveness

Introduction
Insecurity is a serious poblem that has hindered development and justifiable growth and change in any Nation. Insecurity involves means: absence of safety; danger; hazard; uncertainty; lack of protection, and lack of safety. Achumba, et al., 2013) defined insecurity as the state of being open or subject to danger or threat of danger; and/or exposed to risk or anxiety, danger connotes the condition of being susceptible to harm or injury while anxiety is a unclear unpleasant emotion that is experienced in expectation of some calamity.
Nigeria is recently faced with increasing insecurity that changes from ethno religious, farmer-herdsmen clashes into cattle rustling and later to banditry, kidnapping of people for ransom and assassination (Okoli and Okpaleke, 2014). This has reached an alarming state that the security agencies are becoming helpless and vulnerable and not being able to protect the lives and properties of the ever-growing population of Nigeria.
Abuja- Kaduna Road been a foremost flashpoint to different types of this insecurity that has led to huge humanitarian crisis, weakened social capital and breakdown of democratic norms

and values (WANEP, 2018). The insecurity in Kaduna revolves around three different but interlinked threats.

Kidnapping as a criminal behaviour is not entirely a new social problem in the world. It is a global phenomenon with different degrees and intensity in terms of its practice. The practice of kidnapping event dates back to 17th century (Akpan, 2010). It started in Britain when, infants (kids) of wealthy families would be 'napped' (caught in the sleep) for ransom (Tzannelli, 2010; Okoli & Agada, 2014). Kidnapping is a form of violent crime commonly identified with the illegal seizure of persons against their will for several criminal reasons (Chidi, 2014). Okoli and Agada (2014) perceive kidnapping as an organized crime that has its essence in the unlawful intentional deprivation of a person's freedom from movement in an attempt to exploit the situation to extort money or other advantages. It is an old and contemporary criminal activity in both developed and developing nations.

Countries that have experienced the menace of kidnapping include Mexico, Colombia, South Africa, United States of America, Iraq, Cameroon, Nigeria and others (Aminu, 2010; Ene, 2018). Although both developed and developing countries can reckon with the problem of kidnapping, the problem of kidnapping was a major problem in developing countries prior to colonialism, in the era of slave trade, because of its economic gains, rituals benefit for power and burying of monarchs (Omonijo *et al.,* 2019). After the eradication of slave trade, kidnapping seized to be the major source of income for traditional rulers and merchants but its engagement for rituals and money has persisted (Ordu, 2017).

The oldest record of Kidnapping in Nigeria after the slave trade era is the 1984 aborted abduction of Umaru Dikko, former second republic Minister of Transport which was strange to Nigerians (Odoma & Akor, 2019). However, kidnapping in Nigeria first attracted national attention on 25th February, 2006, when restive youths in the Niger Delta abducted some foreign oil workers in the bid to press home their demand for restitution and increased infrastructural development (Abdulkabir, 2017). Since then, this deadly crime has not only become ubiquitous, it has been shamelessly commercialized in different parts of the country. The entire Nigerian landscape appears to be under the siege of kidnappers as virtually every part of the country has suffered from the menace.

With all the proactive steps adapted by the police and other security agencies, kidnapping has been on the increase along Abuja –Kaduna Road. To end scholars such as Abdullah and Abdulkadir (2021), Ruwan *et al.* (2020), and Saidu *et al.* (2018) have all carried out related studies to the current one, with attention focused on intelligence gathering on kidnapping incidence along Abuja – Kaduna express road of Nigeria using geospatial technologies, examination of the incidences, causes and effects of kidnapping, as well as the growing act, possible motives and the complexities in its control. These empirical studies amongst others have so far failed to examined in details the performance of the Nigerian Police Force (NPF) in combating kidnapping along the Abuja – Kaduna Road, by trying to understand the sentiments of Nigerian on the performance of the NPF in combating the menace, the challenges mitigating against their efforts as well as strategies used by the NPF in this fight. These gaps thus justified the need to carry out the current study.

RESEARCH METHODOLOGY

3.1 The Study Area

3.1.1 Location

The Abuja-Kaduna highway or Abuja–Kaduna expressway is a highway in Nigeria that connects the national capital of Abuja with the city of Kaduna. Depending on the definition used, it is between 155 kilometres (96 mi) and 200 kilometres (120 mi) in length. It is primarily part of the A2 highway but the section nearest Abuja is part of the A234 highway. Regarded as

one of Nigeria's most important highways runs from North to South. The Abuja-Kaduna Road forms a critical part of this larger highway system, enabling the movement of people and products from the North to the South and vice versa - thereby uniting the Nigerian people and economy, and connecting Nigeria to North Africa via the Lagos-Algiers Trans-African Highway. The expressway lies between the boundaries of the Abuja, Niger and Kaduna States, and falls within longitude 6° 00′ to 8° 00′ east of the Greenwich Meridian and latitude 9° 00′ to 11° 00′ north of the Equator with a total length of 123km, from Diko Junction to Kaduna (Dangana, 2021).

3.1.2 Weather and Climate

The Abuja – Kaduna Road experiences the tropical savanna climate or tropical wet and dry climate beginning from the tropical rainforest climate boundary in southern Nigeria to the central part of Nigeria, where it exerts enormous influence on the region. The tropical savanna climate exhibits a well-marked rainy season and a dry season with a single peak known as the summer maximum due to its distance from the equator.

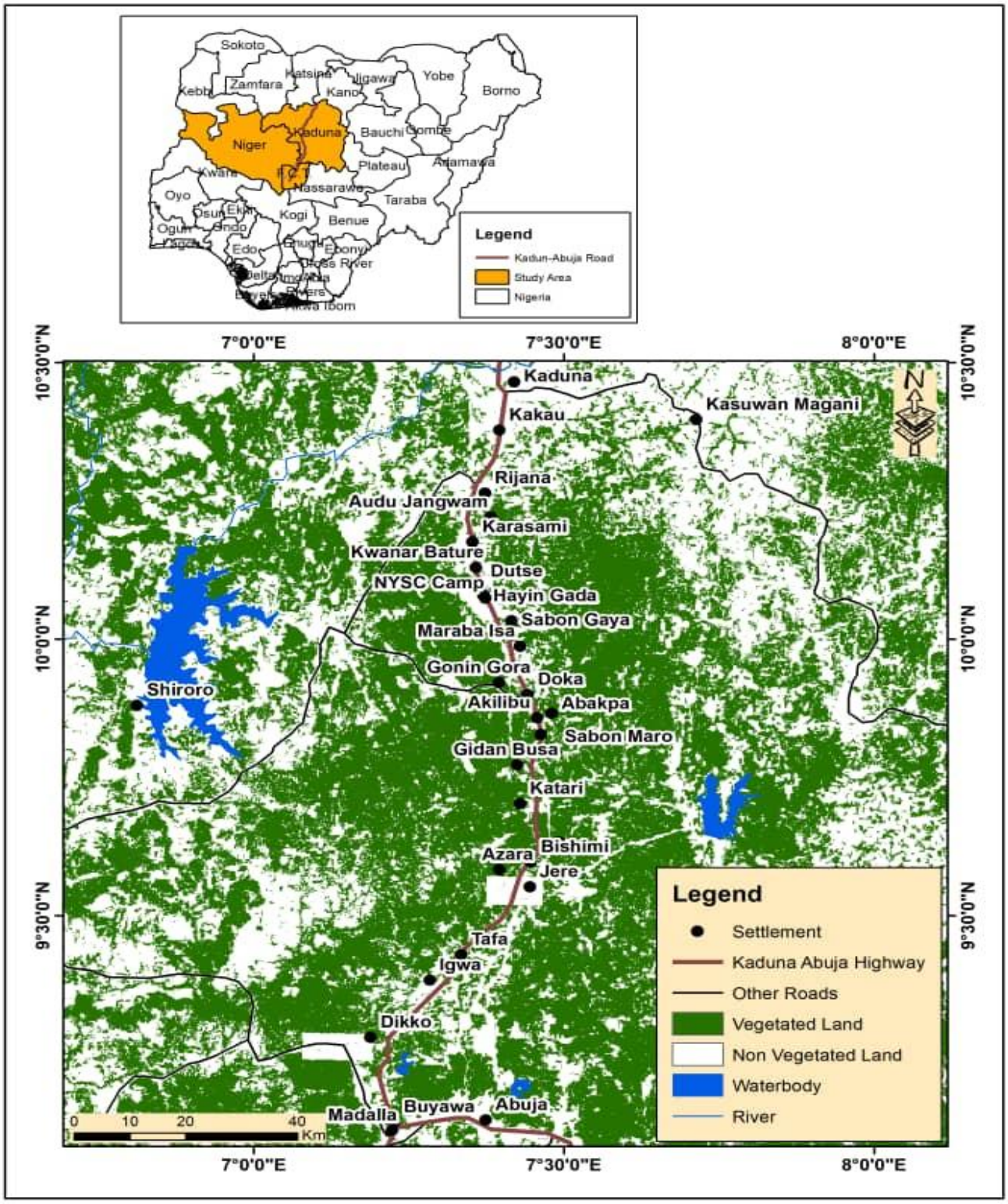


Figure 3.1: The Abuja-Kaduna express road, Nigeria
Source: NIGIS, 2022.

Temperatures are above 18°C (64°F) throughout the year. Abuja, Nigeria's capital city found in central Nigeria, has a temperature range of 18.45°C (65.21°F) to 36.9°C (98.4°F), and an annual rainfall of about 1,500mm (59.1in) with a single rainfall maximum in September

(Dangana, 2021). The single dry season experienced in the tropical savanna climate in the central Nigeria beginning from December to March, is hot and dry with the Harmattan wind, a continental tropical (CT) air mass laden with dust from the Sahara Desert prevailing throughout this period.

With the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) swinging northward over West Africa from the Southern Hemisphere in April, heavy showers coming from pre-monsoonal convective clouds mainly in the form of squall lines also known as the north easterlies formed mainly as a result of the interactions of the two dominant air masses in Nigeria known as the Maritime tropical (south westerlies) and the Continental tropical (north easterlies), begins in central Nigeria while the Monsoons from the South Atlantic ocean arrives in central Nigeria in July bringing with it high humidity, heavy cloud cover and heavy rainfall which can be daily occurrence lasting till September when the monsoons gradually begin retreating southward to the southern part of Nigeria. Rainfall totals in central Nigeria varies from 1,100 mm (43.3 in) in the lowlands of the river Niger Benue trough to over 2,000 mm (78.7 in) along the south western escarpment of the Jos Plateau (Olayemi *et al.,* 2014; Dangana, 2021). While climate change may not be a direct root cause of kidnapping it is recognized as a predominant destabilizing force that fosters an enabling environment for violent organisations and gangs such as kidnappers. The raining season in the study area in most times is strong and heavy. More so the dry season/Harmattan bring with thick fog, and strong windy cold air. All of these restrict movement for residents and commuters along the area, and strongly undermines the capacity of security operators in the area to carryout patrol and respond to distress call, thus making fostering an enabling condition for kidnappers to abduct residents and commuters in the area.

3.1.3 Soil and Vegetation

Basically, the vegetation of the study area could be termed to be partly Sudan Savannah type, characterized by scattered short trees, shrubs and grasses and partly Guinean forest-savanna mosaic, made up of plains of tall grasses which are interrupted by trees, the most common across the country. The soil type is mostly loamy to sandy type. A substantial amount of clay is found also. (Ako *et al.,* 2014; Dangana, 2021). A clear understanding of the soil composition and vegetation of a study area is invaluable to security operative as it provides ample information on how much they can either facilitate or deter kidnapping. From the description of the soil the nature/composition of soil in the study area as well as the vegetation of the area suggest that they have the tendency of facilitating kidnapping the study area as plains of tall grasses and trees can perfectly hide perpetrators of this heinous criminal activity from victims, bystanders and security response team (Wolfe & Mennis, 2012). More so, the soil composition of the study makes it easy for kidnappers to cover more grounds and escape over a short period of time. Nevertheless, soil of the study area can be a very useful matrix for investigation of kidnapping cases in the study area, in both an intelligence and evidential context, due to its complexity, transferability and considerable spatial and temporal variations operating on different scales (Dawson & Mayes, 2015).

2.1.4 Relief and Drainage

The study area is part of the extension plains of northern Nigeria. The general relief of the area is fairly plain, with isolated rock outcrops of inselbergs found in the area, thus creating undulations. The inselbergs are granitic in origin, formed from underlaid basement complex rocks. Depressions are found along the water courses where streams occur. The Niger River Basin Drainage System is the major drainage system of the study area (Clement, 2013; Dangana, 2021). From the description of the relief and drainage of the study area, it can be

deduced that these environmental features of the study area served as a deterrence to kidnapping, as it does not provide a positive escape route, or hideouts.

3.1.5 Population and Socio-economic Activities

Statistically speaking, it is difficult to point out the exact figure of the population of residents along the Abuja – Kaduna Road, due to lack of official records. Nevertheless, since the study major focal point of the study is Abuja and Kaduna, it is worth noting that Abuja according to the National Population Commission of Nigeria (NPC), and the National Bureau of Statistics (NBS), the 2022 population projection of the area is about 3,067,500 persons, with an annual population change/growth rate of 5.0%. On the other hand, Kaduna according to the National Population Commission of Nigeria (NPC), National Bureau of Statistics (NBS), the 2022 population projection of the area is about 9,032,200, with an annual population change/growth rate of 2.5%.

The economy of the settlements along Abuja – Kaduna express way is agrarian based, with agriculture as their major economic activity, which serves as the bedrock of other activities. These activities include food and cash crop production, livestock rearing, poultry trading and crafts making. The major system of farming practiced is the subsistence farming by peasant farmers, with few people investing in commercial farming which produces large quantity of agricultural products. A little dry season farming is practiced in the area by people living close to the rivers. Tomatoes, pepper, vegetables, onions, okra and sugar-cane are grown in the Fadama areas. These additional products attract traders from surrounding urban centres and towns, thereby constituting a major source of income. Animal rearing is also an important occupation which is carried out in a form of subsistence mixed farming, apart from the Fulani in the area who depend largely on cattle rearing. These animals supply organic manure to farm lands, provide income and also are used for consumption. Animals such as cattle, goats, pigs, sheep and poultry are the predominant animals reared in the area. Trading activities also form another vital occupation that combines both agricultural and non-agricultural commodities made from crafts (Adewuyi *et al.,* 2019; Dangana, 2021). The population and socio-economic activities in the study area indicates that the study area is vastly populated and an economically vibrant environment with the market for demand and supply of good and services, thus attracting locals from different parts of the country as well as foreigner. This thus renders the area an attracting prospect for kidnappers to carry out their act of terror on the live and properties of both residents, visitors and passers-by.

3.2 Methodology

3.2.1 Study Design

The study adopted the cross-sectional descriptive survey design. The rationale for the adoption of this study design is premised on the fact that the cross-sectional study design is best suited for studies that are aimed at finding out the prevalence of a phenomenon, situation, problem, attitude or issue, by taking a cross-section of the population; moreover, the study is a quantitative study, as such, the cross-sectional design is best suitable (Kumar, 2011).

3.2.2 Target Population for the Study

The target population of the study consists of residents along the Kaduna – Abuja Road, villagers/rural dwellers, traditional rulers, religious groups, farmers, as well as commuters and transporters along the study area. Using a summation of the population of Abuja and Kaduna as a base population figure, the target population of this group consisted of 12,105,700 persons. Another group that also formed part of the target population for the study are personnel of the NPF and other security agencies such as the Nigerian Army and vigilante groups that monitor the road.

3.2.3 Sources and Types of Data Required

Data used for this research work were both qualitative and quantitative data that were sourced from both secondary and primary sources. The secondary data used in the study were predominately qualitative data. These data consisted of literature text and empirical literatures by various authors both locally and internationally, sourced from relevant academic journals, articles, publish and unpublish academic thesis and dissertations, term and conference papers, textbooks, and the internet materials. Quantitative secondary data used in the study consisted of information and report on the number of kidnapped victims in the study area. These data were sourced from the NPF.

Primary data used in the study consisted of both quantitative and qualitative data. These data were sourced from responses from administered survey questionnaires administered to the sampled participants in the study, coordinates obtained from field survey using Global Positioning System (GPS) for mapping the kidnapping hotspots in the study area, as well as keynotes and information from focus group discussions.

3.2.4 Sample Size Determination

In determining the sample size of a population, different methods abound, depending on the type of research or data involved. On this note, in determining the sample size of residents along the Kaduna – Abuja Road, villagers/rural dwellers, traditional rulers, religious groups, farmers, vigilante groups as well as commuters and transporters along the study area using the base population figure of 12,105,700, the Cochran (1963) equation to yield a representative sample for proportions of large sample was used. Using the equation, the sample size of the study (residents of the study area) was determined as follows:

$$n = N \times \frac{\frac{Z^2 \times p \times 1(1-p)}{e^2}}{\left[N - 1 + \frac{Z^2 \times p \times (1-p)}{e^2}\right]}$$

Where:

N = Population size (12,105,700),

Z = Critical value of the normal distribution at the required confidence level (95% = 1.96)

p = Sample proportion

e = Margin of error (5% = 0.05).

Using the above expression, the sample size of residents of the study was arrived at 385 participants. In determining the sample size of officers of the NPF, the purposive sample technique was used. To this end, a sample size of 100 officers of the NPF was arrived at. Summing up the two sections of the population sample, the sample size of the study consisted of 485 respondents.

3.2.5 Sampling Technique

The study adopted both the probability and non-probability sampling techniques. The probability sampling technique was used in sampling the participants such as residents along the Kaduna – Abuja Road, villagers/rural dwellers, traditional rulers, religious groups, farmers, vigilante groups as well as commuters and transporters along the study area. More so, the probability sampling technique that was used was the simple random sampling (SRS) technique. The rationale here was because, the probability sampling technique, viz. the simple random sampling has every item of the population given an equal and independent chance of inclusion in the sample. Hence, the choice of an element in the sample was not influenced by other considerations such as personal preference (Gay *et al.,* 2009; Kumar, 2011).

The non-probability sampling technique was used in sampling officers of the NPF who participated in the study. Explicitly, the method of the non-probability sampling technique that

was adopted was the convenience sampling method. The rationale was adopting the convenience sampling method was premise on the consideration that it eliminates the rigidity associated with most sampling procedures, hence, only available members of this sampled group were involved. To forestall the possibility of sampling a given respondent more than once, an inclusive/exclusive criterion for eligibility to participate in the study was set. The inclusive/exclusive criterion was that respondents were carefully screened to determine those who had previously been encountered in a given location around the area. In situations where such respondents were encountered, they were deliberately screened out from participating, regardless of whether or not they had previously been sampled. The aim of this criterion was to guarantee the validity and reliability of the collected data.

3.2.6 Methods of Collection

In preparation for the study, a reconnaissance survey was carried out for the purpose of acquaintance with the study area between April 26 and 30, 2022. The essence was to obtain vital information on the kidnapping activities in the area, to ascertain areas that would be assessable with less security risk and to enquire and examine the distribution of the divisional police stations and security checkpoints within the study area. Data with respect the research questions and objectives of the study were obtained through a field survey carried out by the researcher, who was accompanied by two research assistants. The instruments used in collection of these data includes the distribution of survey questionnaires, focus group discussion (FGD)/interview schedule and GPS receiver (Handheld GPS, Garmin 84). The research questionnaires used was a self-developed one, which contained both open ended and closed ended item, addressing the aim and objectives of the study. These questionnaires were distributed to all respondents of the study other than officers of the NPF.

The survey questionnaires were directly and physically administered to the sample participants in the study area. Before administrating the research instrument to the participants of the study, the researcher introduced himself to the respondents, explained the aim and objectives of the study, and solicited their voluntary participation in the study. After the introduction, the researcher administered the instrument to interested respondents, with instructions and a guide on how to address the items on the instrument. After administering the research instrument to the sampled participant of the study, the researcher waited for the participants to finish answering the questionnaires, collected them back, and thank the participants for their participation.

Beside the use of use of survey questionnaires in collecting data from respondents, a focus group discussion (FGD)/interview schedule was also used to obtain qualitative data from both some residents of the study area as well as officers of the NPF. Questions in the FGD were open-ended, with the aim of stimulating an informal discussion and investigate respondents, especially officers of the NPF, in order to gain a more detailed personal views form them that could not be possible through the distributed closed-ended survey questionnaires. More so, a GPS receiver was used to triangulate and document the global positioning (coordinates) of area prone to kidnapping in the study area, otherwise known as hotspots. The Abuja–Kaduna highway was digitized as a **polyline feature**.Villages, forests, and terrain features were digitized as **polygon layers**. Kidnapping incidents were mapped as **point layers**, each tagged with attributes (date, time, victim type, ransom paid).

Kernel Density Estimation (KDE): Used to identify clusters of incidents and visualize intensity of kidnappings.

- Hotspot Analysis: Applied to statistically confirm areas with significantly higher kidnapping activity.
- Overlay Analysis: Combined socio-economic data (poverty, unemployment) with spatial maps to explore correlations.

In analysing the quantitative data used in the study, the researcher employed the use of tools such as Microsoft Excel (version 2021) and ArcGIS environment to organize the data collected from the participants of the study via the survey questionnaires into manageable information that was understood. The data was then coded to facilitate data entry into the computer to allow for statistical analysis using IBM SPSS Statistics (version 26). The analytical method used in analysing the data from the survey questionnaires distributed was the univariate method. The univariate method of analysis used was descriptive statistics such as; frequency distribution and simple percentage, with the result presented in table and visualised using charts.

In assessing the causes of kidnapping in the study area, response data from the residents of the study area were collected. These responses were based on a 4-point Likert scale rating of Strongly Agree (SA), Agree (A), Disagree (D) and Strongly Disagree (SD). The frequency, percentage, mean and standard deviation of responses of the participants with respect to the likely influencing factors influencing kidnapping in the study area were computed and analysed quantitatively using Microsoft excel and IBM SPSS Statistics. Furthermore, a mean cut-off point (mean scale) of 2.5 was used determine whether respondent agreed with a motivating factor (cause of kidnapping in the study area. Thus, a mean score of 2.5 and above indicate a positive response to the cause/factor responsible for kidnapping in the area and was accepted while a mean score below 2.5 indicate a negative to the cause/factor responsible for kidnapping in the area and was rejected. This is shown below:

Strongly Agree (SA) = 4
Agree (A) = 3
Disagree (D) = 2
Strongly Disagree (SD) = 1

$4 + 3 + 2 + 1 = \frac{10}{4} = 2.5$ (Decision Mean).

In identifying and mapping out flashpoints prone to kidnapping in the study area, the handheld GPS (Garmin 84) was used to acquire the coordinates of the divisional police stations in the study area. A geo-data base for the divisional police stations was created. It contains the following information: Name of the divisional police station and location of the divisional police stations (coordinates). This was entered in Microsoft excel, converted to text file and subsequently imported into the ArcGIS environment and point overlay analysis (mapping) was carried out on the base map of the study area to show the spatial distribution of security posts within the area of study and for further analysis. More so, data of reported kidnapping hotspots obtained on the field with the aid of the Intelligence Response Team (IRT) of the NPF was used to create a geo-database which contained the following attribute: Name of kidnap scene, Location (Coordinates) of kidnap locations and their respective remarks. These data were entered in Microsoft excel, converted to text file and imported into ArcGIS environment. The database was then used for hotspot analysis and queries. More so, the coordinates of the various crime locations were imported into the ArcGIS environment, and point overlay analysis (mapping) was be carried out on a base map of the study area and subsequently a map of the kidnap locations was produced. The data of the kidnap hotspots and their respective crime scene locations was also used to produce the crime hotspot map of the study area in the form of a heat map, using the Kernel Density Estimation (KDE) method via the ArcGIS software.

The third objective the study pursued by the study was to evaluate the perception of residents along area on the performance of the police in combating kidnapping. To this end, the perception of respondents as well as their various degrees/level of satisfaction were both quantitatively and qualitatively, using frequency distribution, simple percentage, mean score and standard deviation. Qualitative data collected from the FGD with respondents were

analysed using content analysis, while significant notes were presented in form of quotes. In like manner data collected with respect to the fourth and fifth objectives pursued by the study were qualitative data via FGD. Hence, the information obtained were officers of the NPF were also analysed using content analysis.

The fourth and fifth objective of the study were to examine the challenges faced by the Nigerian Police in combating kidnapping along the Kaduna – Abuja Road, as well as to examine the strategies of the Nigeria police force in combating the menace of kidnapping along the area. To this end, the qualitative data collected from the FGD interviews were analysed qualitatively and presented in quotes.

3.2.9 Ethical Considerations

All through the process of data collection, this study adhered strictly to the international ethical standard for research to protect the rights, dignity, and integrity of the participants of the study. As such, the consent of participants of the study were sought before they participated in the study. More so, the objectives of the study were clearly explained to them. Above all, the study was premised on these ethical principles:

Respect for Persons: this was done through the appropriate management of informed consent with participants involved.

Voluntariness: the decision to participate in the study was voluntary and no participant in the study was coerced into participation.

Non-malfeasance: no participant experienced any form of physical harm)

Confidentiality and Anonymity: the identity of those who participated in the study shall remain protected.

Flash Points Prone to Kidnapping Along the Study Area

The second objective of the study was to identify the flashpoint along Kaduna – Abuja Road prone to kidnapping. The result presented in Table 4.6 reveals the identified flashpoints prone to kidnapping in the area as indicated from the FGD and interview held with respondents in the area.

Table 4.6: Geo-spatial coordinates of Flashpoints of Kidnapping Along the Abuja – Kaduna Road

S/N	Location	GPS Coordinates		Elevation	
		Latitude	Longitude	Metres	Feet
1	Gonin-gora	10°25'12"N	7°24'15"E	6118	2,004
2	Rijana	10° 2' 56"N	7° 22' 34"E	526	1,726
3	Jere	9° 32' 1"N	7° 21' 36" E	539	1,768
4	Maraban-Rido	10°27'24"N	7°30'43"E	646	2,119
5	Gangara	11° 20' 18"N	7° 23' 0"E	635	2,083

Source: Author's field survey, 2022.



Plate 4.1: Abuja – Kaduna express road
Source: Author's field survey, 2022.

From the results, these flashpoints include; Gonin gora, Rijana, Jere, Maraban Rido, and Gangara-village. From the FGD with the residents of the area, it was gathered that these areas are flash points and prone to kidnapping was because the Kaduna-Abuja Road is about 211km road, it is a gateway to the federal capital territory for most states in the northwest zone (Katsina, Sokoto, and Zamfara) and also a gateway for most states in other regions such as the southeast, south-south, north east and north-central (middle belt) to the northwest. As a result, these areas are often busy because of the level of transit that passes through them, comprising mostly of the high profile of business, private citizens and government officials. Hence, they become the location considered 'gold mines' for kidnappers.

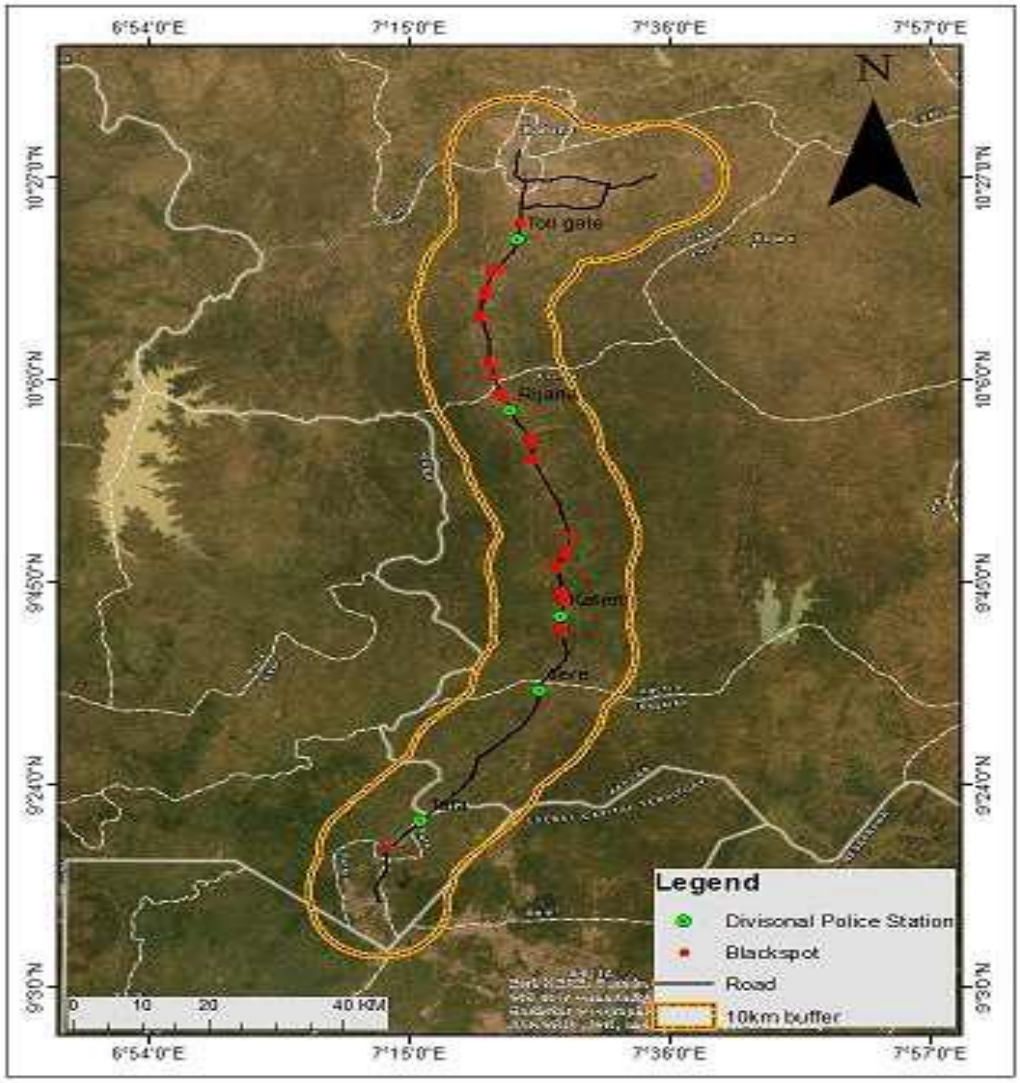


Figure 4.6: Image map of the kidnapping hotspots
Source: AGIS, 2022.

Another reason why these locations are prone to kidnapping was because of its geography and strategic locations. These areas are neither that close or far away from the metropolises of Kaduna, Niger or the FCT, inter-connecting different geopolitical zones of the country. More so these areas are characterised by large thick trees, dense grasses and hills, making them comfortable for kidnappers for escape and hideouts for kidnappers (Plate 4.1, Figure 4.6 and 4.7). More so there are no stationed military or paramilitary bases in these areas, but only check points, which cannot serve as a deterrence for kidnapers.

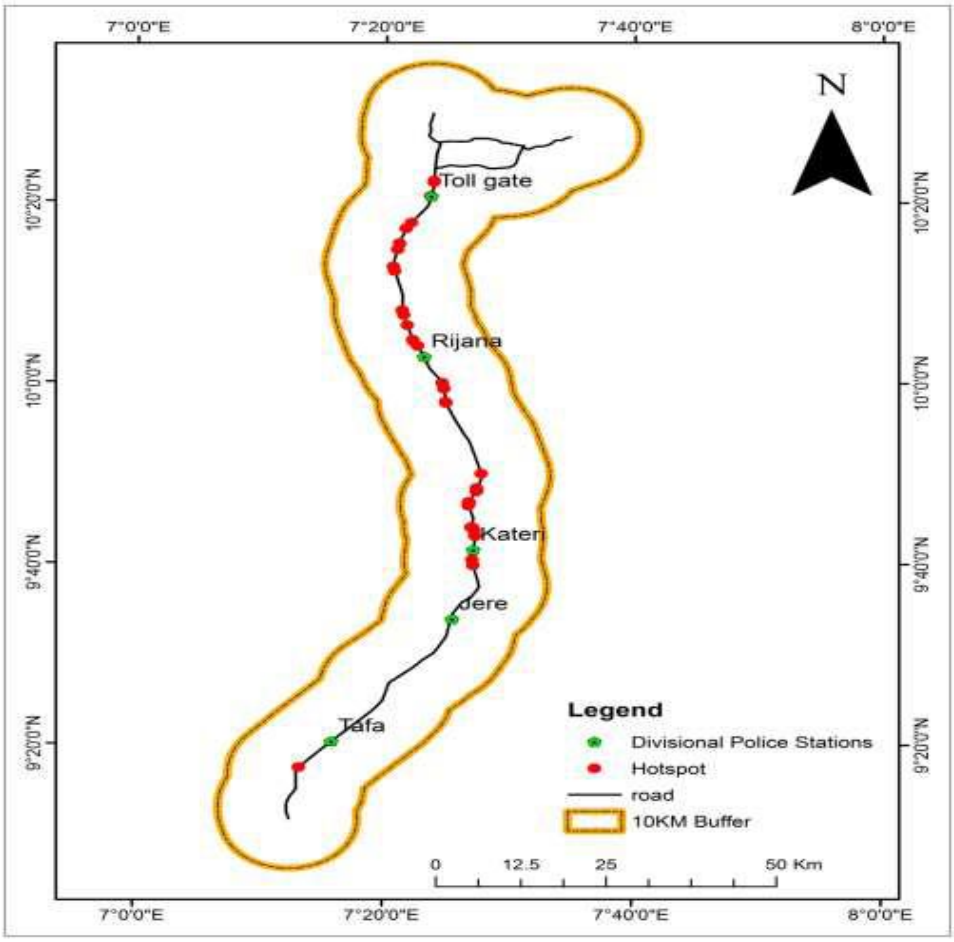


Figure 4.7: Image map of the kidnapping hotspots
Source: AGIS, 2022.

Findings on how kidnappers in the area operate, revealed that different model of kidnapping taking place in areas. From the FGD, the residents of the reported that;

Kidnapping along these areas has rumoured to be headed by Dominic Nwafor. The gang has taken their activity to the level of business by renting an expensive apartment to use as a hideout for their victims. Instead of taking them to the bush area, as usual, high-profile persons are kept in a mansion. One of these mansions used as a hideout was located at Mararan-Rido, a new settlement along the Kaduna-Abuja way. As a matter of fact, new settlements along the busy highway are giving hideouts to criminals, who (kidnappers) prefer to be a quiet place to keep their hostage victims (Civil servant in Maraban-Rido, 03/08/2022).

According to a victim's (name withheld) report by during the in-depth interview revealed thus: "I went to buy goods from Kano and was on my way back in a Sharan sedan car which myself and other boarded. We encountered some men wearing army uniforms. After stopping our car, we thought they were military officers on duty to check passing vehicles, not knowing that they were kidnappers. After monitoring us at a glance, they asked our driver to turn off the car and step out. Before we could realize what was happening, the started shooting sporadically in the air and threaten to kill any one that tries to make any move they considered funny. We were dragged into a bus that was hidden and covered with grass camouflage, collected our phones, blindfolded us and drove us off at a faster pace, deep into the forest, to a place that up to date, I still wonder if it is located in Nigeria. My family complained to the Kaduna police command of my abduction, and funny enough, were told to pray and gather money to pay for my release.

The kidnappers contacted my family and they ended up paying a ransom of ₦4.5m which were mostly borrowed, after negotiating with the kidnappers from an initial ransom fee of ₦12.7m, before I got released. It was a traumatising experience" (Male fashion and cosmetic trader in Gonin-gora, 15/8/2022).

Kidnappers organized themselves into different cell groups for easy operation, in a disguised approach for difficult tracing. Furthermore, the incidence is carried out in different modes of operations: either by blocking a highway using heavily armed weapons to abduct a large number of persons in a swoop or by blocking the road for selective abduction of high profiles. Another mode of operation is revelled by the commutates leaders in the area, from the FGD held revealed that kidnappers in these areas sometimes attack targeted victims in the comfort of their home, farms and places of religious worship. Normally, the victims will be held as captives for days before release after payment is made. Hence residents, commuters and frequent road users are moving in fear.

The data presented in Table 4.6 revealed the cases of kidnapping in the study area. Reports on of kidnapping activities along these flashpoints revealed that on April 14, a certain Dr. Abdul Malik Durun-guwa, was kidnapped by a gang and later his wife, settled the kidnappers ₦7m to gain his freedom. The victim was blindfolded for seven days while the negotiation is on with his brother vis GSM, and the money was paid in cash in the daytime before he was released (NTA news, 2017). In June 24, a serving member of parliament (MP) from one of the northern states (Katsina) was abducted along the Kaduna-Abuja highway, and ₦10m was reported to have been paid before his released. A few days after, the same national daily also reported that four family members were kidnapped at a relaxation spot on the same highway before were later released (Vanguard newspaper, 2017). In a stop and search action, the police command in the Kaduna State arrested 31 kidnaper suspects (paraded in Plate 2) in their hideout at Rijana-village along the Kaduna-Abuja highway, 18 of the suspects had confessed to the crime.

In January 9, the Inspector General of Police Intelligence Response Team (IGP-IRT) arrested suspected kidnappers who confirmed the abduction of former minister Ambassador Bagudu Mamman on the 20th of November, 2016, in his house in Kaduna and collected ransom before he was released (Channels Television, 2017). Accordingly, in the year 2017, gangs of kidnappers operated along Jere, camouflaged in security uniform to deceive and terrorize motorists, by mounting roadblocks who appear in military uniform. They conduct surprise attacks on suspecting motorists, and after grabbing victims, they keep relocating from one point to another in the forest, resulting in the death of a certain Yusuf Bello (TVC, 2017).



Plate 4.2: FIB-IRT Intercepts Kidnappers on Abuja-Kaduna Highway - Oriental News Nigeria

Source: https://cdn.vanguardngr.com/

Similarly, station on 20th of Match, it was reported the abduction of three clergymen including the president of the united church of Christ Rev. Emanuel Dziggau, Rev. Yakubu Darma and Rev. Leah Antoh along Kaduna-Abuja highway by gunmen, and only regained freedom after 10 days in captivity with one of the captives died (Silverbird, 2017). In like manner, it was reported that a German archaeologist, professor Peter and his associate Johan Boring were abducted on the 23rd February, at Gangala-village in Kagargo local government area of Kaduna. The professor was leading a four men team from Frankfort university Germany, studying the relics of the Nok culture in Nigeria when five gunmen ambushed them and were asked to lie down with sporadic gun shots in the air (TVC, 2017).

Table 4.7: Kidnapping Cases Along Kaduna-Abuja Road from 2010-2021

Date	Victim	Remark
2010	NIL	NIL
2011	NIL	NIL
2012	NIL	NIL
2013	NIL	NIL
2014	NIL	NIL
2015	NIL	NIL
2016	Col. Samaila Inusa	Unknown /Killed
2016	Mr & Mrs Pius Mallam	Unknown /Released
2016	Amb. Bagudu Hirse	Unknown /Released
2017	2 German Archaeologists	Unknown /Released
June 2017	Garba Umar-Durbunda	Ransom paid ₦10,000,000

October 2018	Maiwada Galadima	Ransom paid ₦10,000,000
2018	2 Americans and 2 Canadians	Unknown /Released
2018	3 wives of a business mogul	Unknown /Released
2019	ACP Musa Rabo	Ransom paid ₦50,000,000/ Released
April 2019	3 Police Officers	Ransom paid ₦1,400,000/ Released
May 2019	Benedict Audu and 2 others	Ransom paid ₦7,000,000/ Released
July 2019	Mohammad Mahmood Abubakar	Ransom paid ₦5,000,000/ Released
September 2019	Jide Opadijo	Ransom paid ₦4,000,000/ Released
September 2019	Shakiru Weti	Ransom paid ₦1,000,000/ Released
November 2019	Hamza Abubakar Mahuta	Ransom paid ₦500,000/ Released
November 2019	Adamu Chinoko	Ransom paid ₦2,000,000/ Released
November 2019	Abdullahi Kabiru and Sanusi Dabai	Ransom paid ₦2,100,000/ Released
December 2019	HRH Mohammed Ibrahim Pada	Ransom paid ₦6,500,000/ Released
January 2020	Micheal Nnadi	Ransom paid ₦10,000,000/ Released
January 2020	Bola Ataga	Ransom paid ₦8,000,000/ Released
2021	39 students from federal college of forestry mechanisation	5th April, 2021- 5 students released 8th April, 2021- 5 students released 5th May, 2021- 29 students released

Source: Nigeria Police Force (NPF), 2022.

4.3 Perception of the Performance of the NPF in Combating Kidnapping Along the Abuja – Kaduna Road

The third objective that the study pursued, was to assess the perception of residents along the Kaduna – Abuja Road on the performance of the NPF in combating kidnapping along the area. The results presented in Table 4.8 revealed the perception of the residents in the study area. From the results, it can be observed that 39.2% of the respondents were of the perception that the NPF always applies the best practice of procedural fairness when dealing with reported cases of Kidnapping in the area, while 60.8% were of a contrary perception, thus disagreeing with such notion. The mean score ($\bar{x}$ = 2.3) of the responses of the respondents, with a corresponding standard deviation of St.D. = 2.07, failed to meet the established mean cut-off point of 2.50+. Hence, it was concluded that the NPF has consistently failed in applying the best practice of procedural fairness when dealing with reported cases of Kidnapping in the study area. The results further revealed that 60.5% of the participants were of the perception that the NPF has so far been fair in decisions making during investigation, gathering of information/intelligence and the recuse of kidnapped victims, as against 39.5% of the respondents who disagreed. From the results, the mean score of responses of $\bar{x}$ = 2.7, with a corresponding standard deviation of St.D. = 2.38 is in tandem with the established mean cut-off point, hence, it was concluded that residents in the study area were of the perception that in its efforts in combating the menace of kidnapping in the study area, the NPF has thus far been fair in decisions making during investigation, gathering of information/intelligence and recuse of kidnapped victims.

The results also further revealed that 63.8% of participants were of the perception that the attitude of officers of the NPF have been discriminatory to families and relatives of victims of kidnapping, when cases of abduction are reported and investigated, as against 36.2% of the respondents who disagreed. Given the mean score of responses of participants ($\bar{x}$ = 2.8), with a corresponding standard deviation of St.D. = 2.51, it was concluded that residents in the study area were of the perception that the attitude of officers of the NPF has been discriminatory

towards the families and relatives of victims of kidnapping, when cases of abduction are reported and investigated. From the interview and FGD held, a rescued victim of kidnaping in the study area (name withheld) revealed that:

"When I was abducted from my business tripe to Kano, my family was treated like trash by officers of the NPF when they went to complain. There was no sense of humanity or professionalism in the police. What they were busy asking my wife and friend who went to report my kidnapping incident were; *what do I do? What kind of business do I do? Do I have a car? What is my tribe, religion? What is my average income?* After answering these questions, they were asked to take a sit and wait! I remembered clearly as my wife told me, that they were kept waiting for almost 2 hours, while other complainers who came in and appeared rich with security escorts were taken straight to the DPO's office and attended to swiftly. Can you just imagine the level of discrimination! If my family wasn't able to pay for my released, perhaps my name would be history by now. If the NPF can behave like politicians and business men, what hope does the ordinary Nigerian with no money have if their family and loved ones are kidnapped"? (Male fashion and cosmetic trader in Gonin-gora, 15/8/2022).

It was further observed (Table 4.8) that 64.4% of the respondents were of the perception that the NPF usually does not reacts promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in the study area and cannot be trusted to tackle the situation, while 35.6% were of the perception that the NPF reacts promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in the study area and can be trusted to tackle the situation. On the premise of the mean score of responses of participants ($\bar{x}$ = 2.2), with a corresponding standard deviation of St.D. = 1.89, it was concluded that residents in the study area were of the perception that the NPF usually does not reacts promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in the study area and cannot be trusted to tackle the situation. From the FGD, the residents of the reported that;

"For this area, Police no be people wey you fit trust, never! Na so one dey wey I go buy materials to do work dey come back, we see people wey them kidnap put of bus the run with them. Dey people dey shout for help as wey kidnapers dey shot gun anyhow. Na so all of us run for our lives because of the gun shots. We come organise go police station to tell the police weytin we see. Omoh! the police no even send us. All them tell us be say them don hear, them no get fuel for motor, but them go do investigation! The behaviour was like nothing concern them. In fact, my brother, no trust police to help you if the kidnap you or any of your person" (Male carpenter in Gonin-gora, 15/8/2022).

Another respondents noted that

"Truth be told, when it comes reacting promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in this area, the NPF is not the most reliable. There've been instances when farmers have been kidnaped in their farms in this our community and when we run to the police, the body language is not impressive at all. They bring up all sorts of bureaucratic procedure to stall time, and when they finally attend to you properly, maybe 2 or 3 hours may have gone by, and the kidnapers by then have already carried out their atrocities and long gone. It's that bad that some our people have lost trust in the police, so what they do is wait patiently for the kidnapers to contact them and then negotiate for the payment of ransom and release of the families and loved ones that have been abducted. It is not the best, but that is the reality we are in at the moment. It's painful because you expect the police to help you that a moment's notice of such barbaric attack, but what expect from a low-ranking police officer that earns less than ₦100,000? What do you expect from a police force that has one of the world poorest equipment and facilities to combat crime?" (Community leader (Male) in Maraban-Rido, 03/08/2022).

Table 4.8: Perception on the performance of the police in combating kidnapping

Perception(s)	Frequency Distribution and Percentages of Responses, Response Scores and Decision								
	SA	A	D	SD	Aggregate		Mean ($\bar{x}$) Score of Responses	Standard Deviation (St.D)	Decision
					Agree	Disagree			
The NPF always applies the best practice of procedural fairness when dealing with reported cases of Kidnapping	72 21.7	58 17.5	107 32.2	95 28.6	130 39.2	202 60.8	2.3	2.07	Disagree
The NPF is fair in decisions making during investigation, gathering of information/intelligence and recuse of kidnapped victims	90 27.1	111 33.4	71 21.4	60 18.1	201 60.5	131 39.5	2.7	2.38	Agree
The attitude of officers of the NPF have been discriminatory to families and relatives of victims of kidnapping, when cases of abduction are reported and investigated	114 34.3	98 29.5	68 20.5	52 15.7	212 63.8	120 36.2	2.8	2.51	Agree
The NPF reacts promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in the study area and can be trusted to tackle the situation	47 14.2	71 21.4	99 29.8	115 34.6	118 35.6	214 64.4	2.2	1.89	Disagree
The investigative, detective ability and procedure of the NPF has been efficient in curbing the menace of kidnapping in the study area	53 16	60 18	108 33	111 33	113 34	219 66	2.2	1.91	Disagree
The NPF has generally been effective in combating the challenge of kidnapping in the study area	61 18.4	70 21.1	116 34.9	85 25.6	131 39.5	201 60.5	2.3	2.04	Disagree
Distribution: N = 332; Percentage 100%							**Cluster $\bar{x}$ = 2.4**	**Cluster St.D. = 2.17**	

Mean cut-off point (Scale mean) = 2.50+
Key: SA = Strongly Agree; A = Agree; D = Disagree; SD = Strongly Disagree; $\bar{x}$ = *Mean;* St.D. = Standard deviation
Source: Author's field survey, 2022.

Perception of residents of the study area on the performance of the police in combating kidnapping in the study area in terms of the efficiency of its investigative, detective ability and procedure of the NPF was assessed. From the results presented in Table 4.8, it can be observed that 34% of the respondent were of the perception that investigative, detective ability and procedure of the NPF has been efficient in curbing the menace of kidnapping in the study area, while 66% disagreed. Given the decision criterion of the response score of the respondents and the results obtained ($\bar{x}$ = 2.2; St.D. = 1.911), it was concluded the majority of residents of the study area were of the perception that investigative, detective ability and procedure of the NPF has been very poor in curbing the menace of kidnapping in the area. It like manner, the results also indicates that majority of the residents of the study area (60.5% as against 39.5%) were of the position that the NPF has generally been ineffective in combating the challenge of kidnapping in the study area. The above findings on the perception of the perception of residents along the Kaduna – Abuja Road on the performance of the NPF in combating kidnapping along the area agrees with the works of Onyeozili (2005), Odekunle (2014) and Obarisiagbon and Omagie (2018), who have argued that public perception of the police is very low due to their abysmal performance at curbing crime, kidnapping inclusive.

4.3.1 Level of Satisfaction with the Performance of the Police Towards Curbing Kidnapping Along the Abuja – Kaduna Road

Respondents were asked their level of satisfaction with the performance of the police towards curbing kidnapping along the Kaduna – Abuja Road. The results presented in Figure 4.8 revealed that 22.9% of the respondents were highly satisfied with the performance of the police towards curbing kidnapping along the Kaduna – Abuja Road, while 17.5% were moderately satisfied. The results further revealed that 29.2% of the respondents revealed a low level of satisfaction with the performance of the police towards curbing kidnapping along the area, while 30.4% were not satisfied at all. From these responses, it can be deduced that majority of residents in the study area were not satisfied with the performance of the NPF towards curbing kidnapping along the Kaduna – Abuja Road.

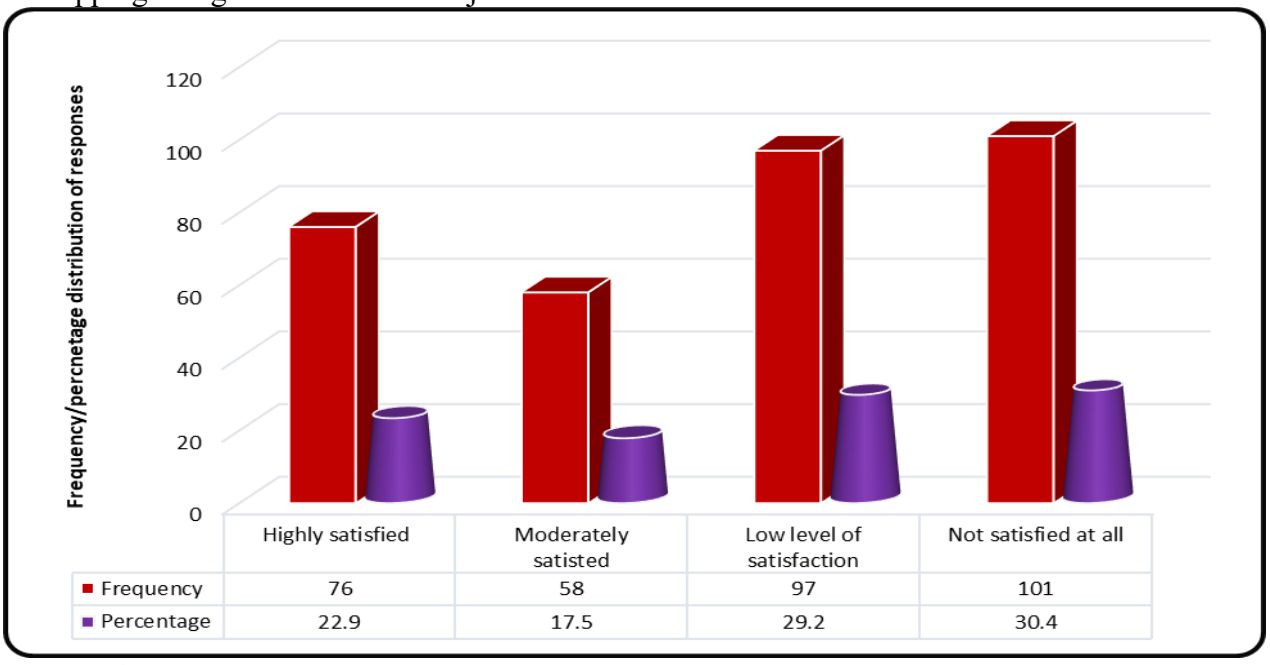


Figure 4.8: Level of satisfaction with the performance of the NPF in combating kidnapping

Source: Author's field survey, 2022.

From the interview/FGD held with the respondents to identify the reason for their satisfaction or non-satisfaction, the keynotes from the respondents were:

"It is difficult to be satisfied with the performance of the police in combating kidnapping in our community. Yes, we can all agree the police in constrained in its efforts and ability in securing the lives and properties of the citizens due to lack of adequate training, manpower, equipment and motivation, resulting from the failure of the government. Nevertheless, the will and commitment of the men and women of the force when it comes to matters of our security in this community, is very questionable. They show less commitment and have zero sense of accountability and responsibility to us. Once we go to the station to report any case of kidnapping, the attitude and treatment we received is humiliating at times. Sometime, they treat a lot of our people that go to report the kidnapping of their families' members and love ones as the prime suspects and talk down on them without even taking into consideration the current mental and emotional state of mind. Frankly speaking, I have never reported a case to the police that have gotten resolve expediently and professionally without paying bribe. The moment you take a case to the police, tor! Just know that you have brought a source of revenue for them" (Male teacher in Rijana, 23/09/2022).

Another respondent stated:

"From the experiences a lot of our people have had in dealing with the police, it is difficult to accept that they are capable of doing their job in securing the lives and properties of our people. How can we have the police who are supposed to protect us end all form of patrol once its 7pm? And then may by say – 10pm, kidnapers and bandits are terrorising us? When we call their number to report an attack, its either they don't answer or the phone is switch off! Sometime they give us silly excuse of 'we don't have fuel in our vehicle or there was no light to charge our phone'. There was a day when myself and other imams and pastors came together as religious leaders to have a meeting with officers of the police to see how we can collaborate together to secure our communities. Do you know what the DPO told us? (Hmmm!) he told us that we should tell our people to be prayerful and try to save money for ransom because the government will not answer us because there are no VIP among us (…wallahi!). The way the police behave, their attitude, sometimes suggest that they are accomplice to some of the kidnapping we are facing here (…seriously!). We fear going to our farms, to the market, sending our children to school or even going to mosque to pray to the Almighty. So, tell me; how can one be satisfied with this kind of treatment from people that are supposed to protect us"? (Imam in Jere, 10/08/2022).

Another respondents reacted:

"While I understand that many of my people may not be happy with the efforts of the police, if you look at how underfunded these people are and the bad and poor condition they have to work under, (…. baba) you go appreciate their efforts (…. I swear). I know there are bad elements among them – in fact, I strongly believe that some of them are either partners with theses kidnappers or even do the kidnapping themselves, still, there are still honourable and honest one among them that are committed to their job and do the best of the little they can do, especially when it comes to this kidnaping issue. If the government can properly train, motivate and equip them, and the public gives them and chance and cooperate with them, (I swear) this kidnaping of a thing will end. Am happy with them so far, but I believe they can still do better is properly satisfied" (University student (male) in Jere, 10/08/2022).

4.4 Challenges Faced by the NPF in Combating Kidnapping in the Study Area

The fourth objective that this study set out to achieve, was to examine the challenges faced by the Nigerian Police in combating kidnapping along the Kaduna – Abuja Road and the results (responses of officers of the NPF) are presented in Table 4.9.

Table 4.9: Challenges Faced by the Police in Combating Kidnapping

S/N	Challenges	Frequency	Percentage
1	Inadequate funding of the Nigerian police force by the government	94	22
2	Corruption	69	16
3	Inadequate training, arms, ammunition and modern security gadgets	98	23
4	Uncooperative attitude of GSM operators	77	18
5	Poor public perception towards the Nigerian police	89	21

Source: Author's field survey, 2022.

From the results, it can be observed that one of the fundamental challenges confronting the Nigerian police in combating the menace of kidnapping along the Abuja – Kaduna road, is inadequate funding by the government, as reflect in areas such their poor salaries, lack of adequate insurance policies, poor working environment, dilapidated barracks and accommodation allowance, and general poor welfare packages for their families that can motivate them to perform their duties with the utmost sense of commitment, responsibility and accountability. This view was raised by 22% of officer of the NPF who Participated in the study. This finding collaborates with the study of Onaivi (2020), Obarisiagbon and Omagie (2018) and Adegoke (2014), who from their studies reported that the salary of the average police is nothing compared with that of the politicians and their contemporaries in other parastatals. The welfare is quite inadequate and there is no motivation from the government or any other quarter. The policeman puts his life on the line when chasing kidnappers and other criminals, gets hurt and in some cases killed with no insurance scheme or provision for his wife, children and dependents. Such a situation leads to apathy, indifferences and unwillingness to put in one's best in the service to the nation. Over the years, there has been an underfunding of government agencies, it has however remained a recurring decimal in the annals of the Nigeria police force. The various barracks across the country need a facelift, the police colleges are in a sorry state, and equipment and materials are constantly unavailable or in short supply.

From the FGD held with some of the officer of the NPF in the study area, the noted that;

"Many Nigerians are quick to blame officers of the NPF in the mists of challenges. They call are quick label us all sorts of despicable name, but fail to understand that the NPF is the most underfunded agencies in the country. Do you know that an average officer has no home of having a house of his own? Do you know that if I die today my family will not be remembered? If say a police officer of the rank of an inspector retires, do you know how much he collects as pension every month? ₦25,000! That's how much. So how can the police be effective? Ok just imagine, in this our division, we have only two police van which in some cases is they not serviceable, and when we complain to our *'ogas at the top'*, they tell us that we should manage that there nothing coming from above. So, tell me, with all these issues, how can the police carry out its constitutional functions of prevention and detection of crime particularly this evil call kidnapping"? (Male police officer [Sargent] in Maraban-Rido, 05/08/2022).

Another challenge faced by the NPF in combating the menace of kidnaping in the study area, is corruption among its officers, noted by 16% of the respondents. These corruption among officers of the NPF ranges from the collection bribery, to feeding information to criminals organisations about operations and strategies of the NPF, compromising investigation so that

criminal from whom they collect bribe from or are affiliated with avoid prosecution, to payment of bribe for promotion and dusty posting to juicy areas so as to avoid being posted to hotspots of crime, selling ammunitions to criminal gang and partaking and being sleeper agents of organised crime syndicates. From the interview/FGD held with some of officers of the NPF reported that;

When we talk of corruption in the police, you need to know that it did not start neither is it limited to the NPF alone. However, if am going to be honest between me and my God, our case might just be the worst (…. whallahi!). It is very serious and among all ranks – both the junior officers and our *oga at the top*. They no longer care about the job. All everyone wants is how to secure their future, hence officers engage is all sorts of dirty atrocities that shouldn't be associated with officers of the law. Like in here, I know some of our boys who are involved in drug business with civilians and often find one way other the other to see that these boys are not arrested. There are even rumours among the local communities that some of our boys engage in armed robbery operation when the on a road block duty. From information going around, they usually carry out his atrocity when it is raining heavily so that there is no trace to them. And you cannot go after them because if you try it, you may lose your jo or even your life, because these boys are bringing 'returns' to our ogas. It is like a cartel that if you cannot beat them, you join them. So, tell me how can we fight kidnapping when some of our boys may even be the kidnappers? It is not one of the things that caused ENDSARD? All we can do is to hope and pray (Male police officer [Inspector] in Jere, 12/08/2022).

This challenge reported in the current study echoes the findings of Alemika (1999), who asserts that the issue of corruption in the police force is an undeniable fact with several pieces of evidence of their involvement. In like manner, Obarisiagbon (2017) opined that the police connive with kidnapping offenders to help them out of police custody after collecting money from them and their relations and subsequently closing the case file or writing a report in favour of the offender. Indeed, the stigma of corruption in the Nigerian police force is damning and includes the taking of bribes from suspects as well as complainants before carrying out its statutory functions. Hence, this challenge, by every stretch of the imagination poses a serious bottleneck to the police in combating the increasing cases of kidnapping and insecurity generally in the country, needless to mention, along the Abuja – Kaduna Road. as another respondent noted in:

"I sometime feel ashamed of myself for being a police officer because I have children and when I hear demning verdict from my children on the corruption in the NPF, I nearly weep. The corruption in the NPF and very security agency in this country is rotten to the core and that is why we cannot fight kidnapping and other related crim in this country (..I sewar to God!) because most of like here where kidnaping is becoming a norm, each time we go for security patrol so as to (….you know), blow siren and show are presence to as to deter any potential plan to carry out any operation by kidnapers, our oga will tax us to bring return (…..can you imagine!) sometimes 20k, 30k and sometime even 50k a day! And we don't have a choice but to harass and extort this poor community and innocent passers-by. Now that time we waste to meet up to the amount of return, before you know it, kidnapper will just enter and carry out their operation codedly without any problem. Is it not an embarrassment? But the public doesn't know this a neither will they believe us. Instead, you all see us and paint us all as corrupt and evil" (Female police officer [Constable] in Gonin-gora, 17/8/2022).

The results also reveal the state of inadequate training, arms, ammunition and lack of modern security gadgets as one of the challenges confronting the Nigerian police force in combating kidnapping along the Abuja – Kaduna express road, as indicated by 23% of the participants (Table 4.9). From the FGD held with officers of the NPF in the study area, it was revealed that

the training of policemen is a sine qua non to effective performance but regrettably, there is little or none presently and where any exist, it is very poor as the men are not thoroughly exposed to modern policing. Moreover, there is a paucity of equipment. The few available ones are obsolete, crying for replacement and yet have none in sight. Some of the respondents noted that:

"Is it well known that the NPF is ill-equipped and under-equipped. Even criminals and terrorist know this fact. For instance, what we usually have at our disposal here for carrying out security routine patrol and stop and search security checks and other anti-kidnapping operations are the usual AK 47 assault rifles, teargas, batons, tactical jack knives, portable vehicle bomb dictators, our vehicle and radio walkie talkie. Yes, we do have bulletproof body amor and helmets as well, but you see this equipment are outdated and cand not serve the needs on the current realities we are facing. Almost anybody and guess our firepower and capability, as such we automatically lose the element of surprise and deterrence. Worst off and where we are highly handicapped is at night. We lack proper lightening equipment! Hence, we usually have to improvise, construct and used the traditional handmade kerosine lantern (…. you know that one we call 'a chi bal bal' in Hausa, right?) that's what we have to use, and we still have to buy the kerosine from our pockets!" (Male Police officer [Sargent] in Gangara, 13/09/2022).A major piece of equipment that has handicapped the police in its quest to curb kidnapping in Nigeria is its lack of surveillance devices/technologies such as street CCTV (Plate 4.3), unmanned surveillance aerial vehicle (Plate 4.4), combat unmanned aerial vehicle (Plate 4.5) surveillance airspace radar (Plate 4.6), state-of-the-art cutting-edge tracker system (4.7) and stealth tactical gears for officer of the NPF (Plate 4.8) and as such, they are not able to track down kidnappers. The respondents in the FGD/interview held noted that;

"We know the flash points that a prone to kidnapping in these area, one would expect the government and security chiefs in the their capacity will enact laws that will see to the automatic establishment of based and squadrons area these areas, where Street/road CCTV Surveillance (Plate 4.3), will be mounted strategically to that well be monitored in and establish ICT control room to give securities agencies an upper hand on happening that they might have missed or happenings around close proximities. These area common initiatives that are practiced in advance countries, that is why it is easier for them to solve and manage crime. These unending issues of kidnapping cannot stop if we don't start taking measures that are effective and efficient" (Male Police officer [Inspector] in Gangara, 13/09/2022).



Plate 4.3: Street/road CCTV Surveillance
Source: https://tvcnews.gridpapacdn.com/ (2022)

Still on the lack of surveillance devices/technologies in use for combating kidnaping in the study area from the FGD, the respondents noted that;

"As big as Nigeria is, with all the wealth we possess, we don't have a drone squadrons or square to pilot Unmanned aerial vehicle! Is it not shameful? I mean we are in a digital age. People blame officers of the NPF and think of us as unprofessional, when even the government has not even though of investing and providing arial power and superiority for security agencies to have an edge in combating insecurities in the country. If for say the government take time set-up drone square that reports to a central monitor and control room, we can have unmanned surveillance aerial vehicle (Plate 4.4) that can cover long distance and the terrain of the environment to monitor movements and gather credible intel that can be used to fish out the hideouts of this bandits and kidnappers and in the same time used combat unmanned aerial vehicle (Plate 4.5) to bombard and eliminate targets easily, without sacrificing the lives of innocent Nigerians. We need all these! And believe me if we have them, the issue of kidnapping, bandits and terrorist will be a thing of the past because they will have it at the back of their mind that we are watching them and there is no place for them to hide" (Male Police officer [Corporal] in Gangara, 13/09/2022).



Plate 4.4: Unmanned Surveillance Aerial Vehicle
Source: https://media.meer.com (2022)



Plate 4.5: Combat Unmanned Aerial Vehicle
Source: https://i.guim.co.uk/ (2022).



Plate 4.6: Surveillance Airspace Radar
Source: https://media.tehrantimes.com/ (2022)

Another equipment needed for operation in combating the menace of kidnaping in the study area but lacking, as pointed out by the respondents in the FGD, were surveillance airspace radar (Plate 4.6) and tracker system (Plate 4.7). The respondents noted that the lack of these equipment hinders the ability of officer of the NPF in intercepting communications among kidnappers and the movement of unregistered airplanes and unmanned aerial vehicles in the airspace of the study area, as well as the ability of the NPF to track and rescue victims whenever they were abducted. It was noted that the availability of these equipment will go a long way reducing the challenges faced by the NPF in combating kidnapping in the along the Abuja – Kaduna Road. More so, it was noted that officers of the NPF lack hostage negotiation and recuse training. Hence, the respondents revealed in the FGD that such training should be inculcated, and a special division setup so as to ensure casualties (deaths of hostages). This result supports the assertions of Adegoke (2014), who posited that inadequate materials for officers and men of the NPF is a notable factor that have created an abysmal performance for the police in carrying out their statutory functions of crime prevention and detection.



Plate 4.7: Ranger Tracker System
Source: https://rangertrax.com/ (2022)

The result in Table 4.9 also revealed the uncooperative attitude of GSM operators, as another factor/challenge confronting the Nigerian police force in combating the menace of kidnapping along the Kaduna – Abuja Road, as indicated by 18% of officer of the NPF interview. The respondents noted that;

"Network operators are one of the biggest challenges for us in fighting kidnapping along this area, because everybody knows that one of the fastest ways of dealing with and solving this issue of kidnapping in the country is to trace kidnapers and their hideouts through phone calls, especially when they are negotiating ransom collection. If MTN, Glo and Airtel can monitor and provide the police with information, we can easily handle and stop these kidnapping before they even occur. Like I remembered when a case of kidnaping of some farmers took place along the express road of this community. It was a painful day for us because the victims were simple hardworking members of the community with no problem. They were on their way from the farm and came across a kidnaping operation taking place on the Gonin-gora express road and were also taken. When the kidnappers phoned their family members demanding ransom payment for their release, through the kidnappers hid their number when they called, we immediately reported the matter to the network provider of the line they called (…. I think it was Airtel). We asked them to help us and trace the location of the line, but they blatantly refuse, telling us they have to uphold their policy of protection of the privacy of their customers, and can only do otherwise on the directive of the IGP, under the approval NCC"! (Male police officer [Sargent] in Gonin-gora, 15/8/2022).

Another respondents noted:

"Everybody knows the areas sounding the Abuja – Kaduna Road is a like a kidnapping den. One will expect that all the networks in the country will work with the police to fight crime and secure lives, but never! These network people have bad manners. When you call to report and ask for help, they will place us on hold and be playing music on the background for 30 minutes to 1 hour before one operator will connect you. Sometime they can even keep you for 2 hours and nobody will come to attend to you. When we are finally able to speak with one of their agents, and report the situation on ground and ask for help, what they will sometimes tell us is to report the matter to their head office! You see they just help these criminals without even

knowing it, because these kidnappers know that all these networks will not trace them, and because of that they even given out phone number for communication when negotiating ransom. All these one that they will say people should register their phone numbers and link it with NIN so that they can use it to help in monitoring and tackling crime is all lies. If not, how do these criminal ends up having lines that are registered and functioning for communication"? (Male police officer [Constable] in Gonin-gora, 15/8/2022).

Indeed, the above findings agrees with the findings of Obarisiagbon and Omagie (2018), who in their studies noted that the very uncooperative nature/attitude of the GSM operators who are duty-bound by customer privacy protection and hence unwilling to give call details of suspected kidnappers makes it difficult to tackle the issue of kidnapping in the country since most of these kidnappers use GSM phones to negotiate ransom with families or next of kin of their victims. This challenge thus greatly impacted the ability of the Nigerian police in curbing the menace of kidnapping along this road (Obarisiagbon & Omagie 2018).

Looking at the results in Table 4.9, it can be observed that another challenge confronting the Nigerian police force in combating the issue of kidnapping along the Abuja – Kaduna Road, is poor public perception towards the NPF as indicated by 21% response rate. This result correlates with the findings of Onyeozili (2005), who noted that the cankerworm of corruption has deeply affected the social image of the public as public opinion regarding the integrity of police officers is that of "dirty Harry". The very low public attitude towards the Nigerian police force is also a consequence of a historical legacy of using the police to suppress Nigerians by the colonial and post-colonial governments (Alemika & Chukwuma, 2000). Regrettably, the public has therefore become unwilling to cooperate with the police in crime prevention and detection. Interestingly, without the needed information and cooperation of the public, the police cannot do much in the maintenance of security.

In the interview carried out officers of the NPF to try and ascertain the situation in the study area, it was noted that;

"Many of the residents in communities in Maraban-Rido think poorly of us officers of the NPF. They perceive us an enemy to them and an ally to criminals that have been terrorizing them. It's difficult to change their perception because some of them have broken the law before, and when you tried to follow the law to its latter in dealing with them, you tend to make an enemy of them. And in some cases, they have been abused and treated badly by some of our boys. In such a situation, it is difficult to create trust because they tend to hold a grudge. Sometimes they even see us a criminal (...seriously!). because of this bad blood with some members of the communities, it is difficult to gain meaningful information during investigation, because they don't trust us and are always hesitant to talk with us" (Female police officer [Sergeant] in Jere, 12/08/2022).

Another officer pointed out that;

"Most of the people in this community don't like us and don't want anything to do with us. The most dangerous aspect of it is that they don't even care to hid it or pretend. When we hear of a case of kidnapping in the area, our first point of call is to go into the community and try to gather as much information as possible on who the victims are, how the incident to place and who the families/relatives of the victims are. What we find shocking of late is that most of the community members avoid questioning, even the families of the victim will be nonchalant in the conversation with us, and sometimes will practically refuse to come to the station and give a written statement. Before you know what is happening, they've negotiated with the kidnappers and paid ransom for the release of the kidnapped victims. Even when we invite these freed victims for questioning so they can help our investigation in apprehending the perpetrators, some refuse to come and the few that come, the information they provide us are vague and

practically not useful. In one of my friendly conversations with some of the young men and women of the communities as to why this was happening, I was told that they behave like this because there is a rumour that some of our boys are involved in the kidnapping business and crime in their community"! (Female police officer [Sergeant] in Gonin-gora, 15/8/2022).

The above finding agrees with Ugwulebo (2011), who noted that the police force has been criticized for aiding and abetting kidnappers, resulting in the public being unwilling to report an incidence of the crime to the police. Rather, they prefer to pay the ransom to the kidnappers so that their relations or friends can regain their freedom.

The major challenges faced by the police in combating kidnapping along the Kaduna – Abuja Road, were revealed to include; inadequate funding of the Nigerian police force by the government, corruption, inadequate training, arms, ammunition and modern security gadgets, uncooperative attitude of GSM operators and poor public perception towards the Nigerian police. It was also revealed that the strategies employed by the NPF in combating the challenge of kidnapping in the study area include the adoption of general strategies such as of the detective, undercover, intelligence, surveillance and informant data base strategy, as well as specialised strategies which include the formation and utilisation of the IGP intelligence response team, the counter terrorism unit and the special protection unit. These strategies however, were rated fair in their effectiveness in combating the menace of kidnapping in the study area.

5.2 Conclusion

The study established that kidnapping along the Abuja – Kaduna road area associated with high level of poverty, unemployment, proliferation of arms and military uniforms, policy of a cashless economy, moral decadence in the society and the quest to get the rich quick syndrome, corruption and poor governance, inadequate equipment of law enforcement agencies, loss of the patriarchal authority by the Nigerian state and inequality and absence of fairness and justice in the study area and the country at large.

The major area otherwise referred to flashpoints prone to kidnapping along the Kaduna – Abuja Road are Gonin-gora, Rijana, Jere and Marab-Rido, Rijana-village and Gangala. These areas are prone to kidnapping because of the strategic location of connecting majorly the north-west and north-central (middle belt region) and the FCT, geographical terrain and level of business of the major express road that passes through them. Furthermore, residents in the study area have a negative perception of the NPF in combating kidnapping along the Abuja – Kaduna Road. This poor perception steam from the failure of the officer of the NPF in applying the best practice of procedural fairness when dealing with reported cases of kidnapping, failure in reacting promptly and effectively to reported emergency cases of kidnapping in the study area, inability to tackle emergency cases, inefficient investigative/detective ability and procedure of the NPF has been inefficient in curbing the incessant reoccurrences of kidnapping cases, insensitive and discriminatory attitude of officers towards families and relatives of victims of kidnapping, when cases of abduction are reported and investigated. On a general note, residents in the study area were of the perception that the NPF has been ineffective in combating the challenge of kidnapping in the study area and were totally dissatisfied with the performance of the NPF.

The major challenges faced by the NPF in combating kidnapping along the Kaduna – Abuja Road, included inadequate funding of the Nigerian police force by the government, corruption, inadequate training, arms, ammunition and modern security gadgets, the uncooperative attitude of GSM operators and poor public perception towards the Nigerian police. The strategies employed by the NPF in combating the challenge of kidnapping in the study area are the general and specialised strategies, consisting of the detective, undercover, intelligence, surveillance and

informant data base strategy, formation and utilisation of the IGP intelligence response team, the counter terrorism unit and the special protection unit. Nevertheless, these strategies have failed to live up to expectations in solving the challenge of kidnapping in the study area.

5.3 Recommendations

Based on the observations, findings and conclusions arrived at, the study proffered the following recommendations;

1) In adverting the causes of kidnapping in the study area and other parts of Nigeria the policy recommendation suggested are:

i) The government of Nigeria at all levels needs to create job employment opportunities for the steaming unemployed youths in country way of turning their idleness into productivity that have the capacity of contributing in the national growth of the country. This can be achieved by providing soft loans and grants, providing vocational and technical skill acquisition opportunities, partnering with the private sector to in employing the country and providing an enabling environment for investors and business the expansion and increase the demand for workers. By so doing, the challenges of unemployment and poverty that has influenced many Nigerians into the life of crime as a means of livelihood will be mitigated.

ii) There is the need for the government to re-evaluate it approach and policy of fighting corruption at every level of public and private section/agency of the economy in the country and come up with more stringent laws, improve access to criminal justice system that is truly impartial and independent, where offenders can face prosecution and punishment for corrupt practices in the country irrespective of their social status. This is because corruption is at the core of the proliferation of arms and military uniforms in the country, inadequate equipment of law enforcement agencies, poor governance, inequality and absence of fairness and justice, of which have been identified as motivating factors for kidnapping in the study area.

iii) Family, community, religious and traditional leaders and well as schools should endeavour to inculcate the lost moral virtues among the youths of the society, so as to arrest the moral decadence, loss of the patriarchal authority and the get rich quick syndrome that has gripped majority of the Nigerians youths, which has made them vulnerable to initiation into several social vices in the country, especially kidnapping.

iv) Abdulkabir O.S. (2017). Causes and Incisive Solutions to the Widespread of Kidnapping in Nigeria Current Administration: Under Scholastic Scrutiny. *Journal of Political Science 5*(2), 258-271.

v) Abdulkabir, O.S. (2017). Causes and incisive solutions to the widespread of kidnapping in Nigeria current administration: Under scholastic scrutiny. *Journal of Political Sciences and Public Affairs, 5*(2), 2332-0761.

vi) Abraham, U.E. (2010). *The social problem of kidnapping and its implication on socio-economic development: A case study of Uyo metropolis* [Degree Thesis], University of Uyo, Nigeria.

vii) Adega, M. (2009). Nigerian Worsening Epidemic of Kidnappings*:* Must Many More Have to Suffer. Accessed 06/09/2022 Retrieved from: http://www.saharareporters.com/article/nigeriash-worsening-epidemickidnappings-must-many-more-have-suffer

viii) Adegoke, N. (2014). The Nigeria police and the challenges of security in_Nigeria. *Review of Public Administration and Management, 3*(6), 21 - 35.

ix) Adegoke, N. (2015). Kidnapping, security challenges and socio-economic implications to the Niger Delta region of Nigeria. *Asian Journal of Humanities and Social Sciences, 16*(2), 205-216.

x) Adeniran, A., & Castradori, M. (2021). Students' kidnappings threaten collapse of Nigeria education system. *Brookings*, April 19th. Accessed 10/09/2022 from: http://www.brookings.edu
xi) Adibe, J. (2009). Pervasive kidnapping in Nigeria: Symptom of a failing state? Accessed 5/6/2022 from: http://www.hollerafrica.com
xii) Afolabi O.O. (2013). The rate of youth unemployment and its effects on national security. *Cultural and Religious Studies 1*: 8-20.
xiii) Agbugah, F. (2015). Dasukigate: Here is a breakdown of the alleged misappropriation of $2.1 Bn by Dasuki and others. Accessed on Accessed 06/09/2022 Retrieved from: http://venturesafrica.com/kigali-shortlisted-for-the-global-wellbeing-city-awardfor-healthcare
xiv) Agnew, R. (2000). Sources of criminality: strain and subcultural theories. In: Sheley, J.F. (Ed.), *Criminology: A contemporary handbook.* Wadsworth, Belmont, California.
xv) Ahmadi, M. (2003). *Crime mapping and spatial analysis* [Master's Thesis] International Institute for GeoScience, The Netherlands. Retrieved from: http://www.itc.nl/library/papers.
xvi) Ahmed, Y.A. (2012). The pattern and distribution of crime incidence in an urban environment: a case study of Osun State, Southwestern Nigeria. *International Journal of Humanities and Social Science,2*(5), 178 – 188.
xvii) Ajah, B.O., Nwokeoma, B.N., & Okpan, S.O. (2017). Socio-economic implication of kidnapping and hostage-taking in Southern Nigeria. *Journal of Law and Judicial system, 1*(1), 51-59.
xviii) Akers, R.L., & Sellers, C.S. (2013). *Criminological Theories: Introduction, evaluation, and application* (6th Ed.). New York, NY: Oxford University Press.
xix) Ako, T.A., Onoduku, U.S., Oke, S.A., Essien, B.I., Idris, F N., Umar, A.N., & Ahmed, A.A. (2014). Environmental effects of sand and gravel mining on land and soil in Luku, Minna, Niger State, North Central Nigeria. *Journal of Geosciences and Geomatics, 2*(2), 42-49.
xx) Akpan, N. S. (2010). Kidnapping in Nigeria's Niger Delta: An exploratory study. *Journal of Social Sciences, 24*(1), 33-42
xxi) Alabi, A. (2021). Gunmen kill Ex Zamfara guber aspirant, kidnap many travellers on Kaduna – Abuja highway. The Guardian 22 November. Accessed 20/07/2022 from: https://guardian.ng/news/gunmen-kill
xxii) Albert, I. O., Danjibo, N., & Albert, O. (2020). Back to the past: Evolution of kidnapping and hostage taking in the Niger delta, Nigeria. *BLR, 11*(1): 211-26.
xxiii) Ale, H. & Kate, B. (2003). *Mapping and analysing crime data: Lessons from research and practice* (2nd Ed.). Taylor and Francis, London.
xxiv) Alemika, E., & Chukwuma, I. (2001). *Juvenile justice in Nigeria: Philosophy and Practice*. Lagos: Centre for Law Enforcement Education.
xxv) Ali, G. (2014). Kidnapped traders regain freedom. *Citizen's advocate*, pp. 1–18, February 16.
xxvi) Aljazeera (2020). Hundreds of Nigerian schoolboys released, local governor says. Accessed 10/09/2022 from: http://www.aljazeera.com
xxvii) Amadi, L.A, Igwe, G.H., & Uche, U. (2019). Understanding rural violence in North-Central Nigeria: Experience from nomadic herdsmen and rural farmers' conflict. *Journals of International Politics,1*(1), 53-74.
xxviii) Aminu, M.A. (2016). *Community policing: exploring the police/community relationship for crime control in Nigeria* [Doctoral thesis] University of Liverpool, England.
xxix) Aminu, U., Manu, D., Elmaude, J, G., & Kabiru, M. Y. (2013). Relationship between crime level, unemployment, poverty, corruption and inflation in Nigeria (An empirical

analysis): *Global Advanced Research Journal of Management and Business Studies* 2(8), 411-422.

xxx) Ani, K. J & Nweke, E.N. (2014)**.** Curbing Kidnapping in Nigeria: An Exploration of Strategic Peace Building Tools. *Africa's Public Service Delivery and Performance Review, 2*(1), 111 – 133.

xxxi) Ani, K.J., & Nweke, E.N. (2014). Curbing kidnapping in Nigeria: An exploration of strategic peace building tools. *Africa's Public Service Delivery & Performance Review, 2*(1), 111- 133.

xxxii) Archibong, J. E. (2023). Kidnapping for Ransom: Nigeria's Flourishing Industry, but Worst Nightmare. *The Journal of Social Sciences Research*, *9*(2), 18-25.

xxxiii) Ashaolu, O. (2020). Kidnapped kano businessman regains freedom after paying n15m ransom. *Newsbreak*, December 26th. Accessed 10/09/2022 from: https://newsbreak.ng/kidnapped-kano

xxxiv) Asuquo, M.E. (2009). The upsurge of kidnapping and its influence on public order in Akwa Ibom State. *Unpublished Paper*, Department of Sociology/Anthropology, University of Uyo, Uyo, AkwaIbom State, Nigeria.

xxxv) Ayuba B., Mugu, B. A., Tanko, H., & Bulus, S. J. (2016). Geo-spatial analysis of crime in Kaduna Metropolis, Nigeria. *Science World Journal*, *11*(4), 7 – 15.

xxxvi) Babangida, M. (2021). Zamfara emir kidnapped along Kaduna - Abuja road. *Premium Times* 15th September. Accessed 10/09/2022 from: http://premiumtimes.com

xxxvii)Bala, A., Bawa, S., Lugga, M. S., & Ajayi, O. G. (2015). Geospatial information system for crime analysis and crime zone identification-case study of Katsina, Nigeria: *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, *2*(1), 65 – 15.

xxxviii) Balogun, T. F., Okeke, H., & Chukwukere, C. I., (2014). Crime mapping in Nigeria Using GIS; *Journal of Geographic Information System*, 6(2), 453-466.

xxxix) Barnes, B. (1995). *The elements of social theory.* Princeton, NJ: Princeton University Press.

xl) BBC (2021). Nigeria Kidnap: Gunmen seize 140 schoolchildren in Kaduna. Accessed 10/09/2022 from: http://www.bbc.com/news/world-africa

xli) Bedua, H. A. (1992). The case against the death penalty? Accessed 06/09/2022 Retrieved from: http://www.pbs.org/moyers/journal/blog/capital-punishment

xlii) Bello, I., & Jamilu, I.M. (2017). An analysis of the causes and consequences of kidnapping in Nigeria. *African Research Review: An International Multi-Disciplinary Journal, Bahir Dar, Ethiopia Afrrev*, 11(4), 134-143.

xliii) Blackburn, R. (1993). *The psychology of criminal conduct: Theory; research and practice.* England: John Wiley and Sons.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ASSESSING THE LEVELS OF AWARENESS AND AVAILABILITY OF ASSISTIVE TECHNOLOGY TOOLS FOR LEARNING IN NIGER STATE SCHOOL FOR INDIVIDUALS WITH SPECIAL NEEDS

James, Stephen
Tukura Charles Saidu (Prof.)
Department of Educational Technology,
Federal University of Technology, Minna, Nigeria

Abstract
This study assessed the Levels of awareness and availability of assistive technology tools for learning in Niger State school for individuals with special needs. Descriptive survey research was adopted and special education students in Niger State were employed as research participants. Two research questions and two null hypotheses guided the study and an 18-item questionnaire was used as instrument for data collection. The questionnaire was validated by experts in educational technology. Pilot test was carried out and reliability coefficients of 0.89 and 0.93 were obtained for the two sections of the questionnaire. Data collected from the administration of the research instrument were analyzed using descriptive statistics of Mean and Standard Deviation for research questions and independent sample t-test for research hypotheses. A decision rule was set, in which a mean score of 3.0 and above was considered agreed, while a mean score below 3.0 was considered disagreed. Findings revealed that special education students in Niger state are aware of the various assistive technology tools with grand mean score of 3.22, also the finding revealed that assistive technology tools are available for learning with the grand mean score of 3.22. Based on these findings, it was recommended that excursions, seminars and workshops should be organized for special education students to increase their level of awareness of the various types of assistive technology tools and also ensure the availability of assistive technology tools in the school.
Keywords: Awareness, Availability, Assistive Technology Tools, Special Education School, Individual with Special Needs.

Introduction

Education is the process of using information to alter the behavior of someone less knowledgeable in a specific area. It is a lifelong journey and is globally recognized as crucial for both personal and national growth, making it essential for everyone, including those with disabilities (Shirvan, 2020). Education involves facilitating the acquisition of knowledge, skills, values, morals, beliefs, and habits (Setiawan, 2021). It can also be seen as a socially regulated process where experiences are passed down from one generation to the next (Alam, 2022). Methods of education include teaching, training, storytelling, discussion, and directed research. While education often occurs under the guidance of educators, individuals can also educate themselves (Mukhalalati &Taylor, 2019). It can happen in both formal and informal settings, and any experience that shapes one's thinking, feelings, or actions can be considered educational (Dutta, 2020).

In recent years, there has been a significant increase in interest regarding the optimal use of computers and the Internet to enhance the efficiency and effectiveness of education across all levels and in both formal and informal settings (Marcel, *et al.*, 2020). However, ICTs encompass more than just these modern technologies; older technologies like the telephone, radio, and television, despite receiving less attention now, have a long and rich history as educational tools (Mukherjee and Ghosh, 2018). For example, radio and television have been

utilized for over forty years in open and distance learning, although print remains the most affordable, accessible, and therefore dominant method of delivery in both developed and developing countries. The use of computers and the Internet is still in its early stages in developing countries, if they are used at all, due to limited infrastructure and high access costs (Turya and Tomtsu, 2019). ICTs, or information and communication technologies, are defined as a diverse set of technological tools and resources used to communicate, create, disseminate, store, and manage information (Das, 2019). These technologies include computers, the Internet, broadcasting technologies (radio and television), and telephony.

Abdul *et al.* (2020) suggest that ICTs are a powerful tool for expanding educational opportunities, both formal and informal, to previously underserved groups such as rural populations, ethnic minorities, girls and women, persons with disabilities, the elderly, and others who cannot attend campus due to cost or time constraints. Enhancing the quality of education and training is crucial, especially during times of educational expansion. ICTs can improve education quality by boosting learner motivation and engagement. Tools like videos, television, and multimedia software that combine text, sound, and colorful, moving images can provide engaging and authentic content. Interactive radio uses sound effects, songs, dramatizations, and comic skits to engage students in lessons (Saravanakumar, 2018). ICTs also help in acquiring basic skills by facilitating the transmission of foundational skills and concepts through drill and practice. Additionally, ICTs enhance teacher training by improving access to and the quality of professional development opportunities, such as those provided by the Cyber Teacher Training Center (CTTC) in South Korea. ICTs are transformational tools that, when used appropriately, can promote a shift to a learner-centered environment and serve as instructional materials to enhance the teaching and learning process (Das, 2019).

Teaching requires educators to not only possess subject knowledge and skills but also the professional ability to use methods and materials effectively to influence learners' behavior. Munna, and Kalam(2021) describe instructional materials as tools that make teaching and learning easier, more meaningful, and understandable. Similarly, Kukey*et al.* (2019) state that these materials are designed to enhance effective teaching and learning experiences. Given these definitions, instructional materials are essential tools for teachers at all educational levels to deliver effective instruction. No significant teaching can occur without them, and teachers aiming to promote learning cannot ignore their use. These materials help students remember and retain what they have learned. Lin and Hwang (2018) define instructional materials as instruments for transmitting information, ideas, and notes to learners. They also highlight that the role of instructional materials in teaching and learning is a crucial and widely discussed topic in contemporary education policy (Almanthari*et al.*, 2020). Therefore, instructional materials are vital for classroom interaction, successful knowledge transfer, promoting academic achievement, and achieving lesson objectives.

Effectively using instructional materials that are relevant to the topic helps learners understand and retain information, thereby improving their performance. Setiawan (2021) explains that learning involves acquiring, retaining, and using knowledge, skills, habits, facts, ideas, and principles, which can only be achieved through the use of instructional materials. Thus, relevant instructional materials enhance teachers' effectiveness and productivity. Setiawan (2021) also notes that teachers are crucial in ensuring the effective use of these materials, which facilitates successful learning. A teacher who uses appropriate instructional materials can foster learners' innovative and creative thinking, making them more engaged and eager to learn. Instructional materials can include printed and duplicated materials, non-projected display materials, still projected display materials, audio materials, linked audio and visual materials, cine and video materials, and computer-mediated materials (Cahapay, 2021). Just as instructional materials are

vital for teaching and learning, assistive technology tools are essential for individuals with special needs.

Assistive Technology (AT) tools are specialized devices designed to improve academic outcomes, performance, and longevity for all individuals, not just students with special needs, in general classrooms. According to the Individuals with Disabilities Education Act Amendments (IDEA), an AT tool is any item, equipment, or product system used to enhance the functional capabilities of individuals with special needs (Surajudeen, *et al.*, 2023). These tools help all students succeed in general education settings. Slegers, *et al.* (2023) defines AT tools as commercially acquired, off-the-shelf, modified, or customized items that improve functional capabilities for individuals with disabilities. The law encourages the development and use of AT tools to support students with special needs in classrooms.

The U.S. Congress supports AT use in classrooms to reduce costs, eliminate instructional barriers, and enhance teachers' ability to meet all students' needs. AT tools also provide compensatory support for students with disabilities, as required by law (Lovett, 2021). Education professionals must consider AT tools when developing individual program plans for students with disabilities to compensate for any impairments.

AT tools can sustain life, protect students from injury, promote communication, increase mobility, improve interaction with the environment, and enable participation in recreational activities (Hajjar,& McCarthy, 2022). They help students with special needs build cognitive links between lesson representations by providing quick access to multiple formats (Cavanagh, &Kiersch, 2023). AT tools stimulate problem-solving strategies and foster an internal locus of control in students with special needs. These devices significantly enhance the physical and psychological well-being of students by improving their social and life skills (Shumetu&Regassa, 2023). By using AT tools, students with special needs can develop their own strategies for solving real-life problems, demonstrating control over their learning. Examples of AT tools include closed-circuit monitors, Braille readers, voice-activated software, TTY telephones, and motorized wheelchairs, which enable participation in educational activities that might otherwise be difficult or impractical (Cavanagh, and Kiersch, 2023).

Despite the benefits of using Assistive Technology (AT) tools to enhance the quality and effectiveness of teaching and learning, many students have not fully utilized the available resources. Barriers may exist in the use of AT tools by students, who are the primary users of these technologies for education. Therefore, students need to be aware of AT tools for education (Haleem, *et al.,* 2022).

Awareness involves students' understanding of the available AT tools and how they can be applied to improve their learning (Aljawarneh, 2020). For students to effectively use AT tools, they need to be aware of their utilization and impact on their academic activities and be proficient in their use. Knowledge of how to use AT for education is essential for students to successfully incorporate it into their academic activities. Smith, *et al.* (2020) emphasized that users often fail to realize the potential of information resources due to a lack of awareness. The available tools can greatly benefit students.

The use of AT in special education schools has been a topic of research for years. The main reason for providing AT in schools is to help students meet their instructional goals. School personnel should consider the tasks each student needs to accomplish, the difficulties they face, and how various devices can help them better achieve these tasks (Kabariah, &Adiyono, 2023). AT can include hardware and software devices that assist people with disabilities and special needs in overcoming learning and information challenges. However, some individuals, due to gender and other factors, find it difficult to integrate these technologies (Ramirez-Montoya, *et al.,* 2021).

Gender refers to the socio-cultural behaviors, roles, and attributes associated with being male or female in society (Skyba, &Tkachenko, 2021). Previous studies have reported that females lag inthe use of modern technologies (Loos & Ivan, 2024), while other studies show that male students are more prepared to use technologies. Mukasa&Okon(2024) found that female students were better users of technology. Therefore, it is important to consider gender differences in the awareness, availability, and use of AT tools in education, regardless of students' years of experience.

Research Questions

The following research questions were raised to guide the Study:

1. What is the difference in the level of awareness of assistive technology tools between male and female students of special education schools in Niger State, Nigeria?
2. What is the difference in the availability of assistive technology tools between the special education schools in Niger State, Nigeria?

Research Hypotheses

The following null hypotheses were tested in the study:

HO_1: There is no significant difference in the awareness of assistive technology tools between male and female students of the two special education schools in Niger State, Nigeria.

HO_2: There is no significant difference in the availability of assistive technology tools between the special education schools in Niger State, Nigeria.

Methodology

Descriptive survey design was adopted for this study. The methodology involved the use of questionnaire to elicit needed responses from special education students of their level of awareness and availability of assistive technology for learning.

Participants

The population of the study comprises of the entire 679 special education students in Niger State. Purposive sampling technique was employed to select 654based on the presence of hearing impaired students in all the schools and then Krejcie and Morgan (1970) sample size determination table was used to get 242 which were used for the study. Thereafter, based on the percentage of population, Musa Bello special school has 87 (43 females and 44 male) as its target population while special school of education Minna has 155 (80 females and 75 male) as it targets population.

Instrumentation

A researcher-designed questionnaire named "Questionnaire for Awareness and Availability of Assistive Technology' (QAAAT)" was used for data collection. The questionnaire was divided into three sections; section A, consists of demographic information about the respondents. Section B consists of Assistive Technology Tools to check special education students level of awareness of Assistive Technology Tools while section C consist of statement to assess special education students Availability of Assistive Technology Tools for learning using the 5-point Likert scale. A mean score above 3.0 will be adjudged as Agreed, while a mean score below 3.0 will be adjudged Disagreed. The questionnaire was validated by two educational technology experts. To determine the internal consistency of the instrument, a pilot test was carried out on 40 respondents within the study population but outside the selected study sample. The instrument was administered once and the scores obtained were computed using Cronbach Alpha's formula. Reliability co-efficient of 0.89, and 0.88 were obtained, hence, the questionnaire was considered as having high reliability and therefore suitable for data collection.

Data Collection and Analysis

A researchers-developed questionnaire was used for data collection. The questionnaire consists of three sections (Sections A, B, & C). Section A was used to collect the respondents' demography while Section B consists of 9 items for special education students' awareness of Assistive Technology tools and section C consists of 9 assistive technology tools to assess Special Education students' availability of Assistive Technology Tools.

The data collected was analyzed using descriptive and independent sample t-test. Mean and Standard Deviation will be used to answer the research questions. A Mean score of 3.0 and above was considered as Agreement to the items while a mean score below 3.0 was considered as Disagreement to the items. For hypotheses testing, independent t-test was used to determine whether significant difference exists between the mean scores of the two groups.

Results

The responses of the entire 242 participants were used to provide answers to research question one and two.Thereafter, the responses of 119 male and 123 female respondents who participated in the study were collated and analyzed for testing hypotheses one and two. Descriptive statistics of Mean and Standard Deviation were used to answer the research questions as presented in Tables 1 and 2, while independent sample t-test were used to test the hypotheses as presented in Tables 3 and 4.

Table 1: helps to provide answers to the first research question. The results of data illustrate that the mean score for items 1 to 9 ranged between 2.16 and 4.26 and were therefore five (5) Aware and four (4) Not Aware by the respondents.

S/N	Assistive Technology Tools	N	$\bar{X}$	Std.	Decision
1	Communication boards/books/cards	242	4.23	0.68	Aware
2	Gesture to voice technology	242	4.26	0.66	Aware
3	Hearing aids (digital) and batteries	242	4.15	0.81	Aware
4	Flashing doorbells	242	3.48	1.22	Aware
5	TV subtitles	242	3.15	0.98	Aware
6	Text telephones	242	2.87	0.92	Not Aware
7	Flashing alarm clocks	242	2.36	1.03	Not Aware
8	Vibrating alarm clocks	242	2.16	0.94	Not Aware
9	Flashing/vibrating smoke alarms	242	2.34	1.00	Not Aware
	Grand Mean		**3.22**		**Aware**

Decision Mean = 3.0

Table 1 presents the Mean and Standard Deviation on students of special education awareness of the various assistive technology tools in Niger State. From the table, students of special education are aware of Communication boards/books/cards, Gesture to voice technology, Hearing aids (digital) and batteries, Flashing doorbells and TV subtitles, since these items had a mean above 3.0 which is the decision mean. However, students of special education are not aware of Text telephones, flashing alarm clocks, Vibrating alarm clocks and Flashing/vibrating smoke alarms since these items had a mean below 3.0. The table further revealed that the grand mean score response to the nine items is 3.22 which is above 3.0. This implies that students of special education are aware of the various assistive technology tools in Niger State.

Table 2: helps to provide answers to the second research question. The results of data illustrate that the mean score for items 1 to 9 ranged between 1.09 and 1.88 and were therefore five (3) Agreed and four (4) Disagree by the respondents.

S/N	Items	N	$\bar{X}$	Std.	Decision
1	Communication boards/books/cards	242	1.79	0.41	Available
2	Gesture to voice technology	242	1.14	0.35	Not Available
3	Hearing aids (digital) and batteries	242	1.81	0.40	Available
4	Flashing doorbells	242	1.36	0.48	Not Available
5	TV subtitles	242	1.16	0.37	Not Available
6	Text telephones	242	1.09	0.29	Not Available
7	Flashing alarm clocks	242	1.79	0.41	Available
8	Vibrating alarm clocks	242	1.88	0.33	Available
9	Flashing/vibrating smoke alarms	242	1.81	0.39	Available
	Grand Mean		**1.54**		**Available**

Decision Mean = 1.5 and above

Table 2 presents the Mean and Standard Deviation on the availability of assistive technology tools in special education schools in Niger State. From the table, Communication boards/books/cards, Hearing aids (digital) and batteries, flashing alarm clocks, Vibrating alarm clocks and Flashing/vibrating smoke alarms are available in special education schools in Niger State since their mean is above the decision mean of 1.5. However, Gesture to voice technology flashing doorbells, TV subtitles, Text telephones are not available in special education schools in Niger State since their mean is below the decision mean of 1.5. The table further revealed that the grand mean score response to the nine items is 1.54 which is above the decision mean 1.5. This implies that assistive technology tools are available in special education schools in Niger State.

Discussion and conclusion

The discovery of this study reported that students of special education are aware of the various Assistive Technology Tools for learning. This is in line with the discovery of (Soman & Sudhier, 2021) that 55 (49.5%) students are aware of assistive technologies. Similarly, the findings of Okonji & Ogwezzy, (2020) that Visually Impaired Adult and Visually Impaired Older Adult had good awareness of the existence of Assistive Technology Tools. Also, the findings of Jama *et al.* (2020) that a substantial proportion of survey respondents were not aware of existing facilities (Information obtained from a total of 208 individual clinic reception desks).

Furthermore, discovery emanating from the study also reveals that assistive technology tools are available in special education schools. This is in line with the findings of Jama *et al.* (2020) in their study aims to examine the availability of assistive communication devices for patients with hearing loss at reception desks and in patient waiting areas in hospital outpatient settings. A cross-sectional telephone survey involving Audiology and Ear, Nose and Throat (ENT) clinics in NHS hospitals in England. Questionnaires were administered to members of staff at clinic reception desks. All NHS hospital trusts in England providing Audiology and ENT services were included in the survey. Information was obtained from a total of 208 individual clinic reception desks. Assistive communication devices were reported to be available at 64 per cent of Audiology (49/76), 42 per cent of ENT (32/76) and 71 per cent of shared Audiology and ENT reception areas (40/56).

Recommendations

Based on the discovery of this study, the following recommendations are made:

i. Special education students are aware of Assistive Technology Tools, therefore, excursions, seminars and workshops should be organized for them to increase their level of awareness of the various types of assistive technology tools to enhance their learning;

ii. Special education teachers should be encouraged to use assistive technology toolsduring teaching activities to help students get use to it. Therefore, adequate facilities that will enable them to acquire adequate knowledge and mastery of the use of assistive technology tools should be provided by education stakeholders.

Reference

Abdul, A. K. P. A., Aduh, U. V., Pius, A. M. E. H., &Idris, I. (2020). Repositioning information and communication technology for socioeconomic, political and national development in Nigeria.*Oguya International Journal of Contemporary Issues (OIJCI)*,*1*(1), 112-120.

Alam, A. (2022). Mapping a sustainable future through conceptualization of transformative learning framework, education for sustainable development, critical reflection, and responsible citizenship: an exploration of pedagogies for twenty-first century learning. *ECS Transactions*, *107*(1), 9827.

Aljawarneh, S. A. (2020). Reviewing and exploring innovative ubiquitous learning tools in higher education. *Journal of computing in higher education*, *32*(1), 57-73.

Almanthari, A., Maulina, S., & Bruce, S. (2020). Secondary school mathematics teachers' views on e-learning implementation barriers during the COVID-19 pandemic: The case of Indonesia. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *16*(7), em1860.

Asrizal, A., Amran, A., Ananda, A., Festiyed, F., &Sumarmin, R. (2018). The development of integrated science instructional materials to improve students' digital literacy in scientific approach. *JurnalPendidikan IPA Indonesia*, *7*(4), 442-450.

Cahapay, M. B. (2021). How to Plan Lessons in the New Normal Education: A Reintroduction to Selected Instructional Design Processes. *Aquademia*, *5*(1), ep21006.

Cavanagh, T. M., &Kiersch, C. (2023). Using commonly-available technologies to create online multimedia lessons through the application of the Cognitive Theory of Multimedia Learning. *Educational technology research and development*, *71*(3), 1033-1053.

Das, K. (2019). The role and impact of ICT in improving the quality of education: An overview. *International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities*, *4*(6), 97-103.

Dutta, S. (2020). Digital Education plays a role of library: a comparative study in digital era. *Central Asian journal of theoretical & applied sciences*, *1*(1), 34-41.

Hajjar, D. J., & McCarthy, J. W. (2022). Individuals who use augmentative and alternative communication and participate in active recreation: Perspectives from adults with developmental disabilities and acquired conditions. *American Journal of Speech-Language Pathology*, *31*(1), 375-389.

Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., &Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable operations and computers*, *3*, 275-285.

Jama, G. M., Shahidi, S., Danino, J., & Murphy, J. (2020). Assistive communication devices for patients with hearing loss: a cross-sectional survey of availability and staff awareness in outpatient clinics in England. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Sample size determination table. *Educational and psychological Measurement*, *30*, 607-610.

Kukey, E., Gunes, H., &GenÃ, Z. (2019). Experiences of classroom teachers on the use of hands-on material and educational software in math education. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, *11*(1), 74-86.
Lin, C. J., & Hwang, G. J. (2018). A learning analytics approach to investigating factors affecting EFL students' oral performance in a flipped classroom. *Journal of Educational Technology & Society*, *21*(2), 205-219.
Loos, E., & Ivan, L. (2024). Not only people are getting old, the new media are too: Technology generations and the changes in new media use. *New Media & Society*, *26*(6), 3588-3613.
Lovett, B. J. (2021, December). Educational accommodations for students with disabilities: Two equity-related concerns. In *Frontiers in Education* (Vol. 6, p. 795266). Frontiers Media SA.
Marcel, E. C., Oyekezie, K. S., Beatrice, E. Z. E., &Celestine, O. O. (2020). Effect of Information and Communication Technology Tools for Instructional Delivery in Tertiary Institution in Nigeria. *International Journal of Educational Research Review*, *5*(4), 432-437.
Mukasa, N., &Okon, O. E. (2024). Navigating the digital divide: an in-depth analysis of the impact of prior computer experience on university students'adoption of internet resources in uganda. *International journal of contemporary africa research network*, *1*(1).
Mukhalalati, B. A., & Taylor, A. (2019). Adult learning theories in context: a quick guide for healthcare professional educators.*Journal of medical education and curricular development*, *6*, 2382120519840332.
Mukherjee, S., & Ghosh, D. (2018). Learning with ICT: A quality teaching. *International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities*, *3*(6), 5.
Munna, A. S., &Kalam, M. A. (2021). Teaching and learning process to enhance teaching effectiveness: a literature review. *International Journal of Humanities and Innovation (IJHI)*, *4*(1), 1-4.
Okonji, P. E., &Ogwezzy, D. C. (2019). Awareness and barriers to adoption of assistive technologies among visually impaired people in Nigeria. *Assistive Technology*, *31*(4), 209-219.
Ramirez-Montoya, M. S., Anton-Ares, P., &Monzon-Gonzalez, J. (2021). Technological ecosystems that support people with disabilities: Multiple case studies. *Frontiers in Psychology*, *12*, 633175.
Saravanakumar, A. R. (2018). Role of ICT on Enhancing Quality of Education. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*, *3*(12), 717-719.
Setiawan, A. R. (2021). Six main principles for quality learning based on Ta'līm al-muta'allimṬorīq al-ta'allum. *Religio Education*, *1*(1), 57-74.
Shirvan, S. J. (2020). What Does Really Education Imply? *Advances in Social Science Research*, 129.
Shumetu, M. T., & Regassa, T. R. (2023). Enhancing Internal Locus of Control in Young Children through Play Activities: A Case of Model-Preschool, Haramaya University, Ethiopia. *Indonesian Journal of Early Childhood Education Studies*, *12*(2), 123-138.
Skyba, E., &Tkachenko, K. (2021). Gender challenges of modern societies.
Slegers, K., Delien, T., Bettelli, V., Lexis, M., Saey, T., Banes, D., &Daniëls, R. (2023). Designing and manufacturing custom-made 3D printed assistive devices: A comparison of three workflows. *Technology and Disability*, (Preprint), 1-12.
Smith, E. E., Kahlke, R., & Judd, T. (2020). Not just digital natives: Integrating technologies in professional education contexts. *Australasian Journal of Educational Technology*, *36*(3), 1-14.
Soman, V. S., &Sudhier, K. G. (2021). Assistive Technologies for Physically Challenged Students in Kerala: a study on user's awareness and perception.

Surajudeen, T. B., Ibironke, E. S., &Aladesusi, G. A. (2023). Special Education Teachers' readiness and self-efficacy in utilization of assistive technologies for instruction in secondary school. *Indonesian Journal of Community and Special Needs Education*, *3*(1), 33-42.
Turya, J. S., &Tomtsu, N. J. (2019). The Role of ICT Education in Combating Economic Recession in Nigeria.

ASSESSMENT OF URBAN ENCROACHMENT IMPACTS ON WETLANDS AREA IN LOKOJA, KOGI STATE-NIGERIA

Agada D.U.
Dr. Zitta N.
Prof. I.C Onuigbo
Dr. E.A. Adesina
Department of Surveying and Geoinformatics, Federal University of Technology, Minna Niger State-Nigeria

ABSTRACT
Wetlands are among the most productive ecosystems, providing essential ecological services such as flood regulation, groundwater recharge, water purification, biodiversity conservation, and climate regulation. However, rapid urban expansion in Lokoja, Kogi State, Nigeria, has intensified pressure on these fragile ecosystems through uncontrolled settlement growth, infrastructure development, land reclamation, and other anthropogenic activities. This study assesses the impact of urban encroachment on wetland areas in Lokoja using remote sensing, Geographic Information Systems (GIS), and field observations. Multi-temporal satellite imagery is analyzed to determine the spatial and temporal extent of wetland conversion to built-up areas and other land-use classes. Change detection and spatial analysis techniques are employed to quantify wetland loss and identify the major drivers of encroachment. The study also evaluates the environmental consequences of wetland degradation, including increased flood susceptibility, habitat fragmentation, biodiversity loss, deterioration of water quality, and reduced ecosystem services. Findings are expected to reveal a significant decline in wetland extent due to rapid urbanization, particularly in low-lying floodplain areas surrounding the Niger and Benue rivers. The study highlights the urgent need for effective land-use planning, strict enforcement of environmental regulations, wetland conservation policies, and sustainable urban development strategies to protect the remaining wetlands in Lokoja. The outcomes will provide valuable information for urban planners, environmental managers, policymakers, and researchers working towards balancing urban growth with wetland conservation and climate resilience in Nigeria. Ecosystems.
Keywords: Ecosystems. GIS, Land-use, wetlands, Remote Sensing, Encroachment, Policymakers, Spatial Analysis.

1.0 INTRODUCTION
Wetlands represent among the most ecologically productive and functionally important ecosystems on Earth, providing essential services including flood attenuation, groundwater recharge, carbon sequestration, biodiversity support, and water quality regulation (MEA, 2005). However, these ecosystems are disproportionately threatened by rapid urbanization and associated land conversion processes in rapidly growing cities across sub-Saharan Africa and other developing regions (Davidson, 2014).
Urban expansion frequently results in the physical occupation of wetland areas for residential development, transportation infrastructure, and commercial activities (Van *et al.,* 2013). Such encroachment degrades wetland habitats, disrupts natural hydrological pathways, and diminishes the capacity of wetland systems to perform their ecological functions. As urban populations increase and demand for developable land intensifies, wetlands are systematically drained, reclaimed, or filled, reducing the ability of urban floodplains to absorb storm water and

regulate river discharge consequences with potentially severe implications for flood risk management and urban resilience (convention on Wetlands, 2025).

2.0 RESEARCH AND FINDINGS

2.1 Analytical Framework

The analytical framework for this research integrates the wetland delineation outputs alongside the multi-temporal LULC maps. This integration enables the precise identification of spatial interactions between wetland ecosystems and expanding urban infrastructure, and supports the quantification of wetland loss attributable to urban development across the study period. The analysis was implemented within Google Earth Engine and ArcGIS Pro, utilizing spatial overlay techniques, buffer-based proximity analysis, and quantitative temporal change assessment.

2.2 Spatial Overlay Analysis for Wetland Conversion Detection

Spatial overlay analysis was conducted to identify and map locations where wetland areas have been transformed into built-up land across the three temporal epochs. The overlay procedure involved the spatial intersection of wetland delineation maps from earlier epochs with built-up land areas identified in subsequent epochs.

The wetland layer was first converted into a binary spatial mask representing wetland presence and absence. Urban and built-up land use areas were similarly extracted from each classified LULC map as binary masks. The intersection of these two binary datasets identified pixels satisfying the transition condition of being classified as wetland in an earlier epoch and built-up land in a later epoch, thereby representing confirmed wetland-to-urban conversion. The resulting spatial datasets were mapped and quantified to determine the geographic distribution and total spatial extent of wetland loss attributable to urban encroachment across the study period.

2.3 Quantification of Urban Expansion Rates within Wetland Zones

The rate of urban expansion within wetland zones and buffer areas was quantified to provide a temporal measure of encroachment intensity. Built-up area within wetland extents and surrounding buffer zones was calculated for each temporal epoch, and inter-epoch differences were used to compute expansion rates. The urban expansion rate within wetland zones was estimated using the following expression:

$$R = \frac{(At_2 - At_1)}{(t_2 - t_1)} \qquad 2.0$$

where R denotes the mean annual rate of built-up area expansion within wetland zones (km² per year), At_1 represents the built-up area within wetland zones at the initial epoch, At_2 represents the corresponding area at the subsequent epoch, and t_1 and t_2 represent the respective years of analysis.

This quantitative analysis provides measurable, temporally explicit evidence of urbanization's impact on wetland spatial extent, enabling comparison across both inter-epoch intervals and between direct conversion and proximity encroachment scenarios.

2.4 Identification of Vulnerable Wetland Zones

The final analytical component of this research involved the delineation of wetland areas exhibiting the highest degree of vulnerability to continued urban encroachment. Vulnerability was assessed by examining the spatial coincidence of direct wetland-to-built-up conversion with elevated built-up densities within the 500-metre buffer zones. Wetland areas experiencing both direct conversion and high proximate urban development pressure were classified as critically vulnerable zones requiring priority conservation attention.

The mapping of vulnerable wetland zones provides spatially targeted information for environmental management and spatial planning. These areas represent priority conservation

sites where policy intervention, protective land use designations, or environmental impact assessment requirements may be most urgently warranted.

3.0 FINDINGS

Spatial overlay analysis of wetland maps and urban land cover layers for 2005, 2015, and 2025 reveals a consistent pattern of urban development concentrated near transportation corridors and pre-existing settlement nodes situated within or adjacent to the floodplain environment. Urban land uses remain spatially concentrated relative to the broader wetland extent; however, the progressive encroachment of built-up areas into low-lying floodplain zones indicates a systematic trend toward development of hydrologically sensitive terrain. The spatial relationships between urban expansion and wetland distribution across the three epochs are illustrated in Figures 3.1, 3.2, and 3.3.

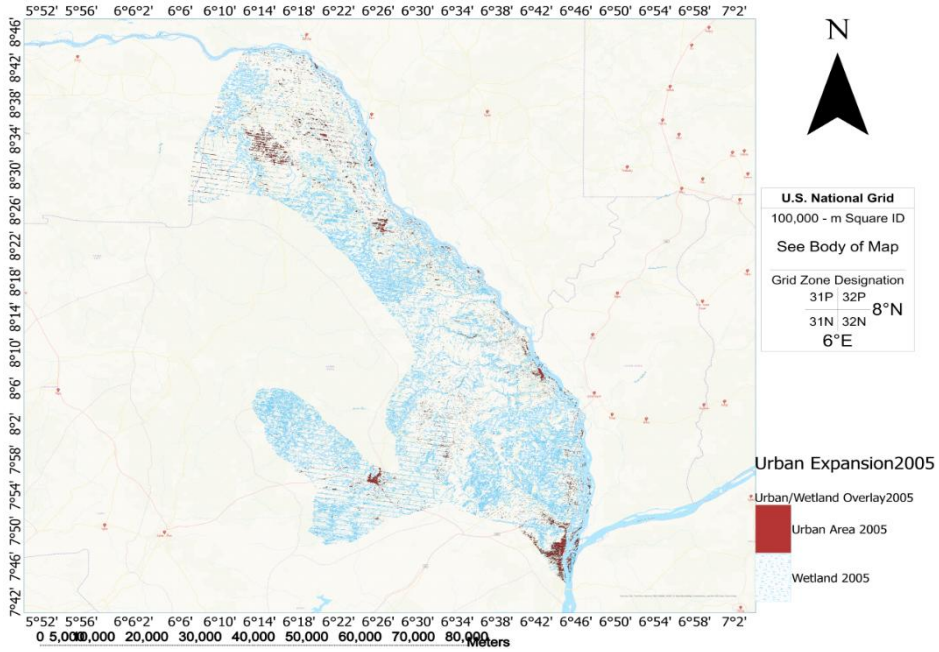


Figure 3.1: Urban expansion and wetland distribution within the study area — 2005

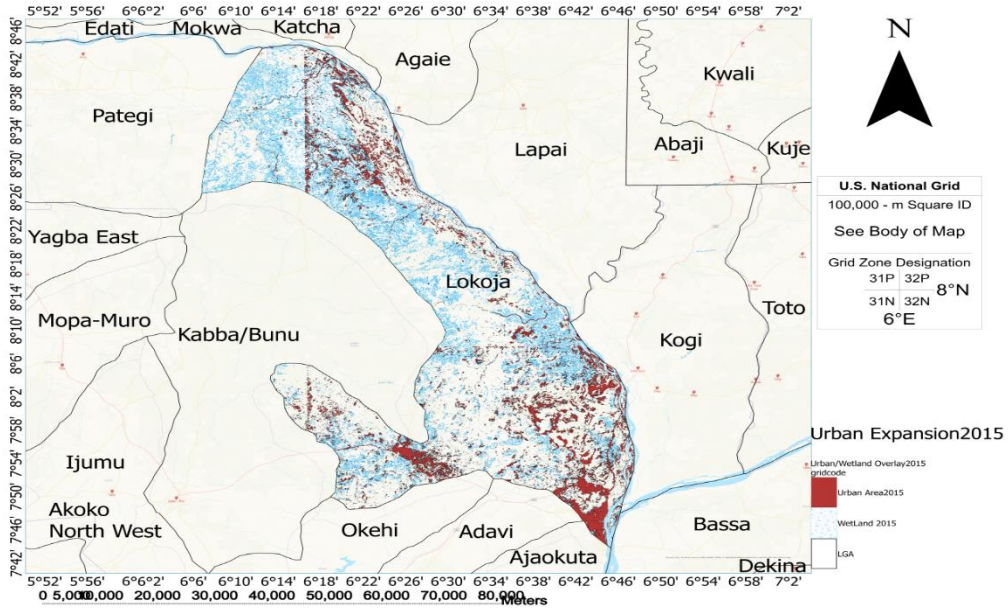


Figure 3.2: Urban expansion and wetland distribution within the study area — 2015

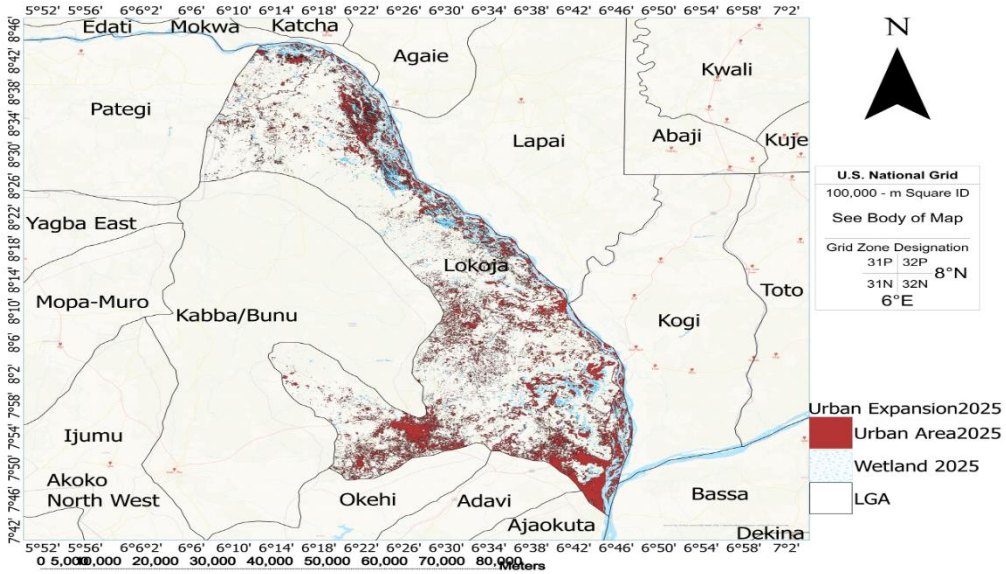


Figure 3.2: *Urban expansion and wetland distribution within the study area — 2025*

3.2 Buffer Zone Analysis: Urban Pressure on Wetland Boundaries

A 500-metre ecological buffer zone was generated around all delineated wetland boundaries to evaluate the intensity of urban development pressure in proximity to ecologically sensitive areas. The 500-metre threshold was adopted consistent with established wetland protection standards and the documented spatial extent of urban-induced hydrological disturbance in comparable riverine environments. The built-up land cover layer was intersected with the buffer polygons for each temporal epoch to quantify the area of urban development occurring within this ecologically critical proximity zone. The results are presented in Table 3.1.

Table 3.1: *Urban Land Area within the 500 m Wetland Ecological Buffer Zone (2005–2025)*

Year	Total Urban Area (km²)	Urban Area within 500 m Wetland Buffer (km²)	Percentage of Urban Area within Buffer (%)
2005	57.98	12.64	21.8
2015	148.03	38.75	26.2
2025	166.65	52.91	31.7

SOURCE: Authors Research work, (2026)

The results demonstrate a progressive and statistically consistent increase in urban land within the wetland buffer zone across all three temporal epochs. In 2005, approximately 12.64 km² of built-up land was located within 500 meters of wetland boundaries, representing 21.8% of the total urban area at that time. By 2015, this figure had increased to 38.75 km² (26.2% of total urban area), and by 2025 it reached 52.91 km², equivalent to 31.7% of total urban extent. The sustained increase in both the absolute area and proportional share of urban land within the buffer zone indicates that urban expansion is not occurring randomly across the landscape but is systematically encroaching upon areas in close proximity to wetland ecosystems.

This trend is particularly significant because the 500-metre buffer zone represents the primary zone of indirect ecological influence from adjacent urban development. Impervious surfaces, drainage alterations, and waste discharge associated with urban land uses within this proximity zone can substantially impair wetland hydrological functioning, water quality, and biodiversity

integrity, even in the absence of direct physical conversion of wetland terrain. The spatial distributions of urban development within the wetland buffer zone for each epoch are presented in Figures 3.4, 3.5, and 3.6.

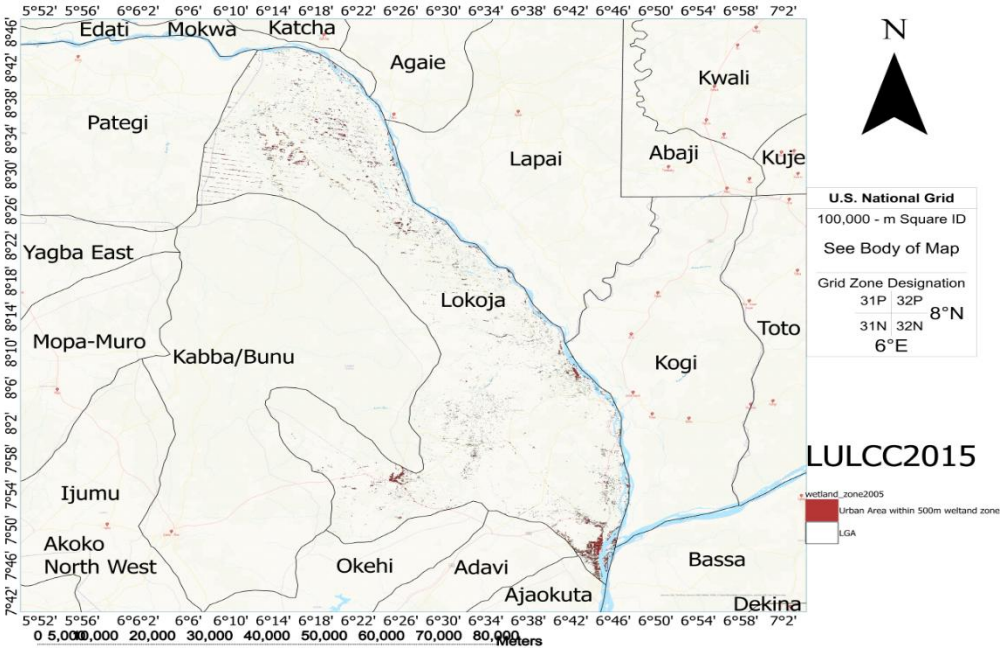


Figure 3.4: *Urban development within the 500 m wetland ecological buffer zone — 2005*

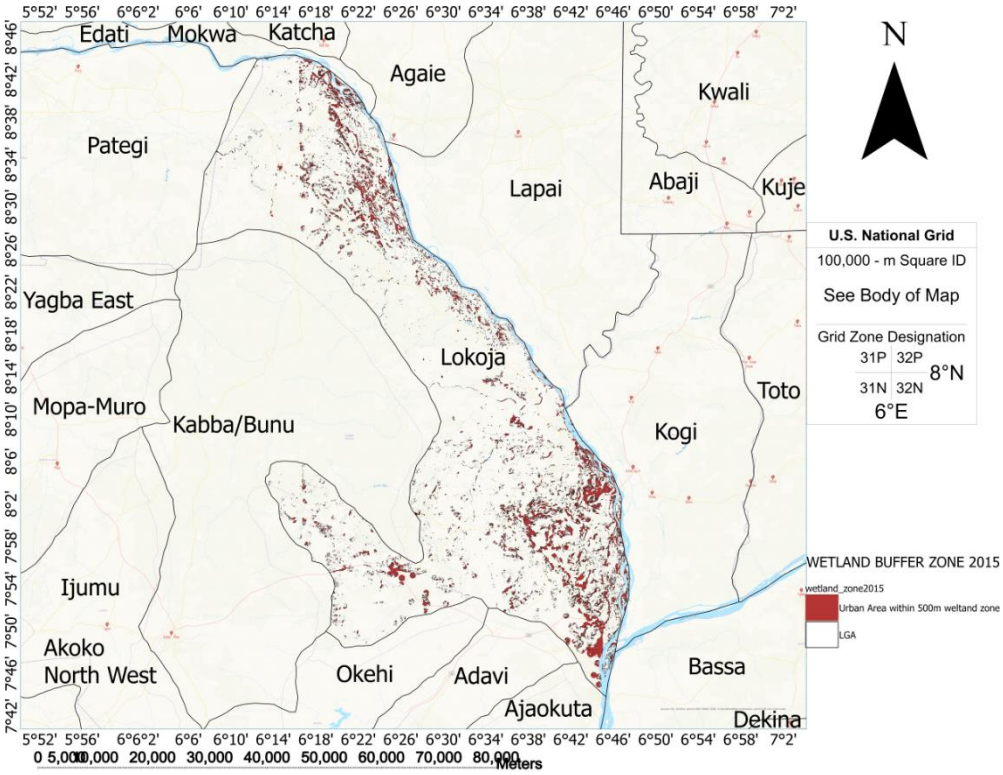


Figure 3.5: *Urban development within the 500 m wetland ecological buffer zone — 2015*

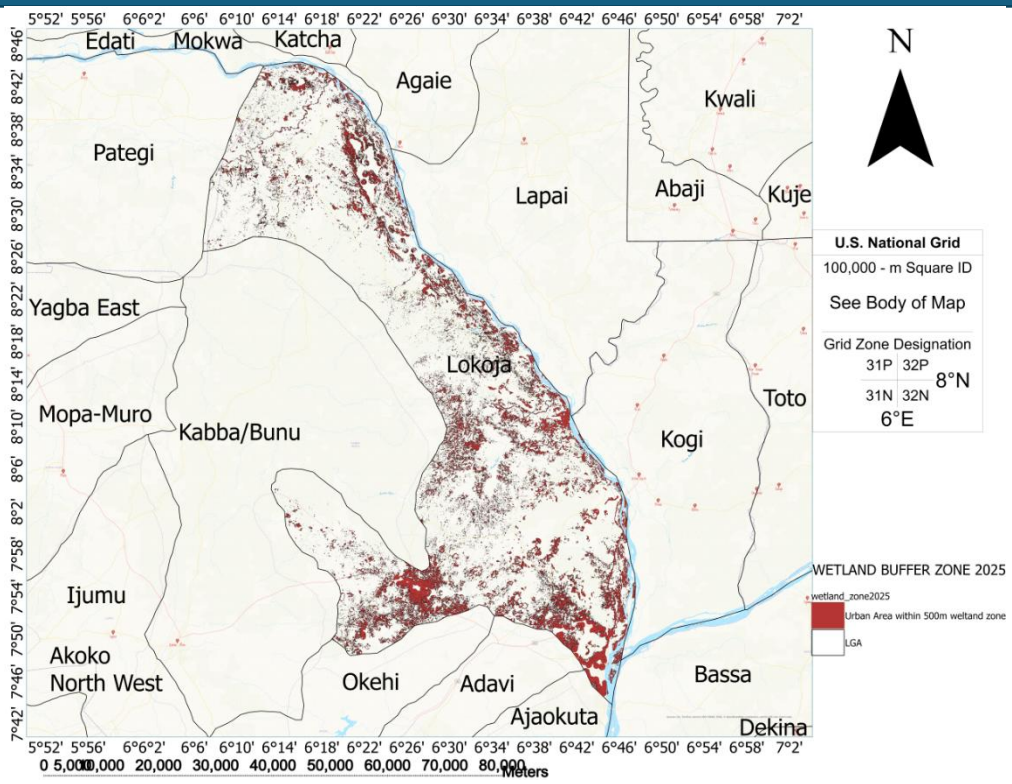


Figure 3.5: *Urban development within the 500 m wetland ecological buffer zone — 2025*

3.3 Direct Wetland-to-Urban Conversion

In addition to the proximity-based encroachment analysis, direct conversion of wetland areas to urban land use was quantified through spatial overlay of wetland maps from earlier epochs with built-up areas identified in later epochs. This analysis identifies pixels that were classified as wetland in a prior period and transitioned to urban land use in the subsequent period, representing confirmed direct ecological conversion. The results are presented in Table 3.2.

Table 3.2: Wetland Area Directly Converted to Urban Land Use by Inter-Epoch Period

Period	Wetland Area Converted to Urban Land (km²)
2005–2015	8.12
2015–2025	10.76
Total (2005–2025)	**18.88**

SOURCE: Authors Research work, (2026)

The analysis indicates that a total of 18.88 km² of wetland area was directly converted to urban land use between 2005 and 2025. The rate of direct conversion increased between the two inter-epoch periods, from 8.12 km² during 2005–2015 to 10.76 km² during 2015–2025, suggesting an acceleration in the pace of direct wetland encroachment during the more recent decade. While the total area of direct conversion remains a relatively small proportion of total wetland extent, the spatial distribution of these conversions in ecologically sensitive floodplain zones warrants serious concern. Direct wetland conversion results in permanent loss of hydrological and ecological function, including irreversible changes to flood storage capacity, groundwater recharge potential, and habitat availability for wetland-dependent species.

4.0 CONCLUSION

The urban encroachment analysis collectively demonstrates that development pressure on wetland ecosystems within the study area is intensifying along two simultaneous pathways: progressive proximity encroachment into the wetland buffer zone and direct conversion of wetland terrain into urban land. While the overall wetland area has expanded during the study period due to natural hydrological processes, the increasing concentration of urban development within the ecological buffer zone represents a growing threat to wetland integrity that may not yet be fully manifested in area statistics but which carries significant long-term ecological implications.

The findings highlight the need for legally enforceable wetland buffer protection frameworks, spatial planning instruments that direct growth away from hydrologically sensitive zones, and continuous satellite-based monitoring of wetland–urban boundaries to provide timely evidence for regulatory intervention. The land suitability model developed in the following section provides a spatial decision-support tool specifically designed to guide future development toward appropriate locations while protecting remaining wetland ecosystems from further encroachment.

REFERENCES

Convention on Wetlands. (2021). *Global wetland outlook: special edition 2021.* Secretariat of the Convention on wetlands. https://doi.org/10.69556/GWO-2021-eng

Convention on Wetlands. (2025). *Global wetland outlook 2025. Valuing conserving, restoring and Financing wetlands.* Secretariat of the Convention on wetlands. https://doi.org/10.69556/GWO-2025-eng

Davidson, N. C. (2014). How much wetland has the world lost? Long-term and recent trends in global wetland area. *Marine and Freshwater Research, 65*(10), 934–941. https://doi.org/10.1071/MF14173

Dike, E. C., Ameme, B. G., & Efeovbokhan, O. (2024). Shoreline position trends in the Niger Delta: Analyzing spatial and temporal changes through Sentinel-1 SAR imagery. *Geomatics, Natural Hazards and Risk, 15*(1), Article 2346150. https://doi.org/10.1080/19475705.2024.2346150

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being; Wetlands and water synthesis.* Word Resources Institute.

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 109*(40), 16083–16088. https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109

Van Asselen, S., Verburg, P.H., Vermaat, J.E., & Janse, J.H. (2013). Drivers of wetland Conversion: A global meta-analysis.*PLOS ONE*, 8(11), e81292. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081292

Wu, J. (2004). Effects of changing scale on landscape pattern analysis: Scaling relations. *Landscape Ecology, 19*, 125–138. https://doi.org/10.1023/B:LAND.0000021711.40074.ae

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing, 27*(14), 3025–3033. https://doi.org/10.1080/01431160600589179

STUDY OF THE OPTOELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF GDCRWO$_6$ OXIDE USING AB INITIO METHODS

Y. El-harrar
R. Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco

Abstract
By employing first-principle calculations within the framework of density functional theory (DFT), the full-potential linearized augmented plane-wave (FP-LAPW) method has been utilized to investigate the structural, electronic, magnetic, and optical properties of the aeschynite-type $GdCrWO_6$ oxide using both the generalized gradient approximation (GGA) and the modified Becke Johnson potential (TB-mBJ). $GdCrWO_6$ adopts a polar crystalline structure (space group $Pna2_1$ (#33)) due to the ordered arrangement of W^{6+} and Cr^{3+} cations. Our calculations indicate that $GdCrWO_6$ is more stable in the antiferromagnetic state and exhibits semiconductor behavior with a band gap of 1.251 eV. The magnetic moments of each magnetic atom are determined under two different approximations. The imaginary and real parts of the dielectric function, along with the optical conductivity, are calculated using the TB-mBJ method. Significant absorption in the ultraviolet region is observed for $GdCrWO_6$.

References

[1] G. Murtaza, R. Khenata, M. Khalid, S. Naeem, Elastic and optoelectronic properties of $RbMF_3$ (M= Zn, Cd, Hg): a mBJ density functional calculation, Phys. B Condens. Matter 410 (2013) 131–136.
[2] J.W. Fergus, Perovskite oxides for semiconductor-based gas sensors, Sensor. Actuator. B Chem. 123 (2007) 1169–1179.
[3] K. Wang, G. Li, S. Wang, S. Liu, W. Sun, C. Huang, et al., Dark-field sensors based on organometallic halide perovskite microlasers, Adv. Mater. 30 (2018), 1801481.
[4] B. Raveau, A. Maignan, C. Martin, M. Hervieu, Colossal magnetoresistance manganite perovskites: relations between crystal chemistry and properties, Chem. Mater. 10 (1998) 2641–2652.
[5] K.-I. Kobayashi, T. Kimura, H. Sawada, K. Terakura, Y. Tokura, Room-temperature magnetoresistance in an oxide material with an ordered double-perovskite structure, Nature 395 (1998) 677.
[6] G. Xing, N. Mathews, S. Sun, S.S. Lim, Y.M. Lam, M. Gr¨ atzel, et al., Long-range balanced electronand hole-transport lengths in organic-inorganic $CH_3NH_3PbI_3$, Science 342 (2013) 344–347.
[7] S.D. Stranks, H.J. Snaith, Metal-halide perovskites for photovoltaic and lightemitting devices, Nat. Nanotechnol. 10 (2015) 391.
[8] S. Liu, Z. Xiu, J.a. Liu, F. Xu, W. Yu, J. Yu, et al., Combustion synthesis and characterization of perovskite $SrTiO_3$ nanopowders, J. Alloys Compd. 457 (2008) L12–L14.
[9] E. Mete, R. Shaltaf, S¸. Ellialtıoglu, ˘ Electronic and structural properties of a 4 d perovskite: cubic phase of $SrZrO_3$, Phys. Rev. B 68 (2003), 035119.
[10] C. Rao, A. Sundaresan, R. Saha, J. Phys. Chem. Lett. 3 (2012) 2237.
[11] C.A. Vaz, J. Hoffman, C.H. Ahn, R. Ramesh, Adv. Mater. 22 (2010) 2900.
[12] N.A. Spaldin, M. Fiebig, Science 309 (2005) 391.
[13] M. Bibes, A. Barth´el´emy, Nat. Mater. 7 (2008) 425.

[14] S. Cheong, M. Mostovoy, Nat. Mater. 6 (2007) 13.
[15] M. Li, P.W. Stephens, M. Retuerto, T. Sarkar, C.P. Grams, J. Hemberger, M.C. Croft, D. Walker, M. Greenblatt, J. Am. Chem. Soc. 136 (2014) 8508.
[16] M. Li, D. Walker, M. Retuerto, T. Sarkar, J. Hadermann, P.W. Stephens, M. Croft, A. Ignatov, C.P. Grams, J. Hemberger, Angew. Chem. Int. Ed. 52 (2013) 8406.
[17] G. Gou, N. Charles, J. Shi, J.M. Rondinelli, Inorg. Chem. 56 (2017), 11854.
[18] K.M. Ok, E.O. Chi, P.S. Halasyamani, Chem. Soc. Rev. 35 (2006) 710.
[19] N. Panda, B.N. Parida, R. Padhee, R. Choudhary, J. Electron. Mater. 44 (2015) 4275.
[20] A.M. Fry, P.M. Woodward, Cryst. Growth Des. 13 (2013) 5404.
[21] C. De, T.H. Kim, K.H. Kim, A. Sundaresan, Phys. Chem. Chem. Phys. 16 (2014) 5407.
[22] H. B´ea, M. Gajek, M. Bibes, A. Barth´el´emy, J. Phys. Condens. Matter 20 (2008), 434221.
[23] R. Ramesh, Nature 461 (2009) 1218.
[24] M. Fiebig, T. Lottermoser, D. Meier, M. Trassin, Nat. Rev. Mater. 1 (2016), 16046.
[25] S. Kim, J. Yeon, P.S. Halasyamani, Chem. Mater. 21 (2009) 5335.
[26] R. Salmon, H. Baudry, Jean Grannec, Gilles Le Flem. 11 (1974) 71-79.
[27] R. Salmon, A. Casalot, G. LE Flem et, P. Hagenmuller, Mater. Res. Bull. 5 (1970) 341.
[28] L. Jahnberg, Acta Chem. Scand. 71 (1963) 2458.
[29] G. Blasse, J. Inorg. Nucl. Chem., Scand. 28 (1966) 1122.
[30] L. Jahnberg, Crystal structure of orthorhombic $CaTa_2O_6$, Acta Chem. Scand. (1963), 016304.
[31] G.J. Thorogood, M. Avdeev, B.J. Kennedy, Structural studies of the aeschynite-euxenite transformation in the series $Ln(TiTa)O_6$ Ln = Lanthanide, Solid State Sci. 12 (2010) 1263–1269.
[32] S.W. Kim, X. Tan, C.E. Frank, Z. Deng, H. Wang, L. Collins, S.H. Lapidus, C. Jin, V. Gopalan, S.V. Kalinin, D. Walker, M. Greenblatt, High-pressure, hightemperature synthesis and characterization of polar and magnetic $LuCrWO_6$, Inorg. Chem. 59 (2020) 3579–3584.
[33] S. Ghara, E. Suard, F. Fauth, T.T. Tran, P.S. Halasyamani, A. Iyo, J. Rodríguez-Carvajal, A. Sundaresan, Phys. Rev. B 95 (2017), 224416.
[34] S.W. Kim, T.J. Emge, Z. Deng, R. Uppuluri, L. Collins, S.H. Lapidus, C.U. Segre, M. Croft, C. Jin, V. Gopalan, Chem. Mater. (2018) 1045.
[35] S. Ghara, F. Fauth, E. Suard, J. Rodriquez-Carvajal, A. Sundaresan, Inorg. Chem. 57 (2018), 12827. [36] Yun Tian, Jianlong Ouyang, Haibo Xiao, Yikun Zhang, Structural and magnetocaloric properties in the aeschynite type $GdCrWO_6$ and $ErCrWO_6$ oxides, Ceram. Int. 20 (2021) 29197–29204.
[37] P. Blaha, K. Schwarz, G.K.H. Madsen, D. Kvasnicka, J. Luitz, WIEN2k, an Augmented Plane Wave Plus Local Orbitals Program for Calculating Crystal Properties, Vienna University of Technology, Austria, 2012.
[38] E. Sjostedt, ¨ L. Nordstrom, ¨ D.J. Singh, An alternative way of linearizing the augmented plane-wave method, Solid State Commun. 114 (2021), 29197.
[39] J.P. Perdew, K. Burke, Y. Wang, Generalized gradient approximation for the exchange-correlation hole of a many-electron system, Phys. Rev. B 54 (1996), 1653316539.
[40] D. Koller, F. Tran, P. Blaha, Improving the modified Becke-Johnson exchange potential, Phys. Rev. B 85 (15) (2012), 155109.
[41] P.E. Blochl, ¨ O. Jepsen, O.K. Andersen, Improved tetrahedron method for Brillouinzone integrations, Phys. Rev. B 49 (23) (1994), 16223.
[42] W. Kohn, L.J. Sham, Phys. Rev. 140 (1965) A1133.
[43] O.K. Andersen, Phys. Rev. B Condens. Matter 12 (1975) 3060.

[44] P. Blaha. K. Schwarz, G. K. H. Madsen, D. Kvasnicka and J, 147, 71, (2006).
[45] P. Hohenberg, W. Kohn, Phys. Rev. 136 (1964) B 864.
[46] J.P. Perdew, K. Burke et, M. Ernzerhof, Phys. Lett. 77 (1980) 3865.
[47] J.P. Perdew, Y. Wang, Phys. Rev. B33 (1986) 8822. B34.
[48] M.A. Green, Y. Jiang, A.M. Soufiani, A. HoBaillie, Optical properties of photovoltaic organic-inorganic lead halide perovskites, J. Phys. Chem. Lett. 6 (23) (2015) 4774–4785.
[49] F. Wooten, Optical Properties of Solids, Academic Press, New York, 1972.
[50] N.V. Smith, Phys. Rev. B 3 (1971) 1862.
[51] C. Ambrosch-Draxl, J.O. Sofo, Comput. Phys. Commun. 175 (2006) 1.
[52] F. Wooten, Optical Properties of Solids, Academic Press, New York, 1972.
[53] P. Ravindran, A. Delin, B. Johansson, O. Eriksson, Phys. Rev. B 59 (1999) 1776.
[54] Ali Hussain Reshak, S. Auluck, Phys. Rev. B 68 (2003), 245113.
[55] A.H. Reshak, Saleem Ayaz Khan, Comput. Mater. Sci. 78 (2013) 91e97.

GEOPOLITICS OF THE GLOBAL ENERGY TRANSITION: RENEWABLE ENERGY, CRITICAL DEPENDENCIES, AND THE EMERGING WORLD ORDER

Dr. Navneet

Abstract

The global shift from fossil fuels to renewable energy is changing the role of energy in international politics. Renewable energy is often seen as a means of improving energy security and reducing reliance on fossil fuel resources concentrated in a small number of countries. However, this shift is also giving rise to different forms of competition and dependence among states. This study examines the ways in which the growth of renewable energy is affecting geopolitical relations, particularly in relation to resource access, technological capabilities, supply chains, and cooperation between countries. The study uses a qualitative approach based on academic literature, policy documents, and secondary data to examine the geopolitical consequences of the global energy transition in both developed and developing economies. It argues that the move towards renewable energy is unlikely to bring an end to geopolitical competition over energy. Instead, the focus of such competition is moving towards access to critical minerals, ownership and production of clean-energy technologies, security of supply chains, and influence over international rules and standards.

The paper also examines the role of international cooperation in managing these new forms of dependence. Examples of renewable energy cooperation between India and European countries show how energy diplomacy, knowledge exchange, and technological cooperation can support national energy security while contributing to climate goals. The future global energy system is therefore likely to depend not only on the availability of natural resources but also on technological capacity, industrial development, foreign relations, and cooperation across borders. Examining these changes provides a clearer understanding of how the transition to renewable energy may influence national power and international relations in the coming decades.

Keywords: Energy Transition; Renewable Energy; Geopolitics; Energy Security; Critical Minerals; Energy Diplomacy; International Cooperation.

DFT STUDY OF STRAIN-INDUCED OPTICAL SHIFT IN GRAPHONE, A 2D WIDE-BANDGAP SEMICONDUCTOR: PERSPECTIVES FOR PHOTOVOLTAIC AND OPTOELECTRONIC APPLICATIONS

Brahim Moustahssine
Rachid Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences Dhar El Mahraz, Sidi Mohammed Ben Abdellah University, Fez, Morocco

Abstract
This study employs density functional theory (DFT) to investigate the influence of mechanical strain on the electronic and optical properties of graphone. The pristine structure exhibits an indirect band gap with an optical absorption edge in the visible region. Tensile strain progressively reduces the band gap, induces a redshift of the optical spectra, and ultimately drives a semiconductor-to-semimetal transition. In contrast, compressive strain enlarges the band gap and shifts the optical response toward higher photon energies. Significant modifications are also observed in the dielectric function, absorption coefficient, reflectivity, and optical conductivity, demonstrating the strong sensitivity of graphone's optical response to mechanical deformation. These findings reveal that strain engineering provides an effective strategy for tailoring the optoelectronic properties of graphone, making it a promising candidate for future photovoltaic and optoelectronic applications.
Keywords: Density functional theory (DFT); Graphone; Strain engineering; Optical properties; Two-dimensional semiconductor; Photovoltaics; Optoelectronics.

➓ **Zheng, F., Zhang, P., & Duan, W. (2017).**
Zheng, F., Zhang, P., & Duan, W. (2017). *Strain engineering of the electronic and optical properties of two-dimensional materials*. **Computational Materials Science, 129**, 311–322.
➓ **Sofo, J. O., Chaudhari, A. S., & Barber, G. D. (2007).**
Sofo, J. O., Chaudhari, A. S., & Barber, G. D. (2007). Graphane: A two-dimensional hydrocarbon. **Physical Review B, 75**(15), 153401. https://doi.org/10.1103/PhysRevB.75.153401
➓ **Onishi, S., & Fu, H. (2024).**
Onishi, S., & Fu, H. (2024). *First-principles investigation of strain-tunable electronic and optical properties in two-dimensional semiconductors*. **Journal of Applied Physics, 135**(4), 045701.

INFLUENCE MARKETING AND CONSUMER BUYING BEHAVIOUR OF AUTOMOBILE FIRMS IN MINNA METROPOLIS, NIGER STATE

Adeshina Nike Tosin
Abdulwaheed Dauda (Ph.D)
Ochepa A. A. (Ph.D)
Rafatu Ozohu ONIMISI
Department of Entrepreneurship and Business Studies, Federal University of Technology, Minna, Niger State.

ABSTRACT
This paper examines the relationship between influencer marketing and customer satisfaction in the automobile industry within the Minna metropolis, Niger State, Nigeria. As digital media grows across African emerging markets, car dealers are shifting from traditional advertising to social media influencers to drive sales. However, there is limited research on how these digital strategies affect long-term consumer satisfaction in local Nigerian markets. This study explores how social media influencers shape consumer perceptions, guide buying decisions, and impact the overall satisfaction of car buyers.. The research builds on recent literature from other developing economies, including Indonesia, China, India, Turkey, and broader African nations, to contextualize the findings. The results show that influencer credibility, authenticity, and engagement rates deeply affect brand image and customer satisfaction. Consumers in Minna are more likely to trust influencers who display deep technical knowledge about vehicles rather than those who simply have large followings. Furthermore, honest vehicle reviews by influencers significantly reduce post-purchase dissonance, leading to higher satisfaction levels among buyers. This study adds to the growing body of knowledge on digital marketing in African emerging markets. It bridges the gap between online promotion and real-world consumer happiness. Practically, the paper offers actionable advice for car dealers and marketing professionals in Niger State. The study recommends that automobile businesses collaborate with micro-influencers who possess high trust and niche expertise rather than general celebrities. Ultimately, creating honest, localized content is essential for building brand loyalty and ensuring long-term customer satisfaction in the competitive automobile sector.
Keywords: Influencer Marketing, Customer Satisfaction, Automobile Products, Social Media, Minna Metropolis, Niger State, Nigeria, Digital Marketing, Consumer Behaviour.

FRUIT WASTE EXTRACT AS A GREEN CORROSION INHIBITOR FOR STAINLESS STEEL METAL CORROSION IN 1M HCL

Rabaa ABORWAIS
Maha EL HAWARY
Youssef BOURD
Israe AHMYIANE
Amale BOUTAKIOUT
Abdelkbir BELLAOUCHOU
Laboratory of Materials, Nanotechnology, and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Av. Ibn Battouta , BP 1014 , Agdal Rabat, Morocco

ABSTRACT
Corrosion is defined as the degradation of materials caused by their interaction with the environment. This process leads to severe material and economic losses, especially in the food and pharmaceutical industries. Currently, using corrosion inhibitors is the most effective method to protect metals. However, because most traditional inhibitors are expensive and toxic, researchers are now focusing on developing green inhibitors that are high performing,low-cost, and environmentally safe.
This study aims to investigate the performance of plant extracts as cost-effective and non-toxic corrosion inhibitors for stainless steel metal which is widely used industrial in 1MHCL. The inhibition efficiency was evaluated using two primary methods: mass loss analysis and electrochemical measurements.
Keywords: Plant extract, Hydrochloric acid , Corrosion inhibitors, Stainless Steel

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BETTER SURVEY CONTROLS USING PPP AND RTK TECHNIQUE

Guma, Edward Pishikeni
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Olonilenbi Patience
Department of Building Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Haruna, Akoji Agustine
Department of Building Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Simpa, Aliyu Abdulaziz
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Usman, Abdulazeez A.
Department of Architectural Technology, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

ABSTRACT

Accurate reference points are the backbone of good surveying, mapping, and any work that relies on location data. Without a strong network of control points, it is hard to measure distances, draw reliable maps, or build infrastructure that lines up correctly. In many developing areas, including Lokoja in Kogi State, Nigeria, there are not enough well-spaced and dependable control points. This gap makes precise surveying difficult and slows down development projects. This study looked at how well two Global Navigation Satellite System methods work for setting up a new control network along a 5.6 km road stretch from Crusher Junction to Zone 8 Junction in Lokoja. The two methods tested were Precise Point Positioning, or PPP, and Real-Time Kinematic, or RTK. For PPP, the team collected static GNSS data and then sent it for processing through the Canadian Spatial Reference System PPP service, known as CSRS-PPP. This method does not need a nearby reference station during data collection, but it takes more time in the field and requires office processing afterward. For RTK, the team used a base station and a rover working together in real time. RTK gives results almost immediately while you are still on site. After collecting the data with both methods, the coordinates were compared to check how accurate, consistent, and practical each technique was for building a control network. The results showed that PPP can reach very high accuracy that meets geodetic standards. It is especially useful in places like Lokoja where there are few existing reference stations. The trade-off is that it needs longer observation periods and post-processing work. RTK, on the other hand, is much faster and still delivers centimeter-level accuracy. However, its performance depends on having a stable base station or a reliable correction service available nearby. Terrain, buildings, and signal blockages along the road corridor also affected how well RTK worked in some spots. Overall, the study found that using both PPP and RTK together gives the best outcome. PPP can provide the strong, accurate backbone where infrastructure is lacking, while RTK can speed up the work and fill in details quickly. This combined approach can make control network establishment more reliable and efficient. The findings are useful for surveyors, engineers, and other geospatial professionals working in areas with limited control infrastructure. They offer practical guidance for improving the accuracy and long-term sustainability of surveying work in similar environments.

Keywords: Geodetic Control, GNSS, Precise Point Positioning, Real-Time Kinematic, Surveying

INVESTIGATING PLATFORMS FOR INSTIGATING AND SUSTAINING TRANSDISCIPLINAR AND DIGITAL EDUCATION IN 3D

Prof. Dr. Jorge Ferreira FRANCO
Grupo Internacional e Interinstitucional de Pesquisa em Arte, Ciência e Tecnologia – Instituto de Artes, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho – GIIP-IA-UNESP, São Paulo, Brasil.
Understanding Artificial Inteligence - Cátedra Alfredo Bosi de Educação Básica - Instituto dZ Estudos Avançados da Universidade de São Paulo – UAI-IEA-USP, São Paulo, Brasil.
Escola de Ensino Fundamental Ernani Silva Bruno – Secretaria Municipal de Educação – Prefeitura Municipal de São Paulo - ESB-SME-PMSP, São Paulo, Brasil.
ORCID ID: 0000-0001-9449-9831

ABSTRACT
In times of digital transformation (DX) processes intensification (Stanford Business, 2026), there have been the challenges of educators and students at K-12 education levels and beyond acquiring technical and scientific transdisciplinary knowledge for dealing and (co)creating with emerging technologies, such as 3D computer graphics (3DCG) programming and visualization and artificial intelligence (AI) techniques (SESC SP, 2022; Youngblut, 1998, CodeAI org, 2026; Franco, 2026). Then, a driven research question for implementing this investigation is: what kind of 3D software and digital platforms can support to instigating and sustaining ordinary citizens' conceptual and practical skills for dealing with emerging technologies, as 3DCG programming one and its connection with learning and applying transdisciplinary knowledge? At some extent, based on the strategy of qualitative literature research review, this study attempts to answer this research question, by investigating and presenting accessible, open source Web3D based digital software and platforms. Observing that they have potential to contribute for democratizing knowledge and practices referent to using 3DCG programming for producing and visualizing 3D digital content and promoting equitable education trajectories (Franco, 2026), bringing about an increase for establishing active methodologies and participatory education practices (SESC Sao Paulo, 2022), and sustainable computing in schools (Designing Informatics, 2025; Lechelt, Soares, Michel, 2025) and beyond. Results of such research have been connected with the idea of benefiting ordinary citizens' digital and media education enhancements, considering that there have been great diversity of schools and individuals under education, social and economic disadvantage. Including that, many schools would have not opportunities for creating infrastructure and instigating individuals engaging in 3DCG programming and scientific transdisciplinary knowledge education acquisition and application proceedings, such as the ones presented in this article, if they had to buy 'off-the-shelf software'. Hence, this study brings accessible examples of how to using software and or platforms for producing and visualizing 3D digital content, such as the Extensible 3D (X3D) language and format (Web3D Consortium, 2026), the X3dom platform (2026), Castle Game Engine (2026) and VRMath2.0 (2026), which can and have potential for stimulating individuals' education connected with digital humanities disciplines (Russell, 2026), ameliorating their conceptual and technical knowledge for dealing with emerging technologies.
Keywords: Three dimensional platforms, information production and visualization, 3D computer graphics programming, cognitive and technical skills, artificial intelligence

1. INTRODUCTION

In times of digital transformation (DX) processes intensification (Stanford Business, 2026), there have been the challenges of educators and students at K-12 education levels and beyond acquiring technical and scientific transdisciplinary knowledge for dealing and (co)creating with emerging technologies, such as the ones referent to 3D computer graphics (3DCG) programming and visualization and artificial intelligence (AI) techniques (SESC SP, 2022; Youngblut, 1998, CodeAI org, 2026; Franco, 2026).

Qualitative literature research has indicated that there has been amplification in the processes of investigating and experiencing about how to using virtual reality (VR) and related 360º degree technology for enhancing learning, teaching and communication trajectories in the diversity of K-12 Education (Meer et al, 2023) and Superior education (Dul et al., 2025) settings, including in ordinary citizens' daily life, such as in the 360º VR communication experience provided by (Wortley, 2026).

At K-12 Education levels, beyond previous studies and VR uses in education highlighted in (Youngblut, 1998), a recent systematic research has contributed for understanding pedagogy referent to *establish how VR as immersive technology can support and enhance collaboration between learners, by analyzing scientific research on Virtual Reality for Collaborative Learning with the intention to identify 1) skills and competences trained, 2) domains and disciplines addressed, 3) systems used and 4) empirical knowledge established.* (Meer et al, 2023).

Hence, an educational case that reinforces such previous research's aims has been a study which *combines Merrill's First Principles of Instruction (task orientation, activation, demonstration, application, and integration) with the application of VR in the astronomy module of primary school science courses to construct an article specifically exploring the teaching design and practical effects of VR in science education*. (Dul et al., 2025). Nevertheless, this study addressed education ecosystem infrastructure problems related to a lack of digital technology and internet accesses to 50 primary students in a classroom. As a solution *the students were divided into groups of four. The researcher rented 13 VR devices for teaching and research purposes and thus decided to purchase two portable Wi-Fi devices to meet the internet requirements*." (Dul et al., 2025). Then, the interfaces, functions, and interaction features of' Gazing at the Stars' and 'GKK Metaverse, internet based platforms and software were used for implementing the learning and teaching activities (Dul et al., 2025), figure 1.



Figure 1. An overview of students collaborative learning in GKK Platform
Source: Du1 et al., (2025)

In addition, other study about utilizing VR in Superior Education settings has exemplified that *the integration of emerging technologies into language education has generated sustained scholarly inquiry into the cognitive and social mechanisms through which digital learning environments may support language acquisition and broader academic competencies* (Zhang, Wang, Zhou, 2026).
However, as in the case of the K-12 education level examples, many schools around the world do not have economic resources to providing opportunities for students experiencing learning activities with complex and proprietary emerging technologies (ET).
On the other hand, at some extent, high tech research groups, as (Web3D Consortium, 2026; A-FRAME, 2026) have developed Web3D-based information production and visualization technologies, as Extensible 3D (X3D) (Web3D Consortium, 2026) and X3Dom (2026) which have allowed ordinary individuals experiencing learning and teaching activities not only as consumers but as producers of 3D digital content by directly manipulating and or programming hypertextual blocks of 3D Computer Graphics algorithms and visualizing in real time their 3D symbolic representation in 3D digital spaces (Franco and Lopes, 2012; VRmath2.0, 2026).
There have been other Web3D frameworks and languages that are available for creating 3D digital objects and spaces, but they need that individuals have enhanced technical knowledge skills for dealing with. For instance, the framework WebGL (Khronos Group, 2026) and Unity Engine (Parisi, 2016; Unity, 2026).

2. RESEARCH QUESTION

Then, a driven research question for implementing this investigation is: what kind of 3D software and digital platforms can support to instigating and sustaining ordinary citizens' conceptual and practical skills for dealing with emerging technologies (ET), as 3DCG programming one and its connection with learning and applying transdisciplinary knowledge?

3. RESEARCH STRATEGY

At some extent, based on the strategy of qualitative literature research review, this study attempts to answer this research question, by investigating and presenting accessible, open source Web3D-based digital software and platforms.

Observing that this type of software and platforms have potential for contributing with the development of education processes which can be designed to democratizing knowledge and practices referent to using 3DCG programming concepts and techniques for producing and visualizing 3D digital content and promoting equitable education trajectories lifelong (Franco et al., 2007; Franco, 2026), bringing about an increase for establishing active methodologies and participatory education practices (SESC Sao Paulo, 2022), as well as sustainable computing in schools (Designing Informatics, 2025; Lechelt, Soares, Michel, 2025) and beyond figure 2.



Figure 2. 9th grade level's students educommunicative computational practices (ECP) at Ernani Primary School computers lab with support of programming 3DCG algorithms
Source: Franco (2021)

ECP at Ernani School have brought about individuals producing 3D computational interfaces similar to the in figure 3.

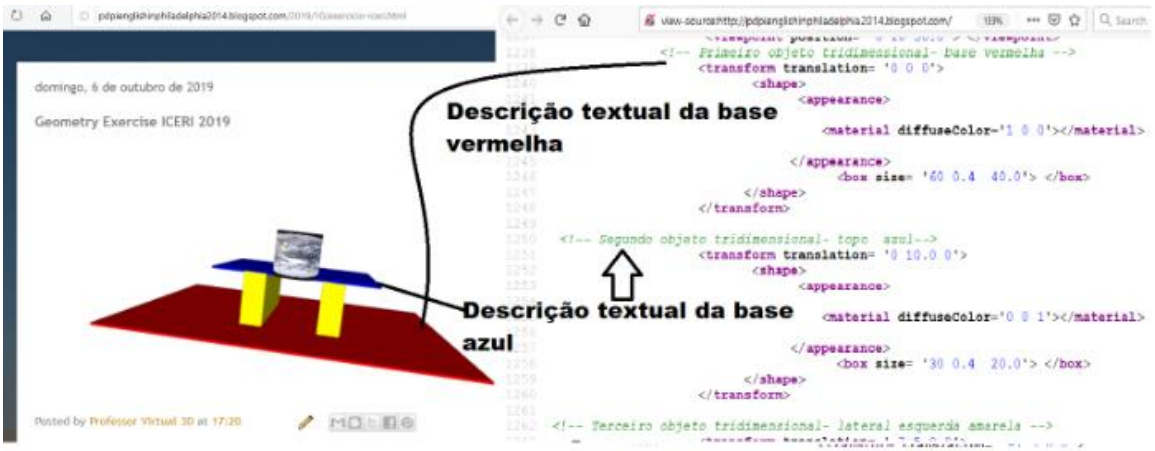


Figure 3. A 3D computational interface encompassing an interrelation between 3D computer graphics textual programming via X3D format and language by using the X3dom and its symbolic representation
Source: Franco (2021)

Learning and applying Web3D based information production and visualization technologies can and tend support Cronin and Scoble (2020) argumentation about using Spatial Computing and its technologies on citizens' education, considering that individuals *learn far better by actually seeing how something works, or, better yet, building it and teaching it to others. (...) Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) bring us a very powerful new education technology* that can bring about to subjects *the ability to see, build, and learn about something in a way that closely maps how we learn*. Hence, for Cronin and Scoble (2020), Spatial Computing (SC) comprises all software and hardware technologies that enable humans, virtual beings, or robots to move through real or virtual worlds, and includes Artificial Intelligence, Computer Vision, Augmented Reality (AR), VR, Sensor Technology, and automated Vehicles.
As in the figure 3, 3DCG programming and visualization as techniques related to SC technologies have allowed empowering individuals cognitive and technical abilities for dealing with advanced information production and visualization resources.
Subjects have learned and applied transdisciplinary scientific knowledge and techniques principles which have compounded the mentioned SC related technologies' behind the scene or layers by direct manipulating Web3D-based computer graphics algorithms for producing and visualizing 3D computational interfaces through accessible, low cost digital platforms and consumer devices, such as personal computers. Hence, individuals can and have had opportunities for experimenting with spatial computing techniques and being immersed in '*experiential digital learning*' (Cronin; Scoble, 2020) activities in K-12 education classrooms beyond just consuming ready to use third party digital content.

4. OBJECTIVES

Spatial computing technologies in connection with qualitative literature review and educommunication computing practices throughout using open source digital resources have supported this study goals referent to investigating and presenting platforms for instigating and sustaining transdisciplinar and digital education.

5. PARTIAL CONSIDERATIONS AND RESULTS

Results of this research have been connected with the idea of benefiting ordinary citizens' digital and media education enhancements, considering that there have been great diversity of schools and individuals under education, social and economic disadvantage. Including that, many schools would have not opportunities for creating infrastructure and instigating individuals engaging in 3DCG programming and scientific transdisciplinary knowledge education acquisition and application proceedings, such as the ones presented in this article, if they had to buy 'off-the-shelf software'.

Beyond this, around the world there have been places in which people have access to computing devices. On the other hand, due to a diversity of lacks in the technical digital infrastructure factors, there have been difficulties for citizens accessing on-line resources.

A plausible solution is using portable offline, low cost Web3D-based technologies which can support 3D Computer Graphics programming and digital media education integrated with applying curricular scientific knowledge, such as mathematics, arts, computing and natural languages and communication. For instance, individuals can download files from the site Web3D for web authors (2026) in a pen-drive device. Then, through installing and using the stand alone plugin (Castle Model Viewer, 2026) interlinked with an ordinary notepad text editor, subjects can program, save the file name as (quilombo.x3d) and visualize the 3D digital content created, figure 4.

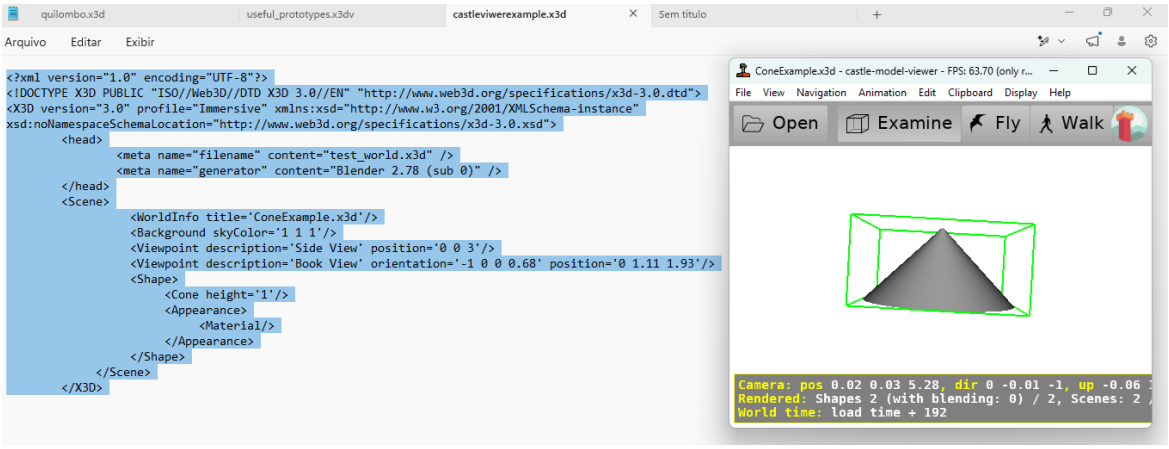


Figure 4. Interaction between a 3DCG algorithm of a source code on the left and its symbolic representation of a cone on the right
Source: Franco (2026)

Hence, once individuals learn to understand the dynamic of writing and reading X3D files, ones can use generative tools prompts for training how to use Artificial Intelligence for generating code that can contribute for populate the digital space. In addition, this study has brought about accessible examples of how to using software and or platforms for producing and visualizing 3D digital content, such as the Extensible 3D (X3D) language and format (Web3D Consortium, 2026), the X3dom platform (2026), Castle Game Engine (2026) and VRMath2.0 (2026), which can and have potential for stimulating individuals' education and empowerment connected with enhancing digital humanities disciplines (Russell, 2026). This way ameliorating and instigating citizens' cognitive, conceptual and technical knowledge for dealing with emerging technologies, digital media and platforms.

REFERENCES

A-FRAME (2026). https://aframe.io/

Castle Game Engine (2026). https://castle-engine.io/

CodeAI org (2026). https://code.org/pt-BR

Cronin, I. and Scoble, R. (2020). *The infinite retina*. Packt Publishing, Birmingham – Mumbai.

Designing Informatics (2025). Sustainable Computing in Schools. https://designinformatics.org/portfolio-item/4824/

Du1, T., DeWitt, D., Chin, H. (2025). APPLYING MERRILL'S FIRST PRINCIPLES OF INSTRUCTION IN VIRTUAL REALITY-BASED ASTRONOMY EDUCATION: A CASE STUDY OF "THE SOLAR SYSTEM'S MYSTERIES". *JURNAL KURIKULUM & PENGAJARAN ASIA PASIFIK*, Julai 2025, Bil. 13, Isu 3 Available from: https://www.researchgate.net/publication/395779171_APPLYING_MERRILL'S_FIRST_PRINCIPLES_OF_INSTRUCTION_IN_VIRTUAL_REALITY-BASED_ASTRONOMY_EDUCATION_A_CASE_STUDY_OF_THE_SOLAR_SYSTEM'S_MYSTERIES

Franco et al. (2007). Developing interactive educational environments to stimulating lifelong learning. *IADIS International Conference on Cognition and Exploratory Learning in Digital Age (CELDA 2007)*. https://www.researchgate.net/publication/260386601_DEVELOPING_INTERACTIVE_EDUCATIONAL_ENVIRONMENTS_TO_STIMULATE_LIFELONG_LEARNING

Franco, J. F (2026). Using web3d-based resources for stimulating transdisciplinar, media and equitable education trajectories: a use case. *INTERNATIONAL ORDU SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS*. April 13 - 14, 2026 - Ordu University, Türkiye. https://b0699d12-70ad-4313-81f1-0833a431c01a.filesusr.com/ugd/614b1f_0a548b08f8584ce99c933079037018a5.pdf

Franco, J. F. (2020). Programming 3D virtual reality environments at k12 levels through using Web3D based languages. CCSWG: *Critical Code Studies Working Group 2020*. http://wg20.criticalcodestudies.com/index.php?p=/

Franco, J. F.; Lopes, R. D. (2012). Developing an Interactive Knowledge-Based Learning Framework with Support of Computer Graphics and Web-based Technologies for Enhancing Individuals Cognition, Scientific, Learning Performance and Digital Literacy Competences. In: Nobuhiko Mukai. (Org.). Computer Graphics. 1ed. Rijeka: Intech, 227--256. https://cdn.intechopen.com/pdfs/34478/InTech-Developing_an_interactive_knowledge_based_learning_framework.pdf

Khronos Group (2026). WebGL & WebGPU Updates. https://www.khronos.org/assets/uploads/developers/presentations/3D_on_the_Web_2026_-_GDC_2026_WebGL%2BWebGPU_Update.pdf

Lechelt, S, Soares, L & Michel, M (2025). Sustainable computing in schools: A guide to incorporating sustainability concepts in the technologies curriculum. *University of Edinburgh*. https://www.pure.ed.ac.uk/ws/portalfiles/portal/621514986/Sustainable-Computing-in-Schools-digital-copy.pdf

Meer, N. van der (2023). Virtual reality and collaborative learning: a systematic literature review. *Frontiers in Virtual Reality*. https://www.researchgate.net/publication/409477946_Virtual_reality_and_collaborative_learning_a_systematic_literature_review/references

Parisi, T. (2016). *Learning Virtual Reality*. United States of America: O'REILLY.

Russell, B. (2026). Digital Humanities: Home. https://guides.nyu.edu/digitalhumanities

SESC São Paulo (2022). Tecnologia Como Ferramenta de Aprendizagem. *2° Fórum Internacional de Educadores 02/08/2021 até 07/08/2021*. https://www.youtube.com/watch?v=R0Q5fto2tcw&t=48s

SESC SP (2022). Metodologias Ativas: A Escola e Seus Interatores no Processo de Ensino e Aprendizagem. https://www.youtube.com/watch?v=pGVv7Mq6YY4&t=4311s

Stanford Business (2026). Digital Transformation and AI Playbook: Leverage Technology to Innovate Your Business. https://em-execed.stanford.edu/digital-transformation-ai-playbook?utm_source=Google&utm_network=g&utm_medium=c&utm_term=digital%20transformation%20initiatives&utm_location=9213360&utm_campaign_id=21882800841&utm_adset_id=173748909041&utm_ad_id=720435478443&gad_source=1&gad_campaignid=21882800841&gbraid=0AAAADDa9X0tJIROERC_TiLSUnWJ3Qk6F&gclid=Cj0KCQjw6_HSBhCpARIsANvVltbwR9bserUTb1lRFQfbr0xbm65mouA1ljMGqSwW-9JrfS54vt1jD0saAoUAEALw_wcB

Unity (2026). Unity Engine, https://unity.com/pt

VRMath2.0 (2026). https://vrmath2.net/

Web3D Consortium (2026). https://www.web3d.org/

Web3D for Web Authors (2026). Web 3D for web authors. https://www.web3d.org/x3d/content/examples/X3dForWebAuthors/Chapter02GeometryPrimitives/ConeExampleIndex.html

Wortley, D. (2026). Stanley Holloway Goes Global | Monologues & Memories LIVE 360 from East Preston | Storytelling & AI. *YouTube*. https://www.youtube.com/live/SS0HqZ_rOm8

X3dom platform (2026). https://www.x3dom.org/

Zhang, Y., Wang, F. and Zhou, H. (2026). Virtual reality-enhanced collaborative learning and self-reported metacognitive awareness in a Chinese EFL context: the mediating role of social interaction and the moderating role of learner engagement. Frontiers in Psychology. https://www.researchgate.net/publication/410003786_Virtual_reality-enhanced_collaborative_learning_and_self-reported_metacognitive_awareness_in_a_Chinese_EFL_context_the_mediating_role_of_social_interaction_and_the_moderating_role_of_learner_engagemen

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECTS OF EARLY MARRIAGE AND DIVORCE: IMPLICATIONS FOR COUNSELLING

Musa Mohammed
Department of Educational Psychology
Dr. Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna
ORCID: 0009-0003-0127-6308
Jimada Abdulrahman
Department of Educational Psychology
Dr. Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna
Ahmed Abdullahi Barkuta
Department of Educational Psychology
Dr. Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna

ABSTRACT
This study is an investigation into the effects of early marriage and divorce: Implications for counselling through a study of Bida Local Government area of Niger State. The study explore varieties of literature (both emphirical and theoretical) to establish the effects of early marriage and divorce on the individuals and the society at large. The study used descriptive survey through a sample of 200 respondents (which constitute of 80 senior secondary school students and 120 civil servants/General public) to establish that other than early marriage, other causes of divorce are childlessness among couples, age bracket of couples, neglect of responsibilities by the couples, infidelity, inlaws-interfference and socio-economic challenges. It further established that juvenile delinquency, unfaithfulness, and depression were the major impacts of early marriage and divorce on society. The study advanced recommendations for the challenges discovered in the study.
Keywords: Early Marriage, Divorce, Implications for Counselling.

THE IMPORTANCE OF NOURISHMENT OF PASTURES FOR OBTAINING HIGH-QUALITY OF GRASS FOR ANIMAL NUTRITION

Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ
Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0000-0003-4751-6760
Prof Dr Jovan BOJKOVSKI
Faculty of Veterinary Medicine University in Belgrade, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0000-0001-7097-2559
Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA
University "St. Kliment Ohridski" - Bitola; Faculty of Biotechnical Sciences – Bitola; N. Macedonia
ORCID ID: 0000-0002-5056-8003
MSc Ivanka HADŽIĆ
Association of Trimmers, Care and Therapy of Cattle Foot of Serbia, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0009-0005-3032-0173

ÖZET
Pastures are nutrient-intensive crops. The grass is mowed several times during the year and thus the plants lose accumulated nutrients that need to be compensated. Fertilization is a mandatory measure that we should implement in the growing season so that the grass crop is healthy, covers the surface well and has good growth and development. Without regular feeding with nitrogen, phosphorus, potassium, magnesium, iron and other minerals, wilting would occur very quickly. Care of pastures is necessary throughout the year, and the most important thing is the timely application of nutrients and their quantity. In the case of highly intensive lawns that are mowed several times, it is necessary to fertilize after each mowing. The first feeding is done in early spring when the grass starts to grow. The temperature of the earth is then up to 12ºC. After winter, grasses need nutrients, especially the lack of nitrogen, which encourages new growth. Adding fertilizer is best done after rain, when the grass is dry and the soil will still be moist enough to absorb the added nutrients. Pasture feeding during the summer can be done on several occasions, depending on the condition of the plot. If already at the beginning of the summer we meet with pale plants, it is necessary to carry out nitrogen fertilization, which will encourage their growth and intensify the coloring. When the summers are rainy, it is necessary to add those rich in potassium, because it washes away. Autumn fertilization will ensure good preparation of the grass for winter. The content of dry matter will be higher, and the plants will be more resistant to freezing. It is necessary to reduce the amount of nitrogen, and use fertilizers richer in phosphorus and potassium. Before winter, manure is added in the amount of up to 4 kg/m².
Anahtar kelimeler: nourishment of pastures, grass, animal nutrition

DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY OF ACTIVATION ENERGY AND DIFFUSION COEFFICIENT OF SODIUM-SUBSTITUTED LITHIUM SITES IN THE IRON-BASED OLIVINE CATHODE MATERIAL

I.Khouakhi
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco
R. Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco
L. Xu
2Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Wenzhou Advanced Manufacturing Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, 430074, P.R. China.
3Wenzhou Advanced Manufacturing Institute, Huazhong University of Science and Technology, Wenzhou, 325035, P.R. China
A. Rezzouk
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco

Abstract:
A density functional theory (DFT) study was conducted to optimize $Na_xLi_{1-x}LiFePo_4$ ($x = 0, 0.25, 0.5$ materials and investigate the effect of Na-substituted Li sites in $LiFePO_4$ cathode materials. The activation energy of lithium ions in the (100) direction and the band gap were reduced in the $Na_{0.5}Li_{0.5}LiFePo_4$ material, which improved the lithium-ion diffusion coefficient and electronic conductivity. Conversely, the sodium ion exhibited a strong interaction with the $FePO_4$ host material, which resulted in a low kinetics performance of this element.
Keywords: Activation energy; Diffusion coefficient; $LiFePO_4$ cathode.

FROM THEORY TO PRACTICE: A ROADMAP FOR QUANTUM FINANCE IN THE NEXT DECADE

Sadais Amjad
Department of Accounting & Finance, Faculty of Management Sciences and Commerce,
The Islamia University of Bahawalpur, 63100 Bahawalpur, Pakistan

Abstract
From a field that was largely confined to theory, quantum computing has become an emergent reality with hardware giants making remarkable progress towards increasing qubit count, coherence, and error correction. With the financial sector exploring ways to apply quantum principles to solving complex computational problems, it is necessary to know how to translate current theoretical possibilities into practice. In this paper, we will offer a complete roadmap of quantum finance over the coming ten years. The first step in this process involves looking at the current state of quantum hardware on different platforms such as IBM's superconducting qubit machines, Google's quantum computer, IonQ's trapped-ion platform, and D-Wave's quantum annealers. Each of these platforms offers specific strengths and weaknesses in terms of financial computation.In addition to the technical details regarding quantum computers themselves, the following paper studies which financial applications can potentially achieve quantum advantage in the short and long term, including applications such as risk analysis, fraud detection, portfolio optimization, and derivative pricing. An important aspect of such transition is workforce preparedness, and thus, the following paper highlights the skills needed to link quantum physics, computer science, and finance. Finally, the following paper discusses the research challenges that have yet to be solved to enable the widespread adoption of quantum technologies for financial applications, including but not limited to hardware scalability, mitigating errors, developing algorithms, addressing regulatory concerns, and connecting quantum systems with existing infrastructure. The following paper presents a roadmap of the journey from current experimental quantum systems to practical financial applications and serves as a reference point for researchers and practitioners in the next ten years.
Keywords: *Quantum Finance, Quantum Hardware, IBM Quantum, Google Quantum AI, IonQ, D-Wave, Quantum Annealing, Financial Technology, Quantum Workforce Development, Quantum Computing Roadmap*

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

LLM-POWERED FINANCIAL ADVISORY: OPPORTUNITIES, HALLUCINATION RISKS, AND GUARDRAILS

Sadais Amjad
Department of Accounting & Finance, Faculty of Management Sciences and Commerce, The Islamia University of Bahawalpur, 63100 Bahawalpur, Pakistan

Abstract
Large language models (LLMs) are gaining widespread traction in providing personalized financial advice, opening up exciting opportunities for delivering investment recommendations in an efficient and scalable manner. With the advancement of capabilities in LLMs, banks and other financial organizations are increasingly looking to implement these tools to provide their clients with automated investment advice based on portfolio recommendations, client interaction and the simplification of sophisticated financial information into digestible pieces of advice. On the other hand, the application of LLMs within finance presents some challenges due to the highly sensitive nature of this domain. Among the challenges associated with the use of LLMs in financial applications is the issue of hallucinations, which implies generating inaccurate and/or out-of-date content despite a high degree of confidence on part of LLM. In the realm of finance, such outputs can result in making wrong decisions regarding one's investments and losing user's confidence. This study explores the potential benefits and challenges of using LLMs for financial advice generation. It further discusses the possible strategies to minimize the risk of harm related to the outputs generated by such models through careful monitoring and domain-specific validation.
Keywords: Large Language Models , Financial Advisory , Hallucination , Risk , FinTech , Investor Trust

STRIKE REGULATION IN TRANSITION: LESSONS FROM INDIA'S INDUSTRIAL RELATIONS REFORMS

Dr Richa Srivastava[107]

Abstract

The regulation of strikes has historically occupied a central place in India's labour law regime, reflecting the continuous effort to balance workers' collective rights with the objectives of industrial peace, economic productivity, and social justice. The right to strike, although not expressly recognized as a fundamental right, has traditionally been regarded as an important instrument of collective bargaining available to workers and trade unions. Under the Industrial Disputes Act, 1947, strikes were regulated through a structured legal framework that imposed certain procedural requirements while still allowing workers to resort to collective action in pursuit of their economic and social interests. The Act distinguished between public utility services and other establishments, imposing stricter conditions, such as advance notice and conciliation procedures, in essential sectors while maintaining greater flexibility for workers in other industries. Over time, this framework shaped the industrial relations landscape in India by institutionalizing mechanisms of negotiation, conciliation, and adjudication while recognizing strikes as a legitimate form of labour protest. The enactment of the Industrial Relations Code, 2020, represents a major shift in India's labour law framework by consolidating provisions relating to trade unions, standing orders, and industrial disputes into a single statute. The Code introduces significant changes to strike regulation, including expanded advance notice requirements, the extension of restrictions previously limited to public utility services to a wider range of establishments, and a stronger focus on conciliation and dispute-resolution mechanisms. These changes have generated considerable debate over their impact on workers' ability to exercise the right to strike effectively. From a constitutional perspective, although the right to strike is not recognized as a fundamental right, it is often linked to the freedom of speech and expression under Article 19(1)(a) of the Constitution of India and the freedom to form associations under Article 19(1)(c) of the Constitution of India, as strikes can be viewed as a collective expression of workers' grievances within democratic industrial relations. This study adopts a **doctrinal and analytical research methodology** to examine the changing dimensions of strike regulation in India. The research relies primarily on the analysis of statutory provisions, judicial pronouncements, parliamentary debates, government reports, and relevant academic literature. A comparative analysis is undertaken to examine the provisions relating to strikes under the Industrial Disputes Act, 1947 and those introduced under the Industrial Relations Code, 2020. The study also situates the Indian framework within the broader context of international labour standards developed by the International Labour Organization, particularly regarding the principles of freedom of association, collective bargaining, and the protection of workers' rights to engage in industrial action. The findings indicate that while the Industrial Relations Code, 2020 aims to simplify labour regulation and promote industrial harmony, it also expands legal restrictions on strike actions. By extending mandatory notice requirements and procedural conditions to a broader range of establishments, the Code may limit workers' and trade unions' ability to organize effective collective action. A stronger emphasis on conciliation and dispute-resolution mechanisms may further delay the use of strikes as a bargaining tool. Although these measures may enhance stability in industrial relations, they may also weaken workers' bargaining power, especially where trade union presence is limited.

[107] Assistant Professor (Senior Grade) at Vivekananda Institute of Professional Studies-Technical Campus, Delhi

The study concludes that the evolving legal framework reflects a policy shift toward tighter regulation of industrial action, and its success will depend on maintaining a fair balance among workers', employers', and the state's interests, while adhering to constitutional values and International labour standards. The paper provides a comparative analysis of legislative intent, International Labour Standards (ILO Conventions 87 and 98), and preliminary enforcement dynamics. This study evaluates whether these reforms achieve their stated goal of enhancing ease of doing business or functionally marginalise the legal right to strike. The findings suggest that by expanding procedural barriers without providing corresponding fast-track dispute resolution mechanisms, the 2020 reforms risk shifting industrial conflict into informal or illegal channels. Ultimately, India's approach offers critical lessons for emerging economies seeking to modernise labour relations in an increasingly globalised market. The balancing of economic agility with procedural justice requires protecting effective collective bargaining rather than creating near-insurmountable hurdles to legal industrial action.

Keywords: Strike, bargaining power, industrial peace, social justice, trade unions, global market.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THYROID HORMONE LEVELS AND THEIR ASSOCIATION WITH PLASMA ZINC LEVELS AMONG ADOLESCENT AFGHAN REFUGEES; A CROSS-SECTIONAL STUDY

Dr Saima Shaheen
Demonstrator Department of Biochemistry, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar.
Dr Nabila Sher
Professor Khyber Girls Medical College,Hayatabad, Peshawar
Dr. Kalsoom Tariq
Associate Professor Department of Biochemistry, Khyber Girls Medical College, Hayatabad, Peshawar.

Abstract

Introduction: Thyroid hormones play an important role in the development and maintenance of nearly all tissues. In Pakistan, hypothyroidism and hyperthyroidism prevalence are 4.1% and 5.1%, respectively, and with increasing age, prevalence increases approximately to 10% in adults over 65 years of age. Malnutrition or nutritional deficiencies in the body can be the cause of thyroid disorders. Zinc (Zn) and copper (Cu), have important roles in regulating biological processes, maintaining normal thyroid function, and preventing thyroid diseases.

Objective: The objective of study was to find out levels of the thyroid hormones (TSH, T3 and T4) and its association with plasma zinc levels among adolescents Afghan refugees living in Peshawar, Pakistan.

Methodology:

Study design: Cross-sectional study

Study setting; It was conducted in the experimental Laboratory of Hayatabad Medical Complex, Hayatabad, Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa (Pakistan) and University of Nottingham, England.

Subjects: A total of 206 adults from Khazana Afghan Refugee Camp, Peshawar were recruited and demographic details were done using a standard questionnaire.

Methods: We measured the patient's weight and height to calculate body mass index (BMI). Each participant blood sample was taken, so that many indicators could be measured. The concentrations of plasma zinc were measured by Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) ,and TSH, T3, and T4 were done by using cobas e 601 which is a completely automated analyzer that performs immunoassay analysis using electrochemiluminescence (ECL) technology.

Results: Gender was equally divided into 103 females and 103 males with age group of 10-14 was (65.5%) and 15-19 was (34.5%). According to results (99.0%) participants had normal TSH levels, (79.1%) of participants had normal T3 levels, while (78.6%) of participants had normal T4 levels. T3 and T4 was low in (10.7 and 18.4 %) respectively. Serum Zinc levels in majority (65%) of participants had normal zinc levels while 35% of the participants were found to be deficient in zinc. There was significant association between gender and age group p value 0.02. A significant association was found between the gender and T3 levels. Females had more ratio of increased T3 levels. There was significant association between gender and T4 levels. However there was no significant association between thyroid hormones Zinc and other parameters.

Conclusion: This non-significant study did not find a direct relationship between thyroid hormones and zinc levels, there is still evidence to suggest that maintaining adequate zinc levels may be important for proper thyroid function. Further research is needed to fully understand the relationship between these two factors. Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism

Keywords; malnutrition, hyperthyroidism, hypothyroidism
Registration number: 2019/KMU/ KGMC/MPhil/BIO/1

A $DFT + U$ AND MONTE CARLO STUDY OF $Gd_2Zr_2O_7$ PYROCHLORE

S. Belhamra
R Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco

Abstract

Pyrochlore oxides have attracted increasing interest due to their remarkable structural, electronic, and magnetic properties, as well as their potential applications in magnetic refrigeration. In this work, we investigate the electronic, magnetic, and magnetocaloric properties of $Gd_2Zr_2O_7$ by combining $DFT + U$ calculations with Monte Carlo simulations.

First-principles calculations were performed using the FP-LAPW method within the $GGA - PBE$ approximation in order to determine the electronic structure, optimized structural parameters, and magnetic exchange interactions using the TB2J code. The results indicate that the antiferromagnetic configuration is the most stable phase of the system. The band structure analysis reveals an insulating behavior with a direct band gap of about $3.1\ eV$, mainly dominated by Gd-4f states hybridized with $O - 2p$ and $Zr - 4d$ orbitals.

The extracted exchange parameters were then implemented in a three-dimensional Ising model studied through Monte Carlo simulations based on the Metropolis algorithm. The results reveal a magnetic phase transition with a Néel temperature $TN \approx 3.2\ K$. The magnetocaloric analysis shows a maximum magnetic entropy change of about $3.93\ J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ under a magnetic field of $2\ T$, with a relative cooling power reaching $19.3\ J\ kg^{-1}$, highlighting the potential of $Gd_2Zr_2O_7$ for cryogenic cooling applications.

NOVEL DERIVATIVE OF 1,3,4-OXADIAZOLE-IMINE: SYNTHESIS, CHARACTERIZATION AND THEORETICAL SIMULATIONS

Assiya Atif
Bioorganic Chemistry Team. Laboratory of Bioorganic Chemistry. Faculty of Sciences. Chouaib Doukkali University. 24000 El Jadida. Morocco.
Bendaoud Ahmed
Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team. Faculty of Sciences. Chouaib Doukkali University. 24000 El Jadida. Morocco.
Salah Mohammed
Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team. Faculty of Sciences. Chouaib Doukkali University. 24000 El Jadida. Morocco.
Zeroual abdellah
Molecular Modeling and Spectroscopy Research Team. Faculty of Sciences. Chouaib Doukkali University. 24000 El Jadida. Morocco.
Houssine Ait Sir
Bioorganic Chemistry Team. Laboratory of Bioorganic Chemistry. Faculty of Sciences. Chouaib Doukkali University. 24000 El Jadida. Morocco.

Abstract
This study presents the synthesis and characterization of the compound (1E,1'E,1"E,1'"E)-N,N',N",N'"-([2,2'-bi(1,3,4-oxadiazole)]-5,5'-diylbis(benzene-5,1,3-triyl))tetrakis(1-nitromethanimine) **(TNBPO) (3)**, by ^{1}H NMR, ^{13}C NMR and FTIR-ATR infrared spectroscopy and mass spectrometry. Theoretical calculations and simulations were performed for **TNBPO** such as Quantum Chemical Calculations with the Global and Local Reactivity Indices from DFT Analysis, Parr Functions and Identification of Local Reactive Sites, Non-Covalent Interaction and Reactivity Visualization (RDG–VMD Analysis), ADMET and Toxicity Prediction and Molecular Docking, the results of this study support its potential as a promising candidate for multi-target antituberculosis, antibacterial and antifungal activity.
Keywords: 1,3,4-oxadiazole, Synthesis, Characterization, Quantum Chemical Calculations, Reactivity, Parr Functions, DFT, Molecular Docking, Toxicity Prediction

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL APPROACHES FOR THE DEVELOPMENT OF NOVEL ANTI-DIABETIC PHYTOTHERAPEUTICS

Sidra Altaf
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7717-1375
Department of Pharmacy, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract
Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder characterized by persistent hyperglycemia resulting from impaired insulin secretion, insulin resistance, or both. Despite the availability of numerous synthetic antidiabetic drugs, long-term therapy is frequently associated with adverse effects and inadequate glycemic control, highlighting the need for safer and more effective alternatives. Phytotherapeutics have emerged as promising candidates due to their diverse bioactive compounds capable of modulating multiple molecular targets involved in glucose homeostasis. This study presents an integrated computational and experimental framework for identifying and validating novel anti-diabetic phytoconstituents. Initially, phytochemicals from medicinal plants were screened using network pharmacology to identify key therapeutic targets associated with insulin signaling, glucose transport, inflammation, and oxidative stress. Molecular docking and molecular dynamics simulations were subsequently employed to evaluate binding affinity and stability of selected compounds with proteins including PPARγ, DPP-4, AMPK, and α-glucosidase. The most promising candidates were further assessed through in vitro enzyme inhibition assays, antioxidant analysis, and glucose uptake studies in cultured cells. Experimental findings demonstrated significant inhibition of carbohydrate-metabolizing enzymes, enhanced cellular glucose utilization, and reduced oxidative stress, supporting computational predictions. Pathway enrichment analysis indicated simultaneous regulation of PI3K/Akt, AMPK, and AGE-RAGE signaling pathways, suggesting a multi-target therapeutic mechanism. The combined computational and experimental strategy accelerated the identification of potent phytochemicals while minimizing the cost and time associated with conventional drug discovery. These findings demonstrate that integrating bioinformatics, molecular modeling, and laboratory validation provides a reliable platform for developing plant-derived anti-diabetic therapeutics. Future studies involving pharmacokinetic evaluation, toxicity assessment, and clinical validation are warranted to facilitate the translation of these phytotherapeutic candidates into effective interventions for diabetes management.
Keywords: Diabetes mellitus; Phytotherapeutics; Network pharmacology; Molecular docking; AMPK; Multi-target therapy.

MAGNETOCALORIC EFFECT, STRUCTURAL, MAGNETIC AND ELECTRONIC PROPERTIES OF HIGH-ENTROPY ALLOYS $ALCO_xCR_{1-x}FENI$: FIRST-PRINCIPLES CALCULATIONS AND MONTE CARLO SIMULATIONS

A. Abjaou
R. Masrour
Laboratory of Solid PhysicsFaculty of Sciences Dhar El Mahraz Sidi Mohamed Ben Abdellah University BP 1796, Fez, Morocco

The magnetocaloric effect, electronic structure and magnetic properties of High Entropy Alloys $AlCo_xCr_{1-x}FeNi\ (0 \leq x \leq 1)$ were calculated using the Monte Carlo simulation, the Korringa Kohn–Rostoker method combined with the coherent potential approximation (KKR-CPA), method of linear augmented plane wave (FPLAPW) within generalized gradient approximation (GGA) and modeled Becke–Johnson potential (TB-mBJ). Density of states of $AlCo_xCr_{1-x}FeNi\ (0 \leq x \leq 1)$are studied and analyzed. The total magnetic moments of magnetic atoms were calculated and compared with theoretical and experimental results. On the other side, the magnetocaloric effect in $AlCo_xCr_{1-x}FeNi\ (0 \leq x \leq 1)$was studied by first-principal calculations (FPCs) and Monte Carlo simulations. The magnetic phase transition temperature is estimated. The Curie temperature and exchange integrals were found to decrease with Co substitution. The magnetic entropy changes and relative cooling power are found.

Keywords : High entropy alloys; Monte Carlo simulation; electronic structure; KKR-CPA and FPLAPW; magnetic entropy change and RCP.

FLAVOR MITIGATION IN GOAT MILK YOGURT AND DAIRY BEVERAGE FORTIFIED WITH STRAWBERRY TREE (*ARBUTUS UNEDO L.)* PULP

Yassine Zıne-Eddıne
Multidisciplinary Laboratory in Exact and Applied Sciences, Higher School of Technology in Fkih Ben Salah, Sultan Moulay Slimane University, Morocco
Zakaria Haddan
Morad Oubouali
Dlimi charaf
Omar Ait El Alia
Boutoıal Khalid
Laboratory of the Engineering and Applied Technologies, Higher School of Technology,Sultan Moulay Slimane University, Mghila University Campus, Pb 591 Beni Mellal, Morocco

Abstract
This study aims to develop two functional dairy products based on goat milk: a fermented yogurt and a pasteurized dairy beverage, both enriched with strawberry tree (Arbutus unedo) pulp. The addition of Arbutus unedo aims to mask the caprine flavor, which is generally unappealing to consumers, while simultaneously enhancing the nutritional and sensory qualities of the products. A survey was conducted to assess Moroccan consumers' perceptions of goat milk, revealing that its low consumption is primarily due to its distinct flavor and a lack of awareness regarding its health benefits. Concurrently, the product formulation enabled the valorization of a local fruit rich in bioactive compounds, aligning with sustainable development and agri-food innovation.
Several yogurt formulations were prepared using increasing concentrations of Arbutus unedo pulp (0%, 2%, 4%, and 6%), whereas the dairy beverage was formulated with a standardized mixture of goat milk, Arbutus unedo pulp, and sugar. The products underwent sensory evaluation via an acceptability test by a trained panel. Sensory results indicated that the 4% Arbutus unedo formulation achieved the highest level of acceptability, owing to an optimal balance among texture, fruity flavor, and the masking of the caprine taste. Meanwhile, the dairy beverage was well-received by panelists for its freshness, fluidity, and natural aroma.
This study highlights the technological and sensory potential of Arbutus unedo as a functional ingredient in goat milk-based dairy products. It opens promising prospects for the valorization of local resources through innovative products tailored to the expectations of the Moroccan market.
Keywords: Goat milk – Arbutus unedo – Enriched yogurt – Dairy beverage – Sensory quality

EMPLOYABILITY SKILLS IN THE ERA OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE: DEVELOPING A COMPETENCY FRAMEWORK FOR HIGHER EDUCATION

University Lecturer, Natalia Bolgari
Academy of Economic Studies of Moldova,
ORCID ID: 0000-0002-8258-5035

ABSTRACT

Generative artificial intelligence is driving significant transformations in the organization of work, decision-making processes, and the competencies required for professional success. In this context, higher education institutions face the challenge of redefining the concept of employability and preparing graduates who are able to collaborate effectively, critically, and responsibly with artificial intelligence-based technologies. Traditional employability competency models, focused on communication, critical thinking, problem-solving, and general digital skills, require further development in order to meet the demands of a professional environment augmented by generative artificial intelligence.

The aim of this article is to develop an employability competency framework adapted to the era of generative artificial intelligence and designed for integration into curriculum development strategies in higher education. The study is based on an analysis of the scientific literature on graduate employability, artificial intelligence literacy, digital competencies, and future skills. The proposed framework integrates key dimensions such as AI literacy, human–artificial intelligence collaboration, critical thinking and evaluation of AI-generated information, AI-assisted professional communication, creativity and innovation, ethical use of intelligent technologies, and the capacity for adaptation and life-long learning.

The conceptual findings highlight that AI literacy represents only the starting point of professional preparation. A graduate prepared for AI-influenced workplaces must be able to use intelligent technologies strategically, critically evaluate AI-generated outputs, communicate effectively in technologically augmented environments, and make ethically responsible decisions.

By integrating the perspective of generative artificial intelligence into the employability literature, this article contributes to the development of a new conceptual model for preparing graduates in the context of the digital transformation of the labour market. The proposed framework can support universities in designing educational curricula, assessing students' competencies, and developing training strategies aligned with the requirements of future workplaces.

Keywords: generative artificial intelligence, employability competencies, higher education, AI literacy, digital competencies, human–artificial intelligence collaboration.

MULTIPURPOSE $CSPBI_2BR$ PEROVSKITE: FROM HIGH-EFFICIENCY SOLAR CELLS TO SPONTANEOUS PHOTOCATALYTIC WATER-SPLITTING

M. Kmichou
R. Masrour
Laboratory of Solid Physics, Faculty of Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, BP 1796, Fez, Morocco

Abstract
This study utilized density functional theory to investigate the optoelectronic, photovoltaic, and photocatalytic properties of $CsPbI_2Br$. The results indicate that the $CsPbI_2Br$ is a p-type semiconductor with a direct bandgap of 1.92 eV. Its higher absorption coefficient and superior optical conductivity enhance visible light harvesting, marking it as an elite candidate for optoelectronic integration. $CsPbI_2Br$ is advantageous in the solar industry due to its external quantum efficiency and short-circuit current of 19.67 $mA.cm^{-2}$. Additionally, it fulfills the thermodynamic requirements for water-splitting, showcasing robust photocatalytic potential and opening innovative pathways for future renewable energy research.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MATHEMATICAL MODELLING ON DRUG RESISTANCE IN THE TREATMENT OF MALARIA

Elom E. C.
Department of Mathematics, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria
Collins, O. C.
Department of Mathematics, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria
Ochu, A. T.
Department of Mathematics, University of Nigeria, Nsukka, Nigeria
Akoma, U. C.
Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria
Ayinde, A. M.
Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria
Orcid ID: https://orcid.org/0000-0002-2563-0952

Abstract
Malaria remains a life-threatening infectious disease caused by protozoan parasites of the genus Plasmodium, posing a significant public health challenge, particularly in sub-Saharan Africa. The emergence and spread of antimalarial drug resistance have further complicated control efforts, leading to increased morbidity and mortality. This study presents a mathematical model that describes the dynamics of malaria transmission incorporating drug resistance in treatment. The model partitions the human population into susceptible, infected (with both resistant and sensitive strains), and temporarily immune compartments, while the vector population is divided into susceptible and infected mosquitoes. A special case of the model, assuming co-existence of resistant and sensitive strains with equal recovery and death rates, was analyzed. The basic reproduction number (R_0) was derived using the next-generation matrix method, and both disease-free equilibrium (DFE) and endemic equilibrium (EE) were computed. Local stability analyses of the equilibria were performed using the Jacobian matrix approach. The analysis reveals that the DFE is locally asymptotically stable when $R_0 < 1$, implying that the disease can be eradicated under appropriate control measures. Conversely, when $R_0 > 1$, the endemic equilibrium is stable, indicating disease persistence. The findings highlight the critical role of proper treatment regimens, immunization strategies, and public health interventions in reducing the basic reproduction number below unity. The study emphasizes the need for sensitization campaigns against counterfeit drugs, improved healthcare access, and environmental management to curb malaria transmission and drug resistance. These results provide valuable insights for policymakers and healthcare practitioners in designing effective malaria control programs.
Keywords: Mathematical modelling, Malaria, Drug resistance, Basic reproduction number, Disease-free equilibrium, Endemic equilibrium, Stability analysis

INTRODUCTION

1.1. Introduction

Malaria is a life-threatening disease caused by Plasmodium parasites, transmitted by infected female Anopheles mosquitoes, and remains a major global public health challenge due to its high morbidity, mortality, and increasing drug resistance. The parasite's complex life cycle makes infection difficult for the immune system to eliminate. Mathematical models play a vital role in understanding malaria transmission dynamics and supporting effective control and treatment strategies.

The aim of this work is to study the dynamics of drug resistance in the treatment of malaria using a mathematical model. The specific objectives for the study are:

i. To formulate and analyze a mathematical model that captures the essential dynamics of drug resistance in the treatment of malaria.
ii. Determine the impact of antimalarial drug resistance from the model.
iii. Analyze the model to determine the possible dynamics of the disease.
iv. Discuss the epidemiological implication from the analysis of the model.
v. Make recommendations based on the results.

1.2. Literature Review

Mathematical modelling has become one of the most effective tools for understanding the transmission dynamics of malaria and evaluating the effectiveness of intervention strategies. Compartmental models have been widely used to investigate disease transmission, estimate epidemiological thresholds, assess the impact of treatment and vector control, and examine the emergence of antimalarial drug resistance. These models provide valuable insights into disease progression and support evidence-based public health decision-making.

1.2.1. Review of Previous Works

Ross (1911) introduced the first mathematical model for malaria transmission and demonstrated that reducing the mosquito population below a critical threshold could interrupt disease transmission. His pioneering work laid the foundation for deterministic modelling of vector-borne diseases.

Macdonald (1957) extended Ross' work by incorporating vectorial capacity, mosquito survival probability, and biting rates into the transmission process. His model established that malaria persistence depends on both vector and host dynamics and remains the cornerstone of modern malaria epidemiology.

Dietz et al. (1974) incorporated acquired immunity into malaria transmission models and demonstrated that naturally acquired immunity significantly influences disease prevalence in endemic regions. Aron and May (1988) further improved malaria models by introducing incubation periods, superinfection, and temporary immunity, resulting in a more realistic description of malaria dynamics.

Ngwa and Shu (2000) proposed a deterministic host-vector malaria model in which the human population follows an SEIRS framework while the mosquito population follows an SEI structure. Their study highlighted the importance of temporary immunity and vector dynamics in sustaining mala ria transmission.

Chitnis et al. (2006) developed a nonlinear malaria transmission model incorporating partial immunity and performed a comprehensive bifurcation analysis. Their findings showed that the basic reproduction number remains the principal threshold governing disease persistence and elimination.

Koella and Antia (2003) investigated the evolution and spread of antimalarial drug resistance using a mathematical epidemiological model. Their analysis demonstrated that treatment pressure, parasite fitness, and transmission intensity are key determinants of the emergence and persistence of resistant malaria strains.

Tumwiine et al. (2014) formulated a deterministic malaria model incorporating treatment and drug resistance. Their results indicated that increased treatment pressure without appropriate control strategies promotes the spread of resistant parasites, thereby reducing treatment effectiveness.

Collins and Duffy (2022) developed a mathematical model for malaria transmission and control in Nigeria by incorporating intervention strategies applicable to endemic settings. Their analysis

demonstrated that reducing the basic reproduction number below unity through integrated control measures is essential for malaria elimination.

Recent studies have further incorporated seasonal mosquito abundance, climatic variability, and optimal control strategies into malaria transmission models. Herdicho et al. (2021) investigated optimal control measures under seasonal mosquito dynamics, while WHO (2023) emphasized that the increasing emergence of resistance to artemisinin-based combination therapies continues to threaten global malaria control efforts. These findings highlight the need for mathematical models that explicitly incorporate drug resistance to support effective intervention policies.

1.2.2 Existing Model Equation

The deterministic malaria transmission model proposed by Ross (1911) and later extended by Macdonald (1957) partitions the human population into susceptible, infected, and recovered compartments, while the mosquito population is divided into susceptible and infected classes. The model is represented by the following system of nonlinear ordinary differential equations:

$$\frac{dS_h}{dt} = \Lambda_h - \beta_h S_h I_v - \mu_h S_h + \omega R_h$$

$$\frac{dI_h}{dt} = \beta_h S_h I_v - (\gamma + \mu_h + \delta) I_h$$

$$\frac{dR_h}{dt} = \gamma I_h - (\mu_h + \omega) R_h$$

$$\frac{dS_v}{dt} = \Lambda_v - \beta_v S_v I_h - \mu_v S_v$$

$$\frac{dI_v}{dt} = \beta_v S_v I_h - \mu_v I_v$$

where Sh, Ih, and Rh denote the susceptible, infected, and recovered human populations, respectively, while Sv and Iv represent susceptible and infected mosquito populations. The model assumes homogeneous mixing between humans and vectors and has served as the foundation for numerous malaria transmission models.

1.2.3. Modification of the Existing Model

Although the classical Ross–Macdonald malaria model has significantly enhanced the understanding of malaria transmission, it does not distinguish between infections caused by drug-sensitive and drug-resistant parasites. Consequently, it cannot adequately assess the epidemiological impact of antimalarial drug resistance on disease transmission and treatment outcomes.

In the present study, the existing host-vector malaria model is modified by partitioning the infected human population into two epidemiologically distinct classes: individuals infected with the drug-resistant strain (Ir). and individuals infected with the drug-sensitive strain (Is). Separate recovery, disease-induced mortality, and transmission parameters are assigned to each infected class to account for differences in treatment response and disease progression.

The mosquito population remains divided into susceptible and infected compartments. However, susceptible mosquitoes become infected through contact with either resistant or sensitive infected humans using separate transmission coefficients. This modification enables the model to capture the simultaneous transmission dynamics of drug-sensitive and drug-resistant malaria strains while preserving the biological interaction between the human and mosquito populations.

The modified framework therefore provides a more realistic representation of malaria transmission in regions where antimalarial drug resistance is prevalent. Furthermore, it facilitates the analysis of the basic reproduction number, disease-free equilibrium, endemic equilibrium, and stability conditions, thereby providing useful insights for evaluating treatment strategies and informing malaria control policies.

3. RESEARCH AND FINDINGS

3.1. MODEL FORMULATION

We first propose a mathematical model for drug resistance in the treatment of malaria in the form of an ordinary differential equation. The basic reproduction number is determined, the disease free equilibrium and the endemic equilibrium are computed, as well as the local stability of the disease free equilibrium and endemic equilibrium are analyzed.

For the model, we assume the total human population $N_h(t)$ at time t and the total vector (mosquito) population $N_v(t)$ at time t. The total human population $N_h(t)$ at time t is partitioned into susceptible individuals S(t), infected individuals $I_{(t)}$ and temporary immune individuals $R_{(t)}$ such that;

$$N_h(t) = S_h(t) + I_h(t) + R_h(t).$$

Susceptible individuals $S_h(t)$ is refer to those who are healthy but can catch the disease with transmission through an infected mosquito, infected individuals $I_h(t)$ are those who usually pass on the disease but can obtain immunity, and temporary immune individuals $R_h(t)$ are those who acquire immunity against the disease.

Since the malaria model took into consideration drug resistance in its treatment, we consider that mosquitoes which have either resistance strain or sensitive strain are responsible for their transmission which implies that an infected human can be infected with the resistance strain or sensitive strain or both.

$$I_h(t) = I_r(t) + I_s(t),$$
$$N_h(t) = S_h(t) + I_r(t) + I_s(t) + R_h(t).$$

The total mosquito population $N_v(t)$ at time t is partitioned into susceptible mosquitoes X and infected mosquitoes Y,

$$N_v(t) = X(t) + Y(t).$$

Hence, we propose the mathematical model for drug resistance in the treatment of malaria in the form of differential equations given as:

$$\frac{dS}{dt} = \mu Nh - \beta SY - \mu S + R$$
$$\frac{dIr}{dt} = \rho\beta SY - (\gamma_r + \mu + \delta_r) I_r$$
$$\frac{dIs}{dt} = (1 - \rho)\beta SY - (\gamma_s + \mu + \delta_s) I_s$$
$$\frac{dR}{dt} = \gamma_r I_r + \gamma_s I_s - (\mu + \omega)R$$
$$\frac{dX}{dt} = \varepsilon N_v - \alpha_r X I_r - \alpha_s X I_s - \varepsilon X$$
$$\frac{dY}{dt} = \alpha_r X I_r + \alpha_s X I_s - \varepsilon Y \qquad (3.1)$$

The Table below shows the detailed description of the parameters used in the model 3.1.

Parameters	Descriptions
μ	Natural Death Rate of humans
B	Infection Rate from infected mosquitoes to susceptible humans
ω	Rate of loss of immunity
ρ	Proportion of humans infected with resistant strain
γ_r	Recovery Rate of infected humans with resistant strain
δ_r	Death Rate of infected humans with resistant strain
γ_s	Recovery Rate of infected humans with sensitive strain
δ_s	Death Rate of infected humans with sensitive strain
ε	Natural Birth/Death Rate of mosquitoes
α_r	Infection Rate from infected humans with resistant strain
α_s	Infection Rate from infected humans with sensitive strain
N_h	Number of human population at time (t)
N_v	Number of vector (mosquito) population at time (t)

Special case of the model

Recall that $I(t) = I_r(t) + I_s(t)$

To consider the special case of the model 3.1,

Suppose that

$$\gamma_r = \gamma_s = \gamma$$
$$\delta_r = \delta_s = \delta$$
$$\alpha_r = \alpha_s = \alpha$$

We assume that $\delta=0$, $\omega=0$

This implies that the special case of the model is given by:

$$\frac{dS}{dt} = \mu N_h - \beta SY - \mu S,$$
$$\frac{dI}{dt} = \beta SY - (\gamma + \mu)I,$$
$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R,$$
$$\frac{dX}{dt} = \varepsilon N_v - \alpha XI - \varepsilon X,$$
$$\frac{dY}{dt} = \alpha XI - \varepsilon Y. \qquad (3.2)$$

This implies that the resistant strain and the sensitive strain co-exist.

3.2 ANALYSIS OF THE MODEL

Throughout the paper, we assume that the initial conditions of the system (3.2) are non-negative.

$$S(0) = S_0 > 0,\ I(0) = I_0 \geq 0,\ R(0) = R_0 \geq 0,\ X(0) = X_0 > 0,\ Y(0) = Y_0 \geq 0 \qquad (3.3)$$

THE BASIC REPRODUCTION NUMBER (R_0)

The Basic Reproduction Number denoted by R_0 is a key parameter which determines the behavior of the disease in a system.

In the study of a disease, the basic reproduction number predicts the outbreak of a disease and evaluates its control strategies. The disease persists if $R_0 > 1$ and declines if $R_0 < 1$. If $R_0 > 1$, it means that every infectious individual will cause more than one secondary infection and hence, the disease will invade the population. A large number of R_0 indicates the possibility of a major epidemic. On the contrary, if$R_0 < 1$, every infectious individual will cause less than one secondary infection and hence the disease will die off.

The basic reproduction number R_0 is defined mathematically by

$$R_0 = \rho(FV^{-1}) \quad (3.4)$$

Where F is the rate of appearance of new infections and is non-negative, V is the transfer of one compartment to another and is a singular m-matrix, E_0 is the disease free equilibrium. $\rho(FV^{-1})$ is the next generation matrix operator which was established by Van Dan Driessche and Watmough. The expression $\rho(A)$ denotes the spectral radius of a matrix A and the spectral radius $\rho(FV^{-1})$ is the biggest non-negative eigen value of the next generation matrix.

The next step is the computation of the square matrices F and V of order (m x m).From the equation of system (3.2), we rewrite the equations with infectious classes I and Y given by:

$\frac{dI}{dt} = \beta SY - (\gamma + \mu)I$

$\frac{dY}{dt} = \alpha XI - \varepsilon Y$

In finding our R_0, we consider the control model (3.2)

So, we have:

$$F = \left(\frac{\beta SY}{XI}\right)$$

The Jacobian of F about the disease free equilibrium becomes:

$$F = (0\ \beta S\ \alpha X\ 0) \quad (3.5)$$

On the other hand,

$$V = \left(\frac{-(\gamma+\mu)I}{-\varepsilon Y}\right)$$

The Jacobian of V about the disease free equilibrium is

$$V = (-(\gamma + \mu)\ 0\ 0\ -\varepsilon). \quad (3.6)$$

Suppose, $V = (v_{11}\ v_{12}\ v_{21}\ v_{22})$,

Since V is a 2 x 2 matrix, the co-factor of V is given by:

$(v_{11}\ -v_{12}\ -v_{21}\ v_{22}) = (-\varepsilon\ 0\ 0\ -(\gamma + \mu))$. (3.7)

Adjoint of V, denoted by Adj V = transpose of the matrix of the co-factors

Adj $V = (-\varepsilon\ 0\ 0\ -(\gamma + \mu))$. (3.8)

The determinant of V is denoted by |V| is given by:

$$|V| = \varepsilon(\gamma + \mu). \quad (3.9)$$

Therefore the inverse of V denoted by V^{-1} is

$$V^{-1} = \frac{Adj\ V}{|V|},$$

$$V^{-1} = \left(-\frac{1}{\gamma+\mu}\ 0\ 0\ -\frac{1}{\varepsilon}\right) \quad . \quad (3.10)$$

Next, we compute $FV^{-1} = (0\ \beta S\ \alpha X\ 0)\left(-\frac{1}{\gamma+\mu}\ 0\ 0\ -\frac{1}{\varepsilon}\right)$,

$$= \left(0\ -\frac{\beta S}{\varepsilon}\ -\frac{X}{\gamma+\mu}\ 0\right). \quad (3.11)$$

From 3.11, we can now calculate the eigen value to determine the basic reproduction number R_0 by taking the spectral radius (dominant eigen values) of matrix FV^{-1}. Thus, we obtain the eigen values by solving $|FV^{-1} - \lambda I| = 0$. Simplifying, gives

$$|FV^{-1} - \lambda I| = \left|-\ -\frac{\beta S}{\varepsilon}\ -\frac{\alpha X}{\gamma+\mu}\ -\right|, \quad (3.12)$$

$\lambda_1 = -\sqrt{\frac{\alpha\beta SX}{\varepsilon(\gamma+\mu)}}$, $\lambda_2 = \sqrt{\frac{\alpha\beta SX}{\varepsilon(\gamma+\mu)}}$

From the two eigenvalues, the dominant eigenvalue of the matrix FV^{-1} is

$\lambda_2 = \sqrt{\frac{\alpha\beta SX}{\varepsilon(\gamma+\mu)}}$.

Therefore, the basic reproduction number is

$R_0 = \sqrt{\frac{\alpha\beta SX}{\varepsilon(\gamma+\mu)}}$.

If $R_0 > 1$, there is possibility of coexistence of endemic equilibria for the resistant strain and the sensitive strain of disease. Malaria secondary infections will increase when the population of mosquitoes increases.

THE DISEASE FREE EQUILIBRIUM (DFE)

It is easy to see that the system (3.2) always has a disease free equilibrium. At disease free equilibrium, there is absolute of disease in the system. The disease free equilibrium (DFE) of the basic malaria model is obtained by setting:

$\frac{dS}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dR}{dt} = \frac{dX}{dt} = \frac{dY}{dt} = 0.$

At DFE: $S \neq 0$, $I = 0$, $R = 0$, $X \neq 0$, and $Y = 0$.

Solving the right hand side gives the DFE as:

$E^o = (S^o, I^o, R^o, X^o, Y^o) = (N_h, 0, 0, N_v, 0).$ (3.14)

THE ENDEMIC EQUILIBRIUM (EE)

To determine the EE, we have that;

$E^* = (S^*, I^*, R^*, X^*, Y^*).$

Therefore, by solving system (3.3), we have;

$\frac{dS}{dt} = \mu N_h - \beta S^* Y^* - \mu S^*$ (3.15)

$\frac{dI}{dt} = \beta S^* Y^* - (\gamma + \mu) I^*$ (3.16)

$\frac{dR}{dt} = \gamma I^* - \mu R^*$ (3.17)

$\frac{dX}{dt} = \varepsilon N_v - \alpha X^* I^* - \varepsilon X^*$ (3.18)

$\frac{dY}{dt} = \alpha XI - \varepsilon Y$ (3.19)

At EE, $\frac{dS}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dR}{dt} = \frac{dX}{dt} = \frac{dY}{dt} = 0.$

Hence,

$E^* = (S^*, I^*, R^*, X^*, Y^*)$

$= [N_h + \frac{k1\theta 2}{\theta 1}, -\frac{\theta 2}{\theta 1}, -\frac{k2\theta 2}{\theta 1}, \frac{\varepsilon N_v}{-\alpha\frac{\theta 2}{\theta 1} + \varepsilon}, N_v - \frac{\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta 2}{\theta 1} + \varepsilon}]$

THE LOCAL STABILITY OF THE DISEASE FREE EQUILIBRIUM

We investigate the local stability of the disease free equilibrium point of the system . First, ignore $\frac{dR}{dt}$ and linearize the sub-model by evaluating its Jacobian matrix J about the DFE.

$$J = \begin{pmatrix} -(\beta Y + \mu) & 0 & 0 & -\beta S \\ \beta Y & -(\gamma + \mu) & 0 & \beta S \\ 0 & -\alpha X & -(\alpha I + \varepsilon) & 0 \\ 0 & \alpha X & \alpha I & -\varepsilon \end{pmatrix}$$

At the DFE point, $(S^o, I^o, R^o, X^o, Y^o) = (N_h, 0, 0, N_v, 0)$, the Jacobian of the system becomes:

$$J^o = \begin{pmatrix} -\mu & 0 & 0 & -\beta N_h \\ 0 & -(\gamma+\mu) & 0 & \beta N_h \\ 0 & -\alpha N_v & -\varepsilon & 0 \\ 0 & \alpha N_v & 0 & -\varepsilon \end{pmatrix}$$

Theorem 1: Where the eigen values are all assumed negative, we say the DFE is locally stable.

Proof: To determine the eigen values of J^o, we have:

$$|J^o - \lambda I| = \begin{vmatrix} -\mu-\lambda & 0 & 0 & -\beta N_h \\ 0 & -(\gamma+\mu)-\lambda & 0 & \beta N_h \\ 0 & -\alpha N_v & -\varepsilon-\lambda & 0 \\ 0 & \alpha N_v & 0 & -\varepsilon-\lambda \end{vmatrix}$$

$$= \mu - \lambda \begin{vmatrix} -(\gamma+\mu)-\lambda & 0 & \beta N_h \\ -\alpha N_v & -\varepsilon-\lambda & 0 \\ \alpha N_v & 0 & -\varepsilon-\lambda \end{vmatrix} + \beta N_h \begin{vmatrix} 0 & -(\gamma+\mu)-\lambda & 0 \\ 0 & -\alpha N_v & -\varepsilon-\lambda \\ 0 & \alpha N_v & 0 \end{vmatrix}$$

$$= [-\mu - \lambda\,[(-(\gamma+\mu)-\lambda)(-\varepsilon-\lambda)(-\varepsilon-\lambda)] + \beta N_h(\alpha N_v)(-\varepsilon-\lambda)] + \beta N_h(0)$$

From the above, the eigen value becomes:

$-\mu - \lambda = 0$

$\lambda = -\mu$

$-(\gamma+\mu) - \lambda = 0$

$\lambda = -(\gamma+\mu)$

$-\varepsilon - \lambda = 0$

$\lambda = -\varepsilon$

Therefore, our DFE is locally stable. Epidemiologically, this implies that the malaria disease dies out in the presence of immunization and proper treatment based on resistant strain or sensitive strain. Therefore, implementing effective immunization or treatment as the case may be is crucial in reducing the spread of the disease.

THE LOCAL STABILITY OF THE ENDEMIC EQUILIBRIUM

We investigate the local stability of the endemic equilibrium point of the system (4.2). First, ignore $\frac{dR}{dt}$ and linearize the sub-model by evaluating its Jacobian matrix J about the EE. The Jacobian J^* of the model is given by

$$J^* = \begin{pmatrix} -(\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} + \mu) & 0 & 0 & -\beta N_h - \frac{\beta K_1\theta_1}{\theta_2} \\ -\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & -(\gamma+\mu) & 0 & \beta N_h + \frac{\beta K_1\theta_1}{\theta_2} \\ 0 & \frac{\alpha\varepsilon N_V}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & (\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon) & 0 \\ 0 & -\frac{\alpha\varepsilon N_V}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & \alpha\frac{\theta_1}{\theta_2} & -\varepsilon \end{pmatrix}$$

Theorem 2: Where the eigen values are all assumed negative, we say the EE is locally stable.

Proof: To determine the eigen values of J^*, we have:

$$|J^* - \lambda I| = \begin{pmatrix} -\left(\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} + \mu\right) - \lambda & 0 & 0 & -\beta N_h - \frac{\beta K_1\theta_1}{\theta_2} \\ -\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & -(\gamma+\mu) - \lambda & 0 & \beta N_h + \frac{\beta K_1\theta_1}{\theta_2} \\ 0 & \frac{\alpha\varepsilon N_V}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & \left(\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon\right) = \lambda & 0 \\ 0 & -\frac{\alpha\varepsilon N_V}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} & \alpha\frac{\theta_1}{\theta_2} & -\varepsilon - \lambda \end{pmatrix}$$

Let $\left(\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} + \mu\right) = A$, $\beta N_h + \frac{\beta K_1\theta_1}{\theta_2} = B$, $-\beta N_v - \frac{\beta\varepsilon N_v}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} = C$

$(\gamma+\mu) = D$, $\frac{\alpha\varepsilon N_V}{\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2}+\varepsilon} = E$ $\alpha\frac{\theta_1}{\theta_2} = F$

$$|J^* - \lambda I| = \begin{vmatrix} -A-\lambda & 0 & 0 & -B \\ C & -D-\lambda & 0 & B \\ 0 & E & (F+\varepsilon)-\lambda & 0 \\ 0 & -E & F & -\varepsilon-\lambda \end{vmatrix}$$

$$= -A-\lambda \begin{vmatrix} -D-\lambda & 0 & B \\ E & (F+\varepsilon) = \lambda & 0 \\ -E & F & -\varepsilon-\lambda \end{vmatrix} + B \begin{vmatrix} C & -D-\lambda & 0 \\ 0 & E & (F+\varepsilon)-\lambda \\ 0 & -E & F \end{vmatrix}$$

$= -A - \lambda\left[(-D-\lambda)\left((F+\varepsilon)-\lambda\right) + B(EF + E(F+\varepsilon)-\lambda)\right] + B\left[C(EF + E\left((F+\varepsilon)-\lambda\right))\right] = 0$

$-A-\lambda = 0$

$\Rightarrow \lambda = -A$

$-D-\lambda = 0$

$\Rightarrow \lambda = -D$

The epidemiological implication of the local stability of the endemic equilibrium is that if there is no proper treatment to decrease the basic reproduction number below unity, the disease will persist whenever $R_0 > 1$.

4. CONCLUSION

This study developed and analysed a deterministic mathematical model for the transmission dynamics of malaria in the presence of drug-resistant and drug-sensitive parasite strains. The basic reproduction number, disease-free equilibrium, endemic equilibrium, and the local stability of the equilibrium states were determined to assess the behaviour of the disease.

The analysis showed that when the basic reproduction number satisfies Ro < 1, the disease-free equilibrium is locally asymptotically stable, implying that malaria transmission will gradually be eliminated from the population. However, when Ro > 1, the endemic equilibrium exists and malaria persists, allowing both drug-sensitive and drug-resistant strains to coexist. The model further indicates that increasing drug resistance reduces treatment effectiveness and promotes sustained malaria transmission.

Therefore, effective diagnosis, rational use of antimalarial drugs, strict adherence to treatment protocols, continuous surveillance for drug resistance, and sustained vector control measures

are essential to reduce the basic reproduction number below unity and ultimately achieve effective malaria control.

REFERENCES

Aron, J. L. (1988). Mathematical modelling of immunity to malaria. Mathematical Biosciences, 90(1–2), 385–396.

Chitnis, N., Cushing, J. M., & Hyman, J. M. (2006). Bifurcation analysis of a mathematical model for malaria transmission. SIAM Journal on Applied Mathematics, 67(1), 24–45.

Collins, O. C., & Duffy, K. J. (2022). A mathematical model for the dynamics and control of malaria in Nigeria. Infectious Disease Modelling, 7(4), 728–741.

Dietz, K., Molineaux, L., & Thomas, A. (1974). A malaria model tested in the African savannah. Bulletin of the World Health Organization, 50(3–4), 347–357.

Herdicho, F. F., Chukwu, W., & Tasman, H. (2021). An optimal control of malaria transmission model with mosquito seasonal factor. Results in Physics, 25, 104238.

Macdonald, G. (1957). The epidemiology and control of malaria. Oxford University Press.

Ngwa, G. A., & Shu, W. S. (2000). A mathematical model for endemic malaria with variable human and mosquito populations. Mathematical and Computer Modelling, 32(7–8), 747–763.

Ross, R. (1911). The prevention of malaria (2nd ed.). John Murray.

Van den Driessche, P., & Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. Mathematical Biosciences, 180(1–2), 29–48.

World Health Organization. (2023). World malaria report 2023. World Health Organization.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EMPOWERING FOR PEACE: MOBILIZING BUSINESS EDUCATION TO ACHIEVE SDGS - 1 AND 8 THROUGH YOUTH ENTREPRENEURSHIP IN INSURGENCY-PRONE REGIONS IN NIGERIA

Dr. Obeten Ukabi
Dr. Agwa Terzungwe
Dr. Patrick Oche
Dr. Ogbe Ebam
Department of Business Education, University of Calabar, Nigeria
ORCID ID: 0000-0001-6387-5216

Abstract
In Nigeria's insurgency-prone regions, systemic poverty and youth unemployment fuel local conflicts. This research positions Business Education not merely as an academic certificate pathway, but as a strategic peace-building tool designed to advance UN SDGs - Goal 1 and 8. The aim of the study was to assess current Business Education frameworks, identify critical skill gaps, and propose an innovative curriculum model that empowers vulnerable youth with market-ready entrepreneurship competencies. This study utilized a multi-stakeholder survey research design on a population of 1,644 cohorts, comprising 224 Business Education lecturers (studied via census), and 1,420 Business Education students from which 350 final-year Business Education students were selected via stratified random and accidental sampling techniques across public Colleges of Education in North-West geo-political region of Nigeria. Data were collected using a structured, 4-point Likert scale questionnaire titled "Business Education and Youth Entrepreneurship Questionnaire" (BEYEQ). The instrument was content- and face-validated by three experts, and its reliability was established at 0.84 using the Cronbach's alpha coefficient. Quantitative data was analyzed using Mean and Standard Deviation to answer research questions, Pearson product moment correlation analysis was used to test the null hypotheses at a 0.05 level of significance. The analysis revealed a significant gap ($p < 0.05$) between traditional business theories and the high-risk, real-world survival skills needed in volatile economies. However, integrating targeted micro-venture creation, financial literacy, and digital business tools into the curriculum significantly correlates with increased youth resilience, self-employment rates, and a measurable decrease in vulnerability to insurgent recruitment. It was recommended based on the findings of the study that the ministries of education and administrators of Colleges of Education in the North-West region should transition from theory-heavy frameworks to an experiential, skills-driven curriculum that actively embeds digital business competencies and practical entrepreneurship training into the core Business Education programme.
Keywords: *Empowering, Business Education, Youth Entrepreneurship, Insurgency-Prone Regions, Peace, SDGs.*

DIGITAL FINANCIAL SERVICES AND CONSUMER FINANCIAL INCLUSION: A COMPREHENSIVE SYSTEMATIC REVIEW OF GLOBAL TRENDS, OPPORTUNITIES, BARRIERS, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS

Seifeslasie Asmamaw
Bahir Dar University

Abstract
Digital financial services have transformed access to formal financial systems through innovations such as mobile banking, digital payments, electronic wallets, and financial technology. This systematic review synthesizes current evidence on the role of Digital financial services in promoting consumer financial inclusion, with a focus on global trends, opportunities, barriers, and future research directions. The review finds that Digital financial services improve financial access, reduce transaction costs, enhance payment efficiency, and expand access to savings, credit, and other financial services, particularly for underserved populations. However, challenges including digital and financial literacy gaps, inadequate infrastructure, cybersecurity risks, regulatory constraints, and socioeconomic inequalities continue to limit inclusive adoption. The review also highlights the growing influence of emerging technologies, including artificial intelligence and blockchain, in advancing financial inclusion. These findings provide valuable insights for researchers, policymakers, and financial institutions seeking to foster equitable and sustainable financial inclusion.
Keywords: Digital financial services, Financial inclusion, Mobile banking, Digital payments, Consumer finance, Financial technology

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MACHINE LEARNING-DRIVEN DEMAND FORECASTING FOR SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION: EVIDENCE FROM THE UCI DAILY DEMAND FORECASTING ORDERS DATASET

Faisal Bala Garba
Department of Information Technology, Nigeria Army University Biu, Borno State, Nigeria
Rayyan Yusuf
Department of Business Administration and Management, Federal University Kashere, Gombe State, Nigeria
Abdulrasheed Yusuf
Department of Business Administration and Management, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria
Aminu Adamu Ahmed
Department of Information and Communication Technology, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria

Abstract
Accurate demand forecasting underpins effective inventory control, production scheduling, and customer service in modern supply chains. This study applies six supervised machine learning (ML) algorithms: multiple linear regression (MLR), decision tree, random forest (RF), gradient boosting (GB), support vector regression (SVR), and a multilayer perceptron (MLP) neural network to the UCI Daily Demand Forecasting Orders dataset, a real 60-day operational record from a large Brazilian logistics company. Following exploratory and correlation analysis, three order-type attributes that are deterministic components of the target variable were excluded to prevent target leakage, yielding nine legitimate predictors of total daily order volume. Models were trained on an 80/20 split and validated with 5-fold cross-validation, evaluated using the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), and mean absolute percentage error (MAPE). MLR achieved the strongest generalisation (test $R^2 = 0.778$; cross-validated $R^2 = 0.931 \pm 0.080$; MAPE = 5.43%), followed by gradient boosting ($R^2 = 0.724$) and random forest ($R^2 = 0.712$), while the decision tree and SVR models generalised poorly on this small sample. Non-urgent order volume, banking-sector orders, and urgent order volume emerged as the dominant predictors of total demand. The findings show that carefully engineered, leakage-free feature sets allow comparatively simple, interpretable ML models to rival more complex ensembles on small operational datasets, offering practical guidance for supply chain analytics in resource-constrained organisations. Implications for inventory optimisation, managerial decision-making, and future research directions using larger and higher-frequency datasets are discussed.

Keywords: *Demand Forecasting; Machine Learning; Supply Chain Optimization; Random Forest; Gradient Boosting; Target Leakage; UCI Dataset*

1. Introduction
Demand forecasting is one of the most consequential analytical activities in supply chain management: it drives procurement planning, workforce scheduling, warehouse allocation, and ultimately customer satisfaction. Forecasting errors propagate downstream through the bullwhip effect, generating either costly overstocking or service-eroding stockouts (Fildes et al., 2022). Classical statistical approaches: moving averages, exponential smoothing, and ARIMA family models remain widely used because of their interpretability, but they generally assume linear, stationary demand structures that do not hold for many contemporary operational

environments characterised by volatility, promotional effects, and multiple interacting order channels (Ma & Fildes, 2021).

Machine learning (ML) has increasingly displaced or complemented these classical techniques because tree-based ensembles and neural architectures can capture nonlinear interactions among heterogeneous predictors without strong distributional assumptions (Douaioui et al., 2024). Recent systematic reviews report that random forest, gradient boosting variants (XGBoost, LightGBM, CatBoost), support vector regression, and deep sequence models (LSTM, GRU, temporal fusion transformers) now dominate the demand-forecasting literature across retail, manufacturing, logistics, and e-commerce contexts, frequently outperforming ARIMA-type baselines while imposing greater computational and data requirements (Saha et al., 2024; Polo-Triana et al., 2024).

Despite this progress, a persistent methodological gap concerns small, operationally realistic datasets typical of small and medium logistics enterprises in developing economies, where only a few months of daily records may be available and where some recorded attributes are arithmetic components of the forecast target rather than genuine predictors. Naively including such components inflates apparent model accuracy without providing any real forecasting capability — a form of target leakage that is rarely made explicit in applied ML demand-forecasting studies. This paper addresses that gap using the UCI Daily Demand Forecasting Orders dataset (Ferreira et al., 2016), a 60-day record of a Brazilian logistics company that has been used mainly for neural network benchmarking in prior work but has received comparatively little attention from a rigorous, leakage-aware comparative ML perspective.

The specific objectives of this study are to: (i) characterise the statistical structure of the dataset and identify deterministic relationships among its attributes; (ii) construct a leakage-free predictor set and benchmark six ML regression algorithms for total daily order forecasting; (iii) identify the operational factors that most strongly drive total demand; and (iv) translate the empirical findings into actionable recommendations for supply chain optimisation, particularly for small and medium logistics operators. The remainder of the paper is organised as follows: Section 2 reviews related literature; Section 3 describes the data and methodology; Section 4 presents the results; Section 5 discusses the findings; and Section 6 concludes with limitations and directions for future research.

2. Literature Review

2.1 Machine Learning Approaches to Demand Forecasting

A growing body of Scopus-indexed research documents the migration from classical time-series methods toward ML and deep learning for demand forecasting. Douaioui et al. (2024), reviewing 119 Scopus-indexed articles published between 2015 and 2024, found that neural networks and ensemble tree methods together account for the majority of published applications, with random forest, support vector machines, and XGBoost gaining ground due to their robustness, computational efficiency, and relative interpretability compared with deep architectures. Similarly, Saha et al. (2024), applying PRISMA guidelines to 65 peer-reviewed articles, concluded that AI-driven models consistently outperform traditional statistical techniques in forecasting accuracy, scalability, and responsiveness to real-time data across retail, manufacturing, and logistics settings, while cautioning that model interpretability and data quality remain barriers to industrial adoption.

Ensemble tree-based methods in particular have shown strong empirical performance on tabular operational data. Mitra et al. (2022) compared random forest, XGBoost, gradient boosting, AdaBoost, and artificial neural networks against a proposed hybrid RF-XGBoost-linear regression model for multi-channel retail sales forecasting, reporting that the hybrid ensemble outperformed each individual learner across MAE, RMSE, and R^2 criteria. In a related vein,

Aldahmani et al. (2024) proposed a uni-regression deep approximate forecasting model for supply chain demand and demonstrated accuracy gains over conventional regression baselines, while Polo-Triana et al. (2024) synthesised the broader systematic literature on ML integration across supply chain decision domains — including demand forecasting, inventory management, and supplier selection — and identified data availability and feature engineering quality as recurring determinants of model performance.

2.2 Comparative Model Performance and Small-Sample Considerations

While deep sequence models (LSTM, GRU, temporal fusion transformers) often report superior accuracy on large, high-frequency retail datasets, their advantage narrows or disappears on small samples, where simpler linear and tree-based models can generalise more reliably (Zanotti, 2025). Kim et al. (2023) showed that ensemble neural architectures improve forecasting accuracy in retail settings primarily when sufficient historical depth is available to estimate the additional parameters involved, echoing a broader finding in the forecasting literature that model complexity should be matched to sample size and signal-to-noise ratio (Fildes et al., 2022). Gradient boosting and random forest, by contrast, tend to be comparatively data-efficient and robust to overfitting on datasets with dozens rather than thousands of observations (Jabeur et al., 2021; Osman et al., 2021), which motivates their inclusion, alongside more classical regression and neural benchmarks, in the present comparative design.

2.3 Feature Engineering, Target Leakage, and Supply Chain Optimisation

A methodological concern that receives less explicit attention in the applied literature is target leakage the inclusion of predictors that are deterministic or near-deterministic functions of the outcome variable, which inflates in-sample accuracy without adding genuine predictive information (Zanotti, 2025). This risk is acute in operational datasets where totals, subtotals, and category breakdowns of the same underlying quantity are recorded together, as is the case in several logistics and retail order datasets, including the one analysed here. Beyond model accuracy, the ultimate purpose of demand forecasting research is to support supply chain optimisation: more accurate, well-validated forecasts translate into leaner safety stock, reduced holding costs, fewer stockouts, and better-synchronised production and workforce scheduling (Saha et al., 2024; Douaioui et al., 2024). The present study contributes to this literature by explicitly diagnosing and removing a leakage pathway in a widely available benchmark dataset, and by benchmarking a spectrum of ML models from interpretable linear regression to nonlinear ensembles and neural networks under a common, leakage-free evaluation protocol.

3. Materials and Methods

3.1 Data Source

This study uses the Daily Demand Forecasting Orders dataset originally compiled by Ferreira et al. (2016) and hosted in the UCI Machine Learning Repository (https://doi.org/10.24432/C5BC8T). The dataset comprises 60 daily observations collected from a large Brazilian logistics company, with 12 predictive attributes and a single continuous target variable, Total Orders. The predictive attributes capture temporal indicators (week of the month, day of the week), order-urgency categories (non-urgent and urgent orders), order-type categories (Order Type A, B, and C), and sector-specific order volumes (fiscal sector, traffic-controller sector, and three banking order channels). The dataset contains no missing values.

3.2 Data Preprocessing and Leakage Control

Preliminary ordinary least squares analysis regressing Total Orders on all twelve predictors returned a perfect fit ($R^2 = 1.000$, intercept ≈ 0), with unit coefficients of exactly 1.0 on Order Type A, Order Type B, and Order Type C and coefficients of 0 on every other attribute. This confirms that Total Orders is an exact arithmetic sum of the three order-type attributes — a bookkeeping identity embedded in the source dataset rather than a genuine predictive

relationship. To ensure a valid and practically meaningful forecasting exercise, Order Type A, Order Type B, and Order Type C were therefore excluded from the predictor set. The final feature set comprised nine legitimate predictors: Week of the Month, Day of the Week, Non-urgent Order volume, Urgent Order volume, Fiscal Sector Orders, Traffic Controller Sector Orders, and Banking Orders (1), (2), and (3). All predictors were standardised (zero mean, unit variance) prior to model fitting to place heterogeneous-scale variables (e.g., order counts in the tens versus banking order volumes in the tens of thousands) on a comparable footing for distance- and gradient-based learners.

3.3 Machine Learning Models

Six supervised regression algorithms were implemented in Python 3 using scikit-learn: (1) Multiple Linear Regression (MLR), used as an interpretable linear benchmark; (2) Decision Tree Regression (max depth = 5); (3) Random Forest Regression (300 trees); (4) Gradient Boosting Regression (300 estimators, max depth = 3); (5) Support Vector Regression (SVR) with a radial basis function kernel ($C = 100$, $\varepsilon = 0.5$); and (6) a Multilayer Perceptron (MLP) neural network with two hidden layers (64 and 32 units) and early stopping. The dataset was split into training (80%, n = 48) and test (20%, n = 12) subsets using a fixed random seed. To mitigate the variance associated with a single small test split, each model was additionally evaluated with 5-fold cross-validation across the full sample.

3.4 Evaluation Metrics

Model performance was assessed using four complementary metrics: the coefficient of determination (R^2), Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE). R^2 measures the proportion of variance in total orders explained by each model; MAE and RMSE quantify average and root-mean-squared prediction error in the original order-count units; and MAPE expresses error as a percentage of actual demand, facilitating comparison across models. Cross-validated R^2 (mean ± standard deviation across five folds) was used to assess the stability of each model's generalisation performance beyond the single train–test split.

4. Results

4.1 Descriptive Statistics

Table 1 presents descriptive statistics for the study variables. Total daily orders averaged 300.87 units (SD = 89.60), ranging from 129.41 to 616.45 units, indicating substantial day-to-day demand variability. Banking Orders (2) exhibited the largest absolute volume (M = 79,401.48; SD = 40,504.42) among the sector-level predictors, while Fiscal Sector Orders showed the greatest relative dispersion (SD nearly 2.4 times its mean), reflecting sporadic, spike-prone demand from that sector.

Table 1. Descriptive Statistics of Study Variables (N = 60)

Variable	Mean	SD	Min	Median	Max
Week of the Month	3.02	1.28	1.00	3.00	5.00
Day of the Week	4.03	1.40	2.00	4.00	6.00
Non-urgent Order	172.55	69.51	43.65	151.06	435.30
Urgent Order	118.92	27.17	77.37	113.11	223.27
Fiscal Sector Orders	77.40	186.50	0.00	7.83	865.00
Traffic Controller Orders	44,504.35	12,197.91	11,992.00	44,312.00	71,772.00
Banking Orders (1)	46,640.83	45,220.74	3,452.00	32,527.50	210,508.00
Banking Orders (2)	79,401.48	40,504.42	16,411.00	67,181.00	188,411.00

Variable	Mean	SD	Min	Median	Max
Banking Orders (3)	23,114.63	13,148.04	7,679.00	18,011.50	73,839.00
Total Orders (Target)	300.87	89.60	129.41	288.03	616.45

4.2 Correlation Analysis

Figure 1 displays the Pearson correlation matrix for all study variables (including the excluded order-type components, shown for transparency). Total Orders correlated most strongly with Non-urgent Order volume, consistent with non-urgent orders representing the largest and most variable component of daily demand. Moderate positive correlations were also observed between Total Orders and Banking Orders (2) and Urgent Order volume. Week of the Month and Day of the Week showed weak associations with Total Orders, suggesting limited calendar-based seasonality within the 60-day window.

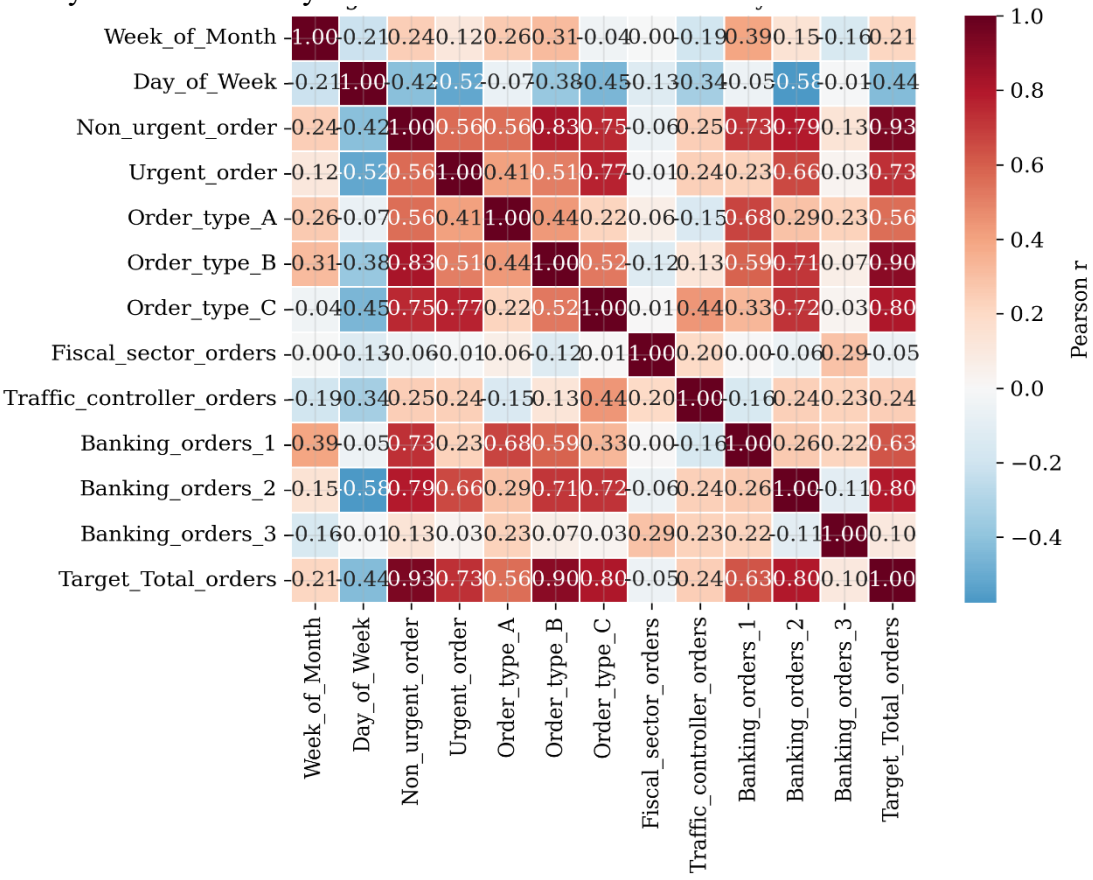


Figure 1. Correlation Matrix of Study Variables

4.3 Distribution and Temporal Pattern of Demand

The distribution of Total Orders (Figure 2) is right-skewed, with most observations clustered between 200 and 350 units and a small number of high-demand days exceeding 500 units. The time-series plot (Figure 3) shows no strong linear trend across the 60-day observation window but reveals episodic demand spikes, consistent with the presence of occasional high-volume fiscal-sector or banking-sector orders. The day-of-week comparison (Figure 4) indicates that median total orders were broadly similar across weekdays, with Monday and Wednesday showing marginally higher variability than the remaining days.

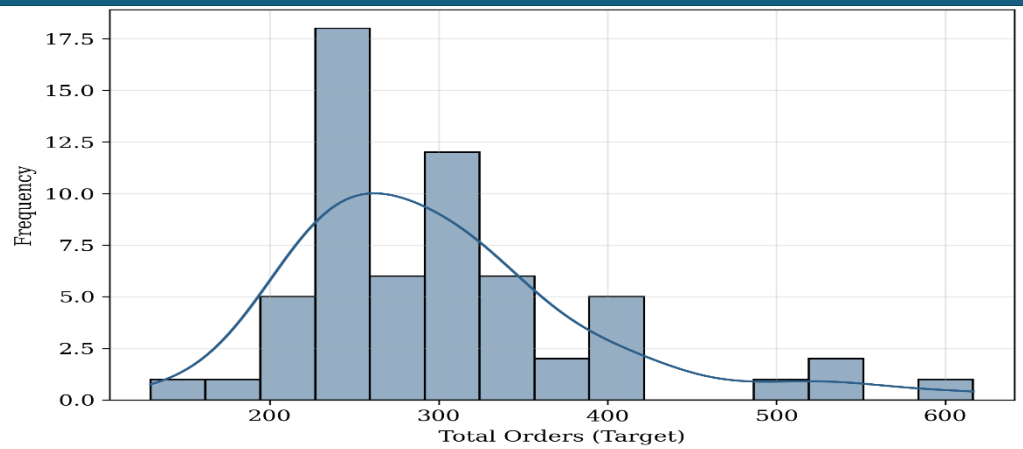


Figure 2. Distribution of Total Daily Orders

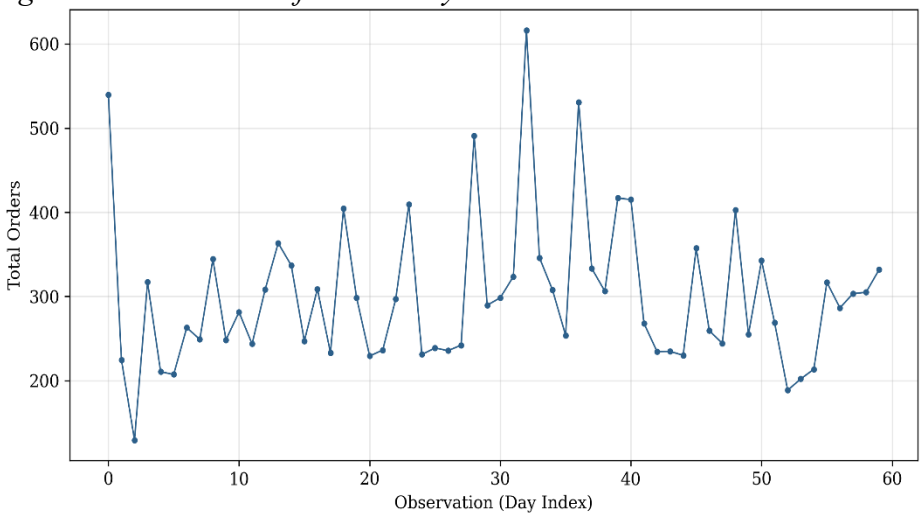


Figure 3. Trend of Total Daily Orders Over the Observation Window

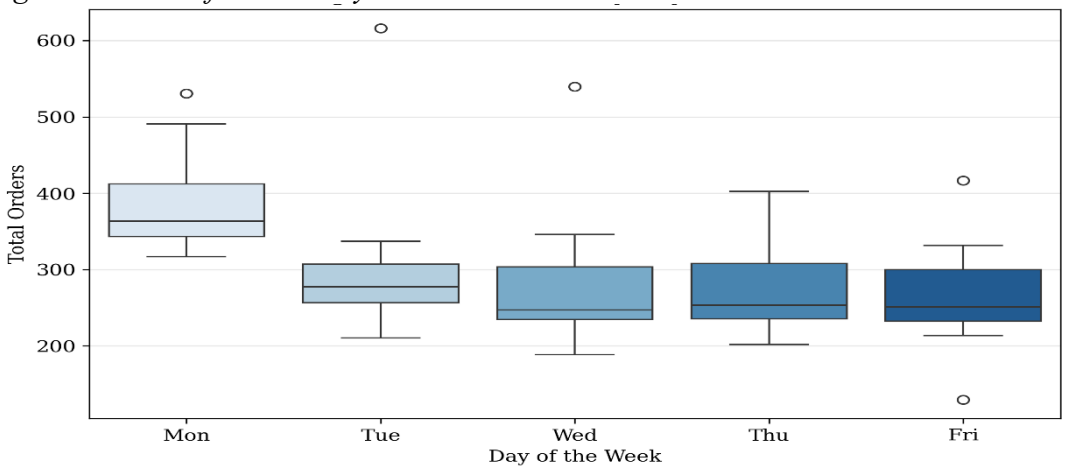


Figure 4. Total Orders by Day of the Week

4.4 Comparative Model Performance

Table 2 reports test-set and cross-validated performance for the six models after removing the leakage-inducing order-type predictors. Multiple Linear Regression achieved the strongest and most stable performance (test $R^2 = 0.778$, MAPE = 5.43%, 5-fold CV $R^2 = 0.931 \pm 0.080$), indicating that, once deterministic components are excluded, the relationship between the remaining operational predictors and total demand is predominantly linear. Gradient Boosting

($R^2 = 0.724$) and Random Forest ($R^2 = 0.712$) followed closely, both showing reasonably stable cross-validated performance. The Multilayer Perceptron, Support Vector Regression, and Decision Tree models underperformed and showed markedly higher cross-validation variance, reflecting the well-documented tendency of high-capacity or high-variance learners to overfit on datasets with only 48–60 observations.

Table 2. Comparative Performance of Machine Learning Models on the Test Set

Model	MAE	RMSE	R^2	MAPE (%)	CV R^2 (M ± SD)
Multiple Linear Regression	20.57	47.72	0.778	5.43	0.931 ± 0.080
Gradient Boosting	31.49	53.18	0.724	8.84	0.846 ± 0.076
Random Forest	37.28	54.30	0.712	10.28	0.853 ± 0.081
MLP Neural Network	49.67	74.24	0.462	14.43	-0.033 ± 0.356
Support Vector Regression	53.99	94.45	0.129	12.15	0.580 ± 0.266
Decision Tree	69.00	103.76	-0.052	18.51	0.586 ± 0.335

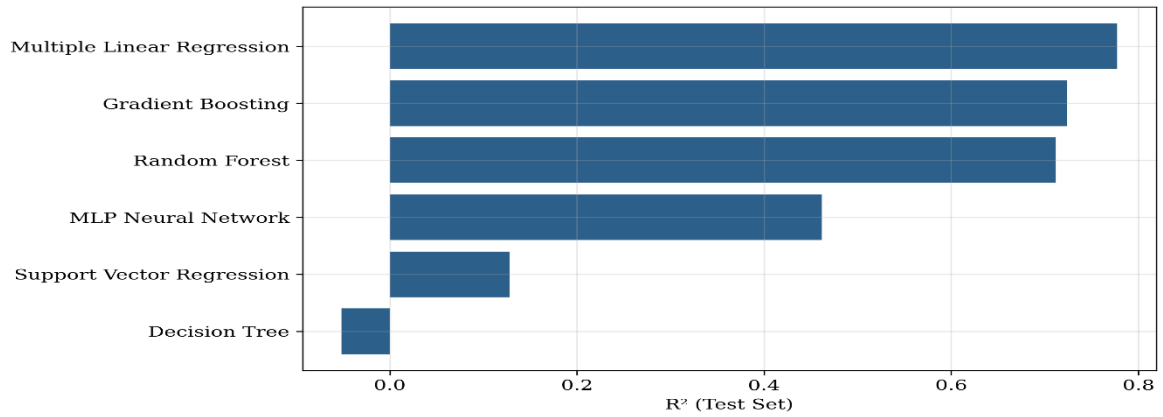


Figure 5. Comparative Predictive Performance of Machine Learning Models (Test R^2)

4.5 Feature Importance

Random forest feature importance scores (Table 3, Figure 6) identify Non-urgent Order volume as the dominant predictor of total demand (relative importance = 0.698), consistent with its status as the largest and most variable order category. Banking Orders (2) (0.138) and Urgent Order volume (0.079) were the next most influential predictors, while calendar attributes (week of the month, day of the week) and the remaining banking and sector channels contributed comparatively little explanatory power individually.

Table 3. Random Forest Feature Importance for Total Order Demand

Predictor	Relative Importance
Non-urgent Order	0.698
Banking Orders (2)	0.138
Urgent Order	0.079
Banking Orders (1)	0.023
Traffic Controller Orders	0.018

Predictor	Relative Importance
Banking Orders (3)	0.014
Fiscal Sector Orders	0.013
Day of the Week	0.010
Week of the Month	0.007

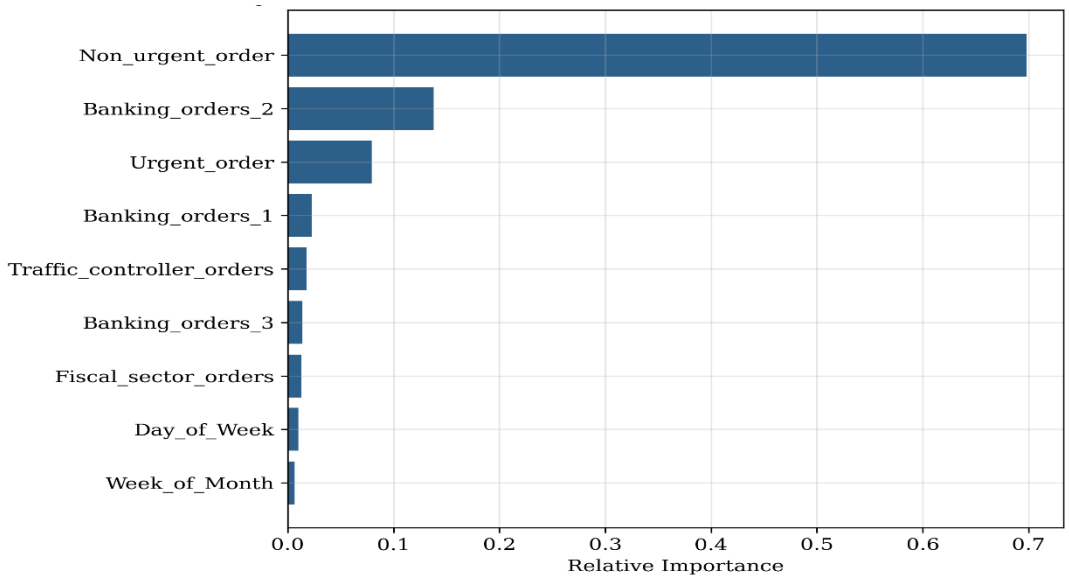


Figure 6. Random Forest Feature Importance for Total Order Demand

4.6 Actual versus Predicted Demand

Figure 7 plots actual against predicted Total Orders for the best-performing model (Multiple Linear Regression) on the held-out test set. Predicted values cluster closely around the 45-degree line of perfect prediction across the observed demand range (approximately 130 to 620 units), with modest dispersion at the upper tail where fiscal-sector demand spikes introduce additional variance that is only partially captured by the available predictors.

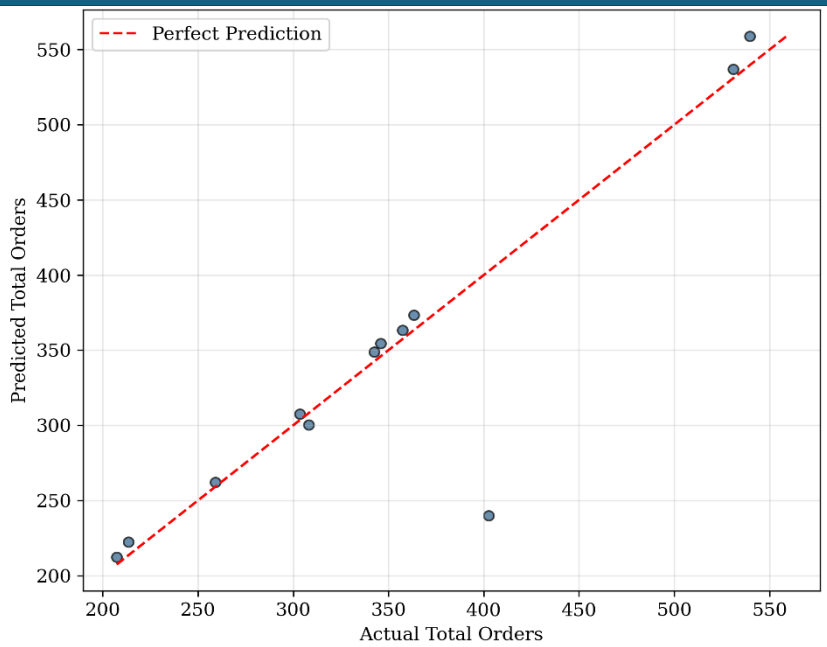


Figure 7. Actual vs. Predicted Total Orders (Multiple Linear Regression)

5. Discussion

The results carry three main implications. First, the discovery that Order Type A, B, and C sum exactly to Total Orders underscores the importance of leakage diagnostics before deploying ML models on operational datasets: a naïve pipeline including these attributes would have reported a spurious perfect-accuracy model with no genuine forecasting value, a pitfall that likely affects other applied studies using similarly structured order or sales breakdown data. This finding echoes broader cautions in the forecasting literature regarding the gap between reported accuracy and deployable predictive value (Zanotti, 2025).

Second, the superior and more stable performance of Multiple Linear Regression relative to more complex ensembles and the neural network is consistent with evidence that model complexity should be matched to sample size (Fildes et al., 2022; Kim et al., 2023). With only 60 daily observations, tree ensembles and neural networks have comparatively limited opportunity to learn reliable nonlinear structure and are more prone to variance across resampling folds, as reflected in the markedly higher cross-validation standard deviations for the MLP, SVR, and decision tree models. This does not imply that nonlinear ML methods are inferior in general — larger-scale studies using thousands of high-frequency observations typically favour gradient boosting and deep sequence architectures (Douaioui et al., 2024; Mitra et al., 2022) — but rather that algorithm selection should be informed by data volume as much as by algorithmic sophistication, a point of direct practical relevance to small and medium logistics operators who may only have a few months of digitised order records.

Third, the feature importance results offer actionable guidance for supply chain optimisation: because non-urgent orders and banking-sector order volumes jointly account for the large majority of predictive signal, logistics planners can prioritise monitoring and short-term forecasting of these two channels to anticipate total workload, rather than distributing analytical attention evenly across all twelve recorded attributes. This targeted approach can inform leaner staffing and vehicle-scheduling decisions, supporting the broader supply chain optimisation objectives reduced holding costs, fewer stockouts, and improved service levels that motivate the adoption of ML-based demand forecasting in the first place (Saha et al., 2024; Aldahmani et al., 2024).

6. Conclusion, Limitations, and Future Research

This study benchmarked six machine learning models for daily total-order demand forecasting using the UCI Daily Demand Forecasting Orders dataset, explicitly diagnosing and correcting a target-leakage problem embedded in the raw attribute set. After excluding the three order-type components that sum exactly to the target, Multiple Linear Regression provided the most accurate and stable forecasts ($R^2 = 0.778$; cross-validated $R^2 = 0.931$), followed by Gradient Boosting and Random Forest, with non-urgent order volume and banking-sector orders identified as the dominant demand drivers. These findings demonstrate that rigorous feature auditing and appropriately scaled model complexity can yield reliable, interpretable demand forecasts even from small, operationally realistic datasets, supporting practical supply chain optimisation decisions in resource-constrained logistics organisations.

The study is limited by the small sample size (60 daily observations from a single company), which restricts the generalisability of the specific coefficient estimates and constrains the performance of higher-capacity learners; the absence of exogenous variables such as weather, promotions, or macroeconomic indicators that are known to influence demand in other contexts; and the single-organisation, single-country scope of the underlying data. Future research should extend this leakage-aware comparative framework to larger, multi-year, and multi-site logistics datasets; incorporate deep sequence architectures (e.g., LSTM, GRU, or hybrid BERT-based embeddings for textual order metadata) once sufficient data volume is available; and explore explainable AI techniques such as SHAP values to further clarify the operational drivers of demand in Nigerian and other developing-economy supply chain contexts, building on the broader trajectory of AI-enabled supply chain analytics research (Polo-Triana et al., 2024; Douaioui et al., 2024).

References

Aldahmani, E., Alzubi, A., & Iyiola, K. (2024). Demand forecasting in supply chain using uni-regression deep approximate forecasting model. Applied Sciences, 14(18), Article 8110. https://doi.org/10.3390/app14188110

Douaioui, K., Oucheikh, R., Benmoussa, O., & Mabrouki, C. (2024). Machine learning and deep learning models for demand forecasting in supply chain management: A critical review. Applied System Innovation, 7(5), Article 93. https://doi.org/10.3390/asi7050093

Ferreira, R. P., Martiniano, A., Ferreira, A., Ferreira, A., & Sassi, R. (2016). Daily demand forecasting orders [Dataset]. UCI Machine Learning Repository. https://doi.org/10.24432/C5BC8T

Fildes, R., Ma, S., & Kolassa, S. (2022). Retail forecasting: Research and practice. International Journal of Forecasting, 38(4), 1283–1318. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.10.012

Jabeur, S. B., Mefteh-Wali, S., & Viviani, J.-L. (2021). Forecasting gold price with the XGBoost algorithm and SHAP interaction values. Annals of Operations Research. Advance online publication.

Kim, J., Choi, B., & Song, H. (2023). Enhancing demand forecasting accuracy with a neural network ensemble model in retail. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 53(2), 489–499.

Ma, S., & Fildes, R. (2021). Retail sales forecasting with meta-learning. European Journal of Operational Research, 288(1), 111–128. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.05.038

Mitra, A., Jain, A., Kishore, A., & Kumar, P. (2022). A comparative study of demand forecasting models for a multi-channel retail company: A novel hybrid machine learning approach. Operations Research Forum, 3(4), Article 58. https://doi.org/10.1007/s43069-022-00166-4

Osman, A. I. A., Ahmed, A. N., Chow, M. F., Huang, Y. F., & El-Shafie, A. (2021). Extreme gradient boosting (Xgboost) model to predict the groundwater levels in Selangor Malaysia. Ain Shams Engineering Journal, 12(2), 1545–1556.

Polo-Triana, S., Gutiérrez, J. C., & León-Becerra, J. (2024). Integration of machine learning in the supply chain for decision making: A systematic literature review. Journal of Industrial Engineering and Management, 17(2), 291–315.

Saha, R., Shofiullah, S., Faysal, S., & Happy, A. T. (2024). Systematic literature review on artificial intelligence applications in supply chain demand forecasting. Academic Journal on Business Administration, Innovation & Sustainability, 4(4), 1–18. https://doi.org/10.69593/AJBAIS.V4I04.136

Zanotti, M. (2025). On the retraining frequency of global models in retail demand forecasting. Machine Learning with Applications, 22, Article 100769.

CFD INVESTIGATION OF WIND-INDUCED KELVIN–HELMHOLTZ INSTABILITY AT THE AIR–SEA INTERFACE: IMPLICATIONS FOR MARINE HYDRODYNAMICS

Prof. Jamila BOUCHGL
Higher Institute of Marine Fisheries, Agadir, Morocco
Laboratory of energy Engineering, Materials and Systems, ENSA, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco.
Prof. Khadija OUAISSA
Higher Institute of Marine Fisheries, Agadir, Morocco
Environmental, Ecological and Agro-Industrial Engineering Laboratory. Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques. University Sultan Moulay Slimane. Beni-Mellal, Morocco.

ABSTRACT

Abstract

The interaction between wind and the ocean surface governs a wide range of physical processes, including wave generation, turbulent mixing, and momentum transfer across the air–sea interface. Among these processes, the Kelvin–Helmholtz (KH) instability plays a key role in the development of interfacial waves and the transition to turbulence under strong wind shear conditions. In this study, a two-dimensional computational fluid dynamics (CFD) model is developed to investigate the onset and evolution of KH instability at the air–sea interface. The incompressible Navier–Stokes equations are solved using the Volume of Fluid (VOF) method, which accurately captures the interface between air and seawater during transient flow evolution.

A parametric study is carried out to evaluate the influence of wind velocity, Reynolds number, and Weber number on the growth of interfacial disturbances, vortex formation, and turbulent flow structures. The temporal evolution of the wave amplitude, velocity field, pressure distribution, vorticity, and turbulent kinetic energy is analyzed to characterize both the linear and nonlinear stages of the instability.

The numerical results provide a detailed description of the mechanisms governing wind-induced interfacial deformation and reveal the strong dependence of instability growth on the imposed shear conditions.

The outcomes of this work contribute to a better understanding of air–sea interaction processes and provide useful insights for applications in marine hydrodynamics, offshore engineering, coastal engineering, and oceanographic modelling. The proposed numerical framework also offers a reliable basis for future investigations involving realistic sea states, variable environmental conditions, and wave–current interactions.

Keywords: Kelvin–Helmholtz instability; Air–sea interface; Computational fluid dynamics (CFD); Volume of Fluid (VOF); Wind-induced shear flow; Interfacial waves; Turbulent mixing; Marine hydrodynamics.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CRIMINOLOGY: BETWEEN INNOVATION, PREVENTION, AND RESPONSIBILITY

PhD Roxana Mihaela Moisoiu
U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău, Moldova
ID orcid 0009-0005-0515-0432
Prof Colegiul German Goethe
București
România
UDC - 004.8:343.98:34
DOI: urmează a fi atribuit
JEL 14

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is profoundly redefining the field of criminology, influencing scientific research as well as practices related to crime prevention, investigation, and control.

The evolution of technologies based on machine learning algorithms, predictive analytics, and big data processing provides criminology with tools capable of identifying complex criminal patterns, anticipating risks, and supporting the development of evidence-based public policies. At the same time, the integration of AI into criminology raises significant challenges regarding the protection of fundamental rights, the transparency of algorithmic decisions, automated discrimination, and legal liability for errors made by intelligent systems.

This article analyzes the role of artificial intelligence in transforming contemporary criminological paradigms, highlighting how it influences criminological theory, research activities, the analysis of criminal behavior, and the management of criminogenic risk. The study employs an interdisciplinary approach—based on doctrinal, comparative, and normative analysis—drawing upon specialized literature and European legislative developments concerning artificial intelligence.

The findings indicate that AI is not merely a technological tool for combating crime but a transformative force for the entire discipline of criminology, necessitating a redefinition of traditional concepts regarding prevention, risk assessment, and penal policy.

The conclusions emphasize the need to develop a model of AI-augmented criminology, wherein technological progress is accompanied by legal, ethical, and social safeguards capable of ensuring a balance between effective crime control and the protection of human rights.
Keywords: artificial intelligence, criminology, digital criminology, predictive analysis, crime, algorithms, criminal justice, ethics, fundamental rights, crime prevention.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PATHOPHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF SYNOVIAL INFLAMMATION, CARTILAGE DAMAGE, AND BONE EROSION IN RHEUMATOID ARTHRITIS

Tasawar Iqbal
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5854-9069
Institute of Physiology and Pharmacology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Sidra Altaf
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7717-1375
Department of Pharmacy, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract
Rheumatoid arthritis (RA) is a chronic systemic autoimmune disorder characterized by persistent synovial inflammation that progressively leads to cartilage degradation, bone erosion, and irreversible joint deformity. The disease develops through a complex interplay of genetic susceptibility, environmental triggers, and dysregulated immune responses that initiate chronic inflammation within the synovial membrane. Activated fibroblast-like synoviocytes, macrophages, dendritic cells, neutrophils, and infiltrating T and B lymphocytes contribute to the formation of pannus tissue, an invasive hyperplastic synovium responsible for joint destruction. These immune and stromal cells produce pro-inflammatory cytokines, chemokines, matrix metalloproteinases, and reactive oxygen species that amplify inflammatory signaling and promote extracellular matrix degradation. Matrix metalloproteinases and aggrecanases mediate cartilage breakdown by degrading collagen and proteoglycans while receptor activator of nuclear factor Kappa-B ligand (RANKL) stimulates osteoclast differentiation, resulting in excessive bone resorption and erosion. Simultaneously, chronic inflammation suppresses osteoblast-mediated bone formation, disrupting normal bone remodeling and accelerating structural damage. Synovial angiogenesis further supports inflammatory cell recruitment by enhancing vascular permeability and sustaining the inflammatory microenvironment. Persistent activation of intracellular signaling pathways, including nuclear factor-kappa B (NF-κB), Janus kinase/signal transducer and activator of transcription (JAK/STAT), and mitogen-activated protein kinase (MAPK), perpetuates inflammatory cascades and tissue destruction. Advances in molecular biology have significantly improved understanding of these interconnected mechanisms, enabling the development of targeted biologic agents and small-molecule inhibitors that interrupt key inflammatory pathways. Continued investigation of the molecular basis of synovial inflammation and joint destruction is essential for identifying novel therapeutic targets capable of preventing disease progression, preserving joint integrity, and improving long-term clinical outcomes in patients with rheumatoid arthritis.

Keywords: Rheumatoid Arthritis; Synovial Inflammation; Cartilage Degradation; Bone Erosion; Pannus Formation; Osteoclast Activation.

LEGAL AID IN CRIMINAL PROCEEDINGS ADAPTING TO DIGGITAL TRANSFORMATION IN CONTEMPORARY VIETNAM

Ms. Tran Thi Thanh Hang
Thu Dau Mot University, Vietnam

1. **Introduction and Objectives:** *In the context of accelerating national digital transformation and implementing Project 06 on the development of population data, electronic identification and authentication applications to serve national digital transformation during the 2022 - 2025 period, with a vision toward 2030 issued by the Prime Minister (Decision No.06/QĐ- TTg), lagal aid activities in criminal proceedings play a pivotal role in guaranteeing the right to defense, social fairness and the protection of human rights for vulnerable groups.*

This study aims to assess the current status of digital technology application in criminal legal aid, identify limitations, obstacles and propose solutions to promote comprehensive digital transformation, thereby enhancing the efficiency of access to justice in Vietnam.

2. **Research Methods:** *This article employs a combination of qualitative research methods, including: (i) Document analysis and synthesis of relevant legal frameworks such as the Criminal Procedure Code, the Law on Legal Aid and current digital transformation plans, alongside practical analysis based on legal aid performance reports; (ii) A comparative method contrasting traditional and digital models; (iii) And statistical method to comprehensively evaluate institutional, structural and infrastructural barriers.*

Keywords: *Legal, Criminal proceedings, digital transformation, access to justice, digital defense.*

ARTICLE CONTENT

1. Theoretical rationale and legal framework for Digital transformation in legal aid within criminal procedure

1.1. Concept, nature and characteristics of Digital transformation in criminal procedural legal aid

Digital transformation in criminal procedural legal aid represents a revolutionary and comprehensive shift encompassing management mindsets, operational processes, and methods of delivering legal services. This is achieved through the integration of advanced digital technologies, including Big Data, Artificial Intelligence (AI), electronic identification (e-ID), digital signatures, and centralized data management systems. This process spans the entire value chain of legal aid operations within criminal procedure: from the identification and intake of legal aid requests; verification of eligibility; assignment of Legal Assistants or Attorneys-at-law; collection and examination of case files; to defense representation and protection of legitimate rights before procedural agencies.

The core characteristics of digital transformation in this domain are interconnectedness, procedural transparency, and a beneficiary-centric approach. Unlike other public service sectors, legal aid in criminal proceedings directly impacts fundamental human rights, personal liberty, dignity, and property rights of protected persons. Consequently, digital transformation fosters an "open procedural ecosystem" where information between procedural agencies and legal aid organizations is transmitted instantaneously. This minimizes administrative errors and

eliminates the risk of overlooking vulnerable groups—an imperative trajectory in the digital era that aligns with Vietnam's contemporary judicial reform agenda[108].

1.2. The necessity of Digital transformation in criminal procedural legal aid

The necessity of digital transformation in criminal procedural legal aid stems from three foundational rationales:

(i) Specificities of criminal procedure

Criminal procedure represents the field of law with the highest level of state coercion[109]. From the moment an individual is accused, failure to provide timely access to legal aid services exposes the process to severe risks of procedural violations, extorted confessions, corporal punishment, or miscarriages of justice. Traditional manual communication and intake procedures are time-consuming and fail to meet the urgent imperatives of criminal proceedings.

(ii) Characteristics of legal aid beneficiaries

Legal aid beneficiaries designated by law primarily comprise the poor, ethnic minorities in remote areas, children, persons with disabilities, and persons with meritorious service to the revolution. These represent vulnerable social groups who often face limited legal literacy, financial constraints, and significant geographical barriers[110]. Digital transformation "democratizes" access to justice, enabling beneficiaries or their relatives to submit emergency defense requests seamlessly via mobile applications or online public service portals without incurring travel costs.

(iii) Requirements for judicial reform and sector modernization

Digital transformation in legal aid is an indispensable link in establishing E-Courts, E-Prosecution offices, and a Digital Government model. If procedural agencies undergo rapid digital transformation while legal aid organizations continue operating under conventional mechanisms, this operational divergence will create inter-agency bottlenecks, undermining the overall efficiency of the judicial system.

1.3. Legal and policy framework for Digital transformation in criminal procedural legal aid

The 2013 Constitution: Clause 4, Article 31 of the 2013 Constitution affirms: *"Persons arrested, held in temporary custody, detained, prosecuted, investigated, or brought to trial have the right to defend themselves or be defended by a defense counsel or another person."* This constitutes the supreme legal foundation guaranteeing equal access to legal services for all citizens, laying the groundwork for adopting technological tools—including digital technology—to secure procedural rights.

Law on Legal Aid (Law No. 05/2026/QH16): As the statutory pillar governing legal aid organization and practice, this Law expands the categories of eligible beneficiaries (Article 7), including: Persons with meritorious service to the revolution; biological parents, spouses, and children of martyrs, and persons who raised martyrs; Poor and near-poor households; Victims of Agent Orange; Persons with disabilities; Children; Ethnic minorities residing in areas with

---

[108] Nguyen Bich Thao (2023), *Institutionalization of E-Proceedings in Selected Jurisdictions and Recommendations for Vietnam*, Legislative Studies Journal, No. 08 (480), April 2023.)

[109] Tran Van Do (2021), *Guaranteeing the Human Rights of Defendants in Criminal Procedure*, https://lsvn.vn/bao-dam-quyen-con-nguoi-cua-bi-cao-trong-to-tung-hinh-su1632415354-a109481.html, accessed July 28, 2026).

[110] Huynh Tan Dat, Nguyen Thi Thu Hien (2026), *Legal Aid Activities for Vulnerable Groups in Ho Chi Minh City – Current Status and Solutions*, https://danchuphapluat.vn/hoat-dong-tro-giup-phap-ly-cho-nguoi-yeu-the-tren-dia-ban-thanh-pho-ho-chi-minh-thuc-trang-va-giai-phap-9094-9094.html&link=autochanger, accessed July 28, 2026).

exceptionally difficult socio-economic conditions; extremely small ethnic minority groups; Recipients of monthly social allowances who are elderly, victims of domestic violence, or living with HIV; Low-income workers who are accused persons or victims; Persons facing sudden hardship due to natural disasters or fires, receiving legal aid in matters directly related to mitigating the consequences of such events; Persons aged 16 to under 18 who are denounced, subject to prosecution requests, held in emergency custody, accused persons, victims, witnesses, individuals undergoing diversionary measures, or inmates under the Law on Juvenile Justice; Victims or suspected victims of human trafficking, and accompanying minors under 18 pursuant to the Law on Prevention and Combat of Human Trafficking; Damaged individuals who do not retain legal representatives under the Law on State Compensation Responsibility; Foreign nationals entitled to legal aid under international treaties to which the Socialist Republic of Vietnam is a signatory; Other legal aid beneficiaries as prescribed by law.

Criminal Procedure Code 2015 (amended and supplemented in 2021): The Code explicitly regulates the legal status, rights, and obligations of defense counsel and legal representatives of victims. Notably, the 2021 amendments, along with guiding legal documents, established a legal basis for online court hearings, remote interrogations, and digitized case file reviews. This serves as the direct operational framework for Legal Assistants and Attorneys to deploy defense skills in digital environments.

Joint Circular No. 10/2018/TTLT-BTP-BCA-BQP-BTC-TANDTC-VKSNDTC[111]*:* This is the premier regulatory document governing inter-agency coordination in legal aid among the Ministry of Justice, Ministry of Public Security, Ministry of National Defense, Ministry of Finance, Supreme People's Court, and Supreme People's Procuracy. It mandates procedural agencies to inform, notify, and forward legal aid eligibility data to State Legal Aid Centers, forming the legal basis for automated inter-agency data sharing platforms.

Prime Minister's Decision No. 749/QD-TTg dated June 3, 2020: Approving the *"National Digital Transformation Program through 2025, with Orientations to 2030"*, this Decision sets out directives for comprehensive digital transformation, developing Digital Government, Digital Economy, and Digital Society, with public service modernization and judicial reform as key pillars.

*Government's Project 06/CP***:** Project on *"Developing the application of population data, identification, and electronic authentication to serve national digital transformation during 2022–2025, vision to 2030"*. Project 06 delivers an unprecedented technical and regulatory breakthrough, permitting Legal Aid Centers to interface directly with the National Population Database via the VNeID application. Consequently, eligibility verification is executed instantly online, dispensing with paper-based certifications.

1.4. Significance of Digital transformation in criminal procedural legal aid

For persons eligible for legal aid:

Elimination of geographical barriers and reduction of social costs: Ethnic minorities in remote, border, or island regions involved in criminal matters no longer need to travel extensive distances to provincial centers to submit legal aid applications. Through Public Service Portals, mobile applications, or communal police assistance integrated with VNeID, requests are submitted within minutes.

Protection of rights at early procedural stages: Digital transformation empowers detainees, arrestees, or their relatives to lodge emergency defense requests. Instantaneous

[111] Joint Circular No. 10/2018/TTLT-BTP-BCA-BQP-BTC-TANDTC-VKSNDTC dated June 29, 2018, regulating coordination in conducting legal aid in procedural activities, https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Thu-tuc-To-tung/Thong-tu-lien-tich-10-2018-TTLT-BTP-BCA-BQP-BTC-TANDTC-VKSNDTC-tro-giup-phap-ly-trong-to-tung-394343.aspx, accessed August 29, 2026).

system notifications enable Legal Aid Centers to assign Legal Assistants promptly during initial interrogations and confrontations, preventing procedural violations.

Increased procedural transparency: Citizens can track case progress, identify their defense counsel, and evaluate service quality.

For legal assistants and participating attorneys:

Workflow optimization and time efficiency: By reducing manual administrative burdens, legal aid providers access digitized case files and conduct electronic transactions with procedural agencies efficiently.

Application of intelligent technologies in professional practice: Integrating AI and Big Data platforms enables legal aid providers to search statutory documents, retrieve precedent case law, analyze evidence, and draft defense arguments, elevating courtroom advocacy standards.

Operational agility: Digital competencies enable participation in remote hearings and flexible document review, increasing case capacity without compromising defense quality.

For state regulatory authorities and procedural agencies:

Seamless inter-agency connectivity: Establishing automated data-sharing mechanisms among Police, Procuracy, Court, and Legal Aid Centers pursuant to Joint Circular No. 10. When investigative authorities initiate proceedings against eligible defendants, automated system alerts prompt Legal Aid Centers to docket the case, preventing oversights caused by human error or delayed mail services.

Enhanced real-time governance and quality assurance: Supervisory authorities monitor case resolution progress on centralized software, enabling real-time detection of overdue cases, performance evaluations, and prevention of fraudulent case creations or double-dipping.

Establishment of a national legal aid database: Digitized data compiled from criminal legal aid cases forms a valuable database for judicial statistics, criminological analysis, and evidence-based policy formulation for future penal reforms.

2. Practical Realities of Legal Aid (2018–2024) in Vietnam

Operational results (2018–2024)

Legal aid operations have expanded steadily, accompanied by qualitative improvements in legal aid personnel and strengthened inter-agency coordination. Legal aid policies have been integrated into National Target Programs and aligned with national social security frameworks.

Between January 1, 2018, and December 31, 2024, a total of 234,569 legal aid cases were handled, comprising 93,266 legal consultations, 139,232 procedural representations, and 2,071 non-procedural representations[112]. Operational professionalism has improved, with case volume and quality subjected to strict oversight to enhance public satisfaction.

Limitations, Shortcomings, and Underlying Causes

Fragmented technical infrastructure and inadequate data Integration: While individual ministries (Justice, Public Security, Courts, Procuracy) maintain internal management systems, inter-agency data sharing in criminal procedure remains fragmented. Notifications are frequently transmitted via physical documentation. The absence of a "shared criminal procedural data axis" risks delays in defense counsel assignment during initial procedural phases.

[112] Ministry of Justice Review of the Legal Aid Development Strategy in Vietnam through 2020, Orientation to 2030, and the Legal Aid Reform Scheme 2015–2025.

Limited digital and E-Litigation skills: A subset of Legal Assistants and Attorneys, particularly in mountainous and remote regions, face difficulties processing digitized case files. Reliance on paper documents persists. Furthermore, proficiency in online litigation, virtual client consultations, and AI tools for precedent retrieval and electronic evidence extraction remains uneven.

A significant digital divide among beneficiaries: Legal aid beneficiaries—predominantly poor, disabled, or vulnerable individuals—face severe technology access barriers. Many lack smart devices, internet connectivity, or digital literacy to navigate public service portals or the VNeID application. This creates a new barrier, forcing continued reliance on in-person filings or intermediaries.

Information security and criminal data privacy risks: Criminal proceedings involve sensitive information subject to investigative secrecy, personal privacy, and attorney-client privilege. Uploading case files to digital environments introduces risks of data leaks or cyberattacks if local Legal Aid Centers lack adequate cybersecurity infrastructure.

Contemporary Requirements and Challenges

Imperative for deep integration with the national population database (Project 06): Core priorities require automated data sharing between Legal Aid Management Software, the National Population Database, and VNeID. This automates eligibility verification, eliminates paper certification requirements, and provides immediate access to legal aid services.

Preserving defense rights and adversarial principles in criminal procedure: Technology must remain an auxiliary tool without altering the core nature of criminal proceedings. A primary challenge is ensuring that technological integration does not impair defense rights, direct attorney-client communications, or public, face-to-face adversarial proceedings due to technical disruptions.

Risks of personal data breaches and investigative confidentiality leakage: Managing sensitive criminal case data online presents risks to information security. System breaches directly compromise ongoing investigations, as well as the rights and reputations of involved parties.

3. Measures to enhance Digital transformation in criminal procedural legal aid

Institutional and Policy Framework:

Review, amend, and supplement provisions within the Criminal Procedure Code and the Law on Legal Aid to formally recognize the legal validity of electronic evidence, digital case files, e-procedural documents, and digital signatures. The Ministry of Justice should collaborate with the Ministry of Public Security, Supreme People's Procuracy, and Supreme People's Court to promulgate an Inter-Agency Regulation on Data Sharing in Criminal Procedure, establishing automated notification transfers upon case initiation.

Technology and Infrastructure Development:

Develop dedicated smartphone applications allowing citizens or relatives to submit "emergency defense requests" with a single action, track case progress, and communicate with assigned Legal Assistants. Integrate AI into Legal Aid Case Management Software to assist providers with legal research, case file analysis, precedent extraction, and automated document generation. Finalize integration and authentication between Legal Aid Case Management Systems and the National Population Database via VNeID, ensuring 100% automated eligibility verification.

Human Resources and Capacity Building (Digital Literacy):

Organize specialized training programs on digital procedural skills, focusing on collecting, evaluating, and preserving electronic evidence; conducting online trials; interacting with defendants digitally; and executing cybersecurity measures. Enhance legal aid outreach across social media platforms and local news outlets through concise instructional videos for remote populations. Construct national-standard information security protocols for Legal Aid Databases, implementing data encryption, Multi-Factor Authentication (MFA), and specialized firewalls to safeguard investigative confidentiality and personal privacy.

CONCLUSION

Digital transformation in criminal procedural legal aid extends beyond applying IT tools to administrative tasks; it represents a strategic transformation of governance, operational workflows, and access to justice. In criminal proceedings—where human liberty, life, dignity, and property rights are directly at stake—digital technology "democratizes" legal access, bridges geographical divides, and safeguards defense rights for vulnerable individuals.

Vietnam's legal framework—encompassing the Constitution, Law on Legal Aid, Criminal Procedure Code, and national strategic projects—provides a functional foundation for this transition. Initial outcomes in deploying centralized management software, delivering online public services, and facilitating virtual trials validate this strategic direction. Advancing digital transformation in criminal procedural legal aid serves as a vital catalyst for building a professional, modern, equitable, and strict judicial system in Vietnam, fulfilling the objectives of judicial reform and the rule of law in the digital era.

REFERENCES

1. The 2013 Constitution (amended and supplemented in 2025).
2. The Criminal Procedure Code of Vietnam 2015 (amended and supplemented in 2021, 2024, and 2025).
3. Law on Legal Aid 2017 (amended and supplemented in 2026).
4. Joint Circular No. 10/2018/TTLT-BTP-BCA-BQP-BTC-TANDTC-VKSNDTC, dated June 29, 2018, regulating coordination in conducting legal aid in procedural activities.
5. Ministry of Justice, *Review of the Implementation of the Legal Aid Development Strategy in Vietnam through 2020, Orientation to 2030, and the Legal Aid Reform Scheme 2015–2025*.
6. Huynh Tan Dat, Nguyen Thi Thu Hien (2026), *Legal Aid Activities for Vulnerable Groups in Ho Chi Minh City – Current Status and Solutions*.
7. Tran Van Do (2021), *Guaranteeing the Human Rights of Defendants in Criminal Procedure*.
8. Nguyen Bich Thao (2023), *Institutionalization of E-Proceedings in Selected Jurisdictions and Recommendations for Vietnam*, Legislative Studies Journal, No. 08 (480), April 2023.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

GROWTH PERFORMANCE OF RABBIT BUCKS ADMINISTERED AQUEOUS EXTRACT OF *IPOMOEA BATATAS* LEAVES

OBINNA, Amarachi Linda
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Nigeria, Nsukka
ORCHID ID: 0009-0001-2068-5452
MACHEBE, Ndubuisi Samuel
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Nigeria, Nsukka
ORCHID ID: 0000-0001-9603-8107;

ABSTRACT
A total of 84 healthy rabbit bucks with an average initial body weight of 1,440.10 ± 78.72 g were randomly allotted to four treatments in a completely randomized design, each comprising 21 rabbits replicated three times (seven rabbits/replicate). Rabbits received graded levels of aqueous *Ipomoea batatas* leaf extract via drinking water at 0 (T1, control), 100 (T2), 150 (T3) and 200 (T4) mL/L, and growth performance was evaluated over 8 weeks. Parameters measured included initial body weight (IBW), final body weight (FBW), total weight gain (TWG), average daily weight gain (ADWG), total feed intake (TFI), average daily feed intake (ADFI) and feed conversion ratio (FCR). IBW was similar ($P > 0.05$) across treatments, confirming uniformity at the start of the trial. Extract administration significantly ($P < 0.001$) influenced FBW, TWG, ADWG, TFI, ADFI and FCR. Rabbits in T3 and T4 recorded the highest and statistically comparable FBW (3,298.03 and 3,807.21 g), TWG (1,857.76 and 2,367.61 g) and ADWG (33.17 and 42.28 g/day), all significantly higher than T2 and the control. FCR improved progressively with extract level, with T3 (2.21) and T4 (1.92) recording the best and statistically similar feed efficiency, versus 5.87 in the control. Feed intake was highest in T4 (4,540.71 g TFI; 81.08 g/day ADFI) and lowest in T3. It was concluded that aqueous *I. batatas* leaf extract, especially at 150–200 mL/L, enhanced growth performance and feed efficiency in rabbit bucks and could serve as a low-cost, locally available natural growth promoter for sustainable rabbit production.

Keywords: *Ipomoea batatas*, aqueous leaf extract, rabbit bucks, feed conversion ratio, phytogenic feed additive.

INTRODUCTION
Due to rising concerns about antimicrobial resistance, the limitations on the use of antibiotic growth promoters and the consumer demand for animal products produced using natural feed additives, there is a growing concern on the use of medicinal plants and phytogenic feed additives. It is reported that plant derived bioactive compounds can improve feed utilization, gut health, appetite stimulation, immune function and oxidative stress, thereby enhancing growth performance and overall productivity of the animals (Pan et al., 2022). These factors have inspired researchers to explore the indigenous plants available which are cheap, plentiful, and have a high content of bioactive compounds. Ipomoea batatas (L.) Lam (sweet potato) is one of such plants which has a great potential in livestock production. The storage roots are extensively consumed by human beings while the leaves are rarely used because of their exceptional nutritional and medicinal values. Sweet potato is grown on a wide scale in tropical and sub-tropical areas, notably Nigeria, is well adapted to a variety of agroecological conditions and is widely available during much of the year. *I. batatas* are easily cultivated, has a fast vegetative growth rate, is drought-tolerant and is relatively low in production cost, making it an attractive and sustainable plant resource to be used in animal feeding programmes (Chauhan et al., 2021; Makhubu et al., 2024). The leaves of *I. batatas* are high in crude protein, essential

amino acids, dietary fibre, vitamins A, C and E, and valuable minerals like calcium, potassium, magnesium and iron. Besides, they contain several bioactive phytochemicals such as flavonoids, phenolic compounds, carotenoids, alkaloids and tannins, which have antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and immunomodulatory properties (Osuntokun et al., 2020; Noreen et al., 2024). These phytochemicals can neutralize ROS, preserve cell integrity, facilitate nutrient metabolism and help ensure proper functioning of nutritional functions that play a crucial role in optimal growth and health of livestock. In addition to nutritional benefits, sweet potato leaves have been linked to a variety of biological activities which could support enhanced animal performance. Their antimicrobial properties can support a balanced intestinal microbiome, promoting better digestion and nutrient absorption, and their antioxidant activity helps to reduce oxidative stress on tissues. Better gut health can result in better feed efficiency and growth rate, especially for growing rabbits in which the gut's microbial ecosystem in the caecum is critical. In addition, the rich mineralogical composition of the leaves can help the metabolism related to muscle growth, immune function, and general productivity (Lal et al., 2020; Burgos et al., 2020). In recent years, several studies have evaluated the incorporation of the sweet potato leaves or vines into the diets of livestock, where an increase in feed intake, digestibility of nutrients, growth performance and carcass characteristics have been improved in rabbits, poultry and ruminants. Most of these research studies however have been directed towards the inclusion of dried or fresh leaves as ingredients in feed formulations. Very few reports are available regarding the administration of aqueous extracts of I. batatas leaves, which could result in a higher bioavailability of water-soluble bioactive compounds with a reduced effect of dietary fibre. This may then offer important information for alternative methods by which this abundant plant resource can be used in the production of the rabbit. Also, the use of aqueous extracts is consistent with the growing interest in finding simple, low cost and environmentally friendly solutions that can easily be scaled up by farmers with limited resources. The sweet potato leaves are commonly wasted post- harvest or not used efficiently, so using them in the form of aqueous extract will provide an opportunity to increase the added value of an agricultural by-product and decrease feeding costs (Chang & Woo, 2025). This helps in the efficient utilization of local plant materials and minimizes the use of imported feed additives which in turn helps in achieving sustainable livestock production. Although *I. batatas* are widely cultivated and nutritious plant in Nigeria, very limited information is available on effects of the aqueous extract of the leaves of I. batatas on growth performance of rabbit bucks. Obtaining scientific evidence of its growth promoting properties will help develop natural, safe and cost-effective feed supplements that can help enhance rabbit productivity in tropical production systems. This study was thus conducted to assess the growth performance of rabbit bucks fed with aqueous extract of Ipomoea batatas leaves.

MATERIALS AND METHODS

Experimental Site

The experiment was carried out in the Rabbit Unit, Department of Animal Science Teaching and Research Farm, University of Nigeria, Nsukka, Enugu State, Nigeria. This experiment was conducted for eight weeks.

Design and management of experimental animals

The total 84 healthy rabbit bucks with an average initial body weight of 1,440.10 ± 78.72 g were used for the study. The rabbits were bought from the Rabbit Unit of the Department of Animal Science, Teaching and Research Farm, University of Nigeria, Nsukka. All rabbits were kept singly in well-ventilated wire-mesh hutches, and fed a standard rabbit concentrate diet with clean drinking water ad libitum during the experimental period. The rabbits were randomly allotted to four treatment groups in a completely randomized design (CRD). 21 rabbit bucks

were used for each treatment and each treatment was replicated three times, using seven rabbits per replicate. To prepare and administer the Ipomoea batatas Leaf Extract.

Preparation and Administration of *Ipomoea batatas* Leaf Extract:

The leaves of the Ipomoea batatas were fresh cut from the Crop Science Farm, University of Nigeria, Nsukka. Adhering dirt was washed off the leaves with clean water and the leaves were air-dried in shade to preserve phytochemical constituents. The dried leaves were ground in a laboratory hammer mill to fine powder. The leaf powder was milled and then 100 g of the powder was soaked in 1,000 mL of warm water to prepare the aqueous extract. The mixture was left to stand for 1 hr. extraction and filtered through clean muslin cloth and Whatman No. 1 filter paper to get the filtrate. The extract was added to the drinking water at the following inclusion levels: The drinking water levels of T1: 0 mL extract/L of drinking water (Control); T2: 100 mL extract/L of drinking water; T3: 150 mL extract/L of drinking water; and T4: 200 mL extract/L of drinking water were used.

Growth Performance Evaluation

Each rabbit was weighed at the start of the experiment and weekly after that until the end of the study. Feed offered and feed refusals were noted daily in order to determine feed consumption. Initial body weight (IBW), final body weight (FBW), total weight gain (TWG), average daily weight gain (ADWG), total feed intake (TFI), average daily feed intake (ADFI), and the feed conversion ratio (FCR) were measured as growth performance parameters. Total weight gain was defined as the weight difference between the end and the beginning of the experiment and average daily weight gain was determined by dividing the total weight gain by the number of days for the experiment. Feed conversion ratio was determined by dividing the amount of feed consumed (total feed) by the amount gained (total weight gain).

Statistical Analysis

Data collected were analyzed by one way analysis of variance (ANOVA) in the General Linear Model procedure for a completely randomized design. When significant treatment effects were found, the means were separated by Duncan's Multiple Range Test (1955). $P < 0.05$ was considered statistically significant.

RESULTS

The growth performance of rabbit bucks administered aqueous extract of *Ipomoea batatas* leaves is presented in Table 1.

Table 1. Growth performance of rabbit bucks administered aqueous extract of *Ipomoea batatas* leaves

PARAMETERS	IBW	FBW	TWG	ADWG	TFI	ADFI	FCR
T1	1439.93	2173.77^{c}	733.84^{c}	13.10^{c}	4305.83^{b}	76.89^{b}	5.87^{a}
T2	1440.60	2746.60^{b}	1306.00^{b}	23.32^{b}	4449.17^{ab}	79.45^{ab}	3.41^{b}
T3	1440.26	3298.03^{a}	1857.76^{a}	33.17^{a}	4099.17^{c}	73.20^{c}	2.21^{c}
T4	1439.60	3807.21^{a}	2367.61^{a}	42.28^{a}	4540.71^{a}	81.08^{a}	1.92^{c}
SEM	78.72	7.42	81.87	1.50	53.12	1.20	0.10
P-VALUE	1.00^{NS}	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**	0.001**

$^{a, b, c, d}$ Means within the same column with different superscripts differ significantly (P < 0.01.). T1: control; T2: 100 mL extract/L; T3: 150 mL extract/L; T4: 200 mL extract/L**

IBW = Initial body weight; FBW = Final body weight; TBWG = Total body weight gain; ADWG = Average daily weight gain; TFI = Total feed intake; ADFI = Average daily feed intake; FCR = Feed conversion ratio

Initial body weight (IBW) was not significantly ($P < 0.001$) affected while final body weight (FBW), weight gain (TWG), Average daily weight gain (ADWG) and total feed intake (TFI) was significantly affected. Rabbits in T4 attained the highest FBW (3,807.21 g), followed by T3 (3,298.03 g), T2 (2,746.60 g), while the control group (T1) recorded the lowest value (2,173.77 g). The weight gain was highest in T4, with the weight gain of the rabbit bucks in T4 being more than a threefold increase than that of the control group (2,367.61 g vs. 733.84 g). Increased levels *of I.batatas* leaf extract resulted in greater growth performance with intermediate values recorded in T3 (1,857.76 g) and T2 (1,306.00 g). The same trend was observed in Average daily weight gain (ADWG) which rose significantly ($P < 0.001$) from 13.10 g/day in the control group to 42.28 g/day in T4. The improvement in daily gain trend of the treatment groups also indicates the growth promoting effect of the aqueous extract of the leaves. The highest feed intake was recorded by the rabbits in T4 while the lowest feed intake was recorded by the rabbits in T3. Average daily feed intake (ADFI) was significantly different ($P < 0.001$) where T4 showed highest ADFI of 81.08 g/day and T3 showed the lowest ADFI of 73.20 g/day. The FCR of the aqueous extract was significantly improved. Rabbits fed T4 had the best feed conversion ratio (1.92) while the worst was feed efficiency (5.87) for the control rabbits. The feed efficiency of the treatments T2 (3.41) and T3 (2.21) was also better than that of the control, thus suggesting the rabbit bucks fed with the extract converted feed into body weight more efficiently.

DISCUSSION

In the present study it was concluded that the aqueous extract of Ipomoea batatas leaves had a positive effect on growth performance of rabbit bucks. Homogeneity of the initial body weight of the rabbits confirmed at the start of the experiment ensured that the differences in growth performance were due to the dietary treatment and not because of the differences in initial weight of the animals. As the dosage of Ipomoea batatas leaf extract increased, the final body weight, total weight gain and average daily gain were increased which was attributed to the ability of the extract to enhance growth and nutrient utilization in the rabbit bucks. The extract showed dose dependent growth promoting effect with 200 mL/L of drinking water having the maximum final body weight and weight gain. The improvement could be due to the nutritional profile of the leaves of I. batatas which are rich in protein, amino acids, vitamins, minerals, and various bioactive phytochemical compounds, including flavonoids, phenolic compounds and carotenoids, which have appreciable quantities (Chauhan et al., 2021; Pan et al., 2022). The bioactive molecules are known to have antioxidant and antimicrobial activities that can have beneficial effects on intestinal health and increase nutrient availability, digestive efficiency, and overall growth performance. The weight gain was significantly greater in the extract feed groups than in the control feed group, while there was very little difference in total feed consumption among the groups. The results show that the growth improvement was not only because of the higher feed intake, but also because of the higher utilization rate of the feed. Improvements in digestive enzyme activity, gut morphology and beneficial modification of gut microflora have been reported, leading to enhanced nutrient digestibility and animal performance with the application of phytogenic feed additives (Chang & Woo, 2011). The higher average daily feed consumption seen in treated groups could be due to enhanced consumption of the treated diets or to better metabolic efficiency of the phytochemicals in the *I. batatas* leaves. The higher the levels of the aqueous extract added, the better the FCR, and the rabbits in T4 had the lowest FCR. Feed conversion ratio (FCR) is an important measure of economic performance in rabbit production and it is a measure of the efficiency of converting feed into body weight gain. The significant decrease in FCR found in this study indicates in the process of nutrient assimilation and metabolic efficiency were improved by I. batatas leaf

extract. This could involve the antioxidant activity of flavonoids and phenolics which decrease oxidative stress and preserve cell integrity so that nutrients may be used more efficiently for tissue growth than for sustaining physiological homeostasis (Makhubu et al., 2024). The overall increase in growth performance noted in the current study is consistent with earlier reports that S. leaves have significant nutritional and functional characteristics that can be utilized in livestock production. The leaves are described as a good source of nutrients and natural antioxidants, and they could be used as an alternative to phytogenic feed in rabbit production (Noreen et al., 2024). The results also validate the current interest in the use of readily available medicinal plants as suitable alternatives to the use of synthetic growth promoters which are expensive, harmful to the animal and the environment.

CONCLUSION

The results of this study showed that the administration of aqueous extract of Ipomoea batatas leaves had a positive effect on growth performance of the rabbit bucks. The rabbits treated with the extract showed significantly higher final body weight, total weight gain, average daily weight gain and feed conversion ratio than the control group. This positive response was greatest for the rabbits given 200 mL of extract per litre of drinking water, suggesting that this treatment was the most effective of the treatments tested. The observed benefits in growth performance are expected to be due to the nutritional and bioactive properties of *Ipomoea batatas* leaves that could have increased the utilization of nutrients and feed efficiency. Thus, aqueous extract of *I. batatas* leaves is a potentially effective natural growth promoter for rabbit production due to its low cost, locally available and environment friendly availability. Additional studies are suggested to assess its persistence on health, reproductive performance, carcass characteristics and economics in commercial production systems.

REFERENCES

Burgos, G., Zum Felde, T., Andre, C., & Kubow, S. (2020). The potato and its contribution to the human diet and health. In *The potato crop: Its agricultural, nutritional and social contribution to humankind* (pp. 37-74). Cham: Springer International Publishing.

Chang, Y. P., & Woo, K. K. (2025). Bioactive Phytochemicals from Sweet Potato By-products. *Bioactive Phytochemicals in By-products from Leaf, Stem, Root and Tuber Vegetables*, 219-248.

Chauhan, V. B. S., Behera, S., Pati, K., Bansode, V. V., & Nedunchezhiyan, M. (2021). Breeding for drought tolerance in sweet potato (Ipomoea batatas L.). *Recent advances in root and tuber crops*, 65-87.

Duncan, D. B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *biometrics*, *11*(1), 1-42.

Lal, M. K., Kumar, A., Kumar, A., Jena, R., Raigond, P., Kumar, D., Thauk, N & Singh, B. (2020). Minerals in potato. In *Potato: nutrition and food security* (pp. 87-112). Singapore: Springer Singapore.

Makhubu, F. N., Laurie, S. M., Rauwane, M. E., & Figlan, S. (2024). Trends and gaps in sweet potato (Ipomoea batatas L.) improvement in sub-Saharan Africa: Drought tolerance breeding strategies. *Food and Energy Security*, *13*(3), e545.

Noreen, S., Niazi, M. K., Shehzadi, S., Ikram, A., Arshad, M. T., & Gnedeka, K. T. (2024). Extend the emphasis to encompass sweet potatoes health advantages, industrial applications, and nutritional qualities. *CyTA-Journal of Food*, *22*(1), 2390994.

Osuntokun, O. T., Yusuf-Babatunde, M. A., & Fasila, O. O. (2020). Components and bioactivity of Ipomoea batatas (L.)(sweet potato) ethanolic leaf extract. *Asian J. Adv. Res. Rep*, *10*(1), 10-26.

Pan, S., Yan, J., Xu, X., Chen, Y., Chen, X., Li, F., & Xing, H. (2022). Current development and future application prospects of plants-derived polyphenol bioactive substance curcumin as a novel feed additive in livestock and poultry. *International Journal of Molecular Sciences*, *23*(19), 11905.

HEPATOCELLULAR CARCINOMA MORTALITY TRENDS IN ALBANIA: INVESTIGATING THE PROTECTIVE EFFECTS OF THE MEDITERRANEAN DIET IN A HYPERENDEMIC HBV REGION

Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD
Division of Physiology, Department of Biomedical and Experimental Sciences, Faculty of Medicine, University of Medicine Tirana, Albania
University Clinic of Gastro-Hepatology, University Hospital Center "Mother Teresa", Dibra Street 371, 1001, Tirana, Albania
ORCID ID: 0000-0001-7685-8394.

ABSTRACT

Background: While hepatocellular carcinoma (HCC) mortality is rising globally, localized successes in reducing mortality are typically tied to Hepatitis B virus (HBV) vaccination and Hepatitis C virus (HCV) treatments. Albania remains the highest HBV-endemic country in Europe, despite vaccination efforts reducing HBsAg prevalence from 18% to 9%. This study aims to investigate the "Albanian paradox"—an unexpectedly low and declining HCC mortality rate in a hyperendemic HBV region.

Methods: We have analyzed official Albanian death certification data for liver cancer (ICD-9 code: 155.0) for five consecutive years. Age-standardized mortality rates per 100,000 persons were calculated overall, by sex, and across age groups (20–49, 50–69, and 70–79 years). The annual percent change (APC) was computed using regression analysis to identify trends over the five years.

Results: HCC mortality rates fell from 5.4 per 100,000 in 2006 to 4.2 per 100,000 in 2010. This represents an overall decline of -8.3% (APC), though it did not reach statistical significance ($p = 0.23$). Similar downward trends were observed in both men (APC = -7.6%) and women (APC = -8.1%). A statistically significant decrease in HCC mortality was observed in the youngest age group (20–49 years; APC = -18.8%, $p < 0.05$$). Middle-aged (50–69 years; APC = -4.6%) and older cohorts (70–79 years; APC = -7.5%) showed downward trends that were not statistically significant.

Conclusion: Albania exhibits a unique epidemiological paradox: despite high HBV endemicity, its HCC mortality rates remain low and comparable to European countries with low HBV prevalence. The most plausible explanation for this protective effect is the widespread adherence to a traditional Mediterranean diet (characterized by high consumption of fruits, vegetables, and carbohydrates, alongside low intake of meat, milk products, and total energy). The findings suggest that powerful dietary and lifestyle protective factors can significantly mitigate the oncogenic risks of endemic viral hepatitis.

Keywords: hepatocellular carcinoma, Hepatitis B virus, Albania

E-GOVERNANCE AND INSTITUTIONAL PERFORMANCE IN NIGERIA'S PUBLIC SECTOR: A STUDY OF THE OGUN STATE MINISTRY OF EDUCATION, SCIENCE AND TECHNOLOGY

Stephen Oluwatosin KAZEEM
Federal Polytechnic Ilaro, Department of Public Administration, Ogun State, Nigeria.

ABSTRACT
E-governance has emerged as a key part of the global public sector reform agenda, providing avenues for improved administration, transparency and delivery of services. This study looks at the impact of e-governance on the effectiveness of institutions in the Ogun State Ministry of Education, Science and Technology, Nigeria. Quantitative research design was followed and 152 administrative and technical staff was selected using stratified random sampling technique. Descriptive statistics, Pearson correlation analysis and multiple regression analysis were used to analyse the data. The findings indicate that the effectiveness of the institution significantly influenced by ICT infrastructure, e-governance system, staff digital skills/skills automation and that these four factors explains 53% of the variance in the effectiveness of the institution. E-governance systems emerged as the strongest predictor ($\beta = 0.37$, $p < 0.001$), followed by process automation ($\beta = 0.32$, $p < 0.001$). However, there are several recurring issues like the unreliable power supply, weak ICT facilities, less provision of staff training for the use of ICTs and failure to use ICTs optimally. The study outcome indicates that e-governance has the potential to be a great enabler to the institutional efficiency in the Ministry, but this can only be achieved if the infrastructural weakness and human resource crunch in the ministry is resolved. To optimise the benefits of the digital governance reforms in Nigeria's public sector, strategic investments in the power supply, all-round staff development programmes and improved ICT infrastructure have been recommended.

Keywords: E-Governance, Digital Transformation, Institutional Effectiveness, Public Service Delivery, Ogun State Ministry of Education

FIRST-PRINCIPLES INVESTIGATION OF THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF $TL_{1-x}B_xP$ ALLOYS USING THE MBJ-GGA METHOD WITH SPIN–ORBIT COUPLING

Abed zoulikha
Applied Materials Laboratory, Research Center, Sidi Bel Abbes University, 22000, Algeria
Lachabi Abdelhadi
Applied Materials Laboratory, Research Center, Sidi Bel Abbes University, 22000, Algeria
Laid Abdelali
Applied Materials Laboratory, Research Center, Sidi Bel Abbes University, 22000, Algeria
Malki Faiza
Laboratory for the reliability of petroleum equipment and materials, University of Boumerdes, Algeria
Abid Hamza
Applied Materials Laboratory, Research Center, Sidi Bel Abbes University, 22000, Algeria
. ORCID iD: https//orcid.org/0009-0007-4824-1099

Abstract: In this work, the optical properties of the novel ternary alloy $Tl_{1-x}B_xP$ ($0 < x < 1$) crystallizing in the zinc blende structure are comprehensively investigated using first-principles calculations within the framework of density functional theory (DFT). The electronic structure, which forms the basis for the optical calculations, is described using the modified Becke–Johnson generalized gradient approximation (mBJ-GGA), while spin–orbit coupling (SOC) is explicitly incorporated to accurately account for the strong relativistic effects induced by the heavy thallium atom. This computational approach provides an improved description of the electronic band structure and enables a reliable prediction of the optical response over a wide photon-energy range. The optical behavior of $Tl_{1-x}B_xP$ alloys is systematically characterized through the calculation of the frequency-dependent complex dielectric function, including both its real and imaginary components, from which several important optical constants are derived. These include the refractive index, extinction coefficient, reflectivity, absorption coefficient, optical conductivity, and electron energy-loss function. The evolution of these optical parameters is analyzed as a function of boron concentration to clarify the influence of alloying on the electronic transitions governing the interaction between electromagnetic radiation and the material. The calculated optical spectra reveal a pronounced composition-dependent behavior throughout the investigated energy range. Progressive substitution of Tl by B significantly modifies the electronic states near the valence- and conduction-band edges, resulting in substantial changes in the intensity, position, and shape of the interband transition peaks. Consequently, the dielectric response and all derived optical constants exhibit systematic variations with increasing boron concentration. In particular, the static dielectric constant and refractive index are found to decrease as the boron content increases, reflecting the modification of the electronic polarizability of the alloy. Simultaneously, the absorption edge shifts according to the evolution of the electronic structure, while the optical conductivity and reflectivity display noticeable composition-dependent changes that are directly associated with the redistribution of the electronic density of states. The inclusion of spin–orbit coupling introduces additional splitting of the electronic bands, particularly in the vicinity of the valence-band maximum, leading to subtle but observable modifications in the low-energy optical spectra. Although SOC slightly affects the position and intensity of several optical transitions, the overall optical behavior of the alloys remains preserved, confirming that the principal optical characteristics are predominantly governed by the alloy composition rather than relativistic

effects alone. Overall, the present first-principles investigation demonstrates that the optical properties of $Tl_{1-x}B_xP$ alloys can be effectively tuned through compositional engineering. The strong dependence of the dielectric response, refractive index, absorption coefficient, reflectivity, optical conductivity, and energy-loss spectra on boron concentration suggests that these materials constitute promising candidates for future optoelectronic and photonic applications, including visible- and ultraviolet-light detectors, optical coatings, photonic components, and high-performance semiconductor devices operating over a broad spectral range.

Keywords: $Tl_{1-x}B_xN$ alloys, Optical properties, Dielectric function, Spin–Orbit Coupling (SOC), Refractive index

THE ISLAMIC CONCEPT OF GLOBAL PEACE: FOUNDATIONS AND PRACTICAL IMPLICATIONS

Associate Professor Dr. Naseem Akhter
Department of Islamic Studies
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Peshawar, Pakistan

Abstract
The study of building capacities for sustainable peace has emerged in the aftermath of politics and war in the world, increasing polarization and/or crises around religion, and human rights concerns. In most cases, the concept of conflict is related to Islamic religion rather than to the more subtle idea of peace. This study explores the Islamic perspective on peace and its theological, ethical and legal roots, as well as its relevance and applicability in the modern international society. The method used in this research is the qualitative library method. The sources of the research materials are the Islamic literature in the form of the Qur'an, Sunnah, classic Islamic literature and contemporary Islamic literature to obtain the principles of peaceful coexistence, justice, human dignity, reconciliation and international cooperation. The study brings the point into focus that peace in Islam is not just absence of armed warfare, but is a state of peace in which justice, moral accountability, safeguarding of human rights, and respect for differences are observed. It also clearly shows how these principles are being applied in other facets of conflict prevention, interfaith relations, humanitarian action and global governance in a more interdependent world. The study contributes to existing discussions on peace studies and international ethics through the creation of a unified approach to Islamic peacebuilding and offers policymakers, educators and religious leaders meaningful recommendations and ideas on how to develop a value-laden discussion of sustainable peace.
Keywords: Global Peace; Islamic Peacebuilding; Justice; Human Dignity; Interfaith Relations; International Ethics

RELIGION AND SOCIAL CHANGE IN MUSLIM SOCIETIES: A RELIGIOUS AND SOCIOLOGICAL ANALYSIS

Associate Professor Dr. Naseem Akhter
Department of Islamic Studies
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Peshawar, Pakistan

Abstract
Urbanisation, globalization, technological advances, migration, expanding education and shifting political and economic landscapes have brought about social change in Muslim societies. These changes have brought about new challenges and opportunities of religious authority, identity, family and social cohesion. This research aims to explore the relationship between religion and social change and thus combines Islamic scholarship with sociological viewpoints. The research follows a qualitative library-based approach to investigate the relationship between Islamic values and the changing social realities, by analyzing the classical sources of Islam, the modern theories of sociology and the latest academic literature. The study indicates that Islam is not just resisting nor influenced by social changes. Rather, Islamic teachings provide a set of moral principles that are timeless and can help shape the transformation of Muslim societies without altering their moral character and ensuring social stability. The analysis shows that in various Muslim settings, religious institutions, scholars and ethical frameworks still influence the reactions to modernization, digital communications, gender relations and civic involvement. This study contributes to the ongoing debate by proposing that a multi-disciplinary analysis (religious and sociological), might be required to gain a better understanding of continuity and change within Muslim societies. It ends with a conclusion that sustainable social development of Muslim communities calls for a balance between timeless values and contextually appropriate responses to the social challenges that are newly arising in Muslim communities.
Keywords: Religion; Social Change; Muslim Societies; Islamic Sociology; Modernization; Religious Authority

AI DRIVEN DESIGN EVOLUTION: CATALYZING FOR ARCHITECTURAL DESIGN DEVELOPMENT AND UNLOCKING BUSINESS OPPORTUNITIES

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Ar. Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem
Assistant Professor, Dept. of Architecture, NFC IET, Multan.
Muhammad Usman
Civil & Environmental Engineer, Researcher & Designer, GCUF, Faisalabad. Pakistan.

ABSTRACT
There are new and exciting dimensions of structuring our buildings as a result of the integration of artificial intelligence (AI) in architectural design. This change does not enhances the values of creativity but also promotes smart working on processes, opening possibilities of invention and effectiveness. With the help of AI algorithms, architects can massively increase the actual number of calculations to look for patterns and trends that can form the basis for a more informed architectural decision-making process. This phenomena gives way to new business avenues in smart working of design industry and welcoming new arenas for business development through freelance, online and entrepreneurship integration. The research explores the potential of these new dimensions through advancements in AI integration in architectural design process through expanding their ability to offer more value to their business partners and innovate clients' interaction. The research opted for mixed method approach using both qualitative and quantitative data for analysis from modern day and young architects towards challenges, opportunities and business avenue potential in AI for design industry. Purposive sampling consisting of above 100 young designers was used. The results show promising outcomes and anticipate strong future utilization and optimization of processes, quality and output. However it also highlighted challenges of transformation, adoption, technology gaps, communication challenges and enhancement through evolution. The research contributes to the existing body of knowledge through future direction and dimensions for AI potential positive usage in the architecture and design industry.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Architecture, Design, AI in Architecture, Design Innovation, Business Opportunities.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

HUMAN FACTORS IN NEXT-GEN IT FRAMEWORKS: TRANSLATING CRYPTOGRAPHIC SECURITY METRICS INTO ACCESSIBLE ORGANIZATIONAL COMMUNICATION PRACTICES

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Samuel Olayiwola AJAGA
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Olajuwon Victor OLAYINKA
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Victor Oluwapelumi OGONGO
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract
The rapid evolution of next-generation information technology (IT) infrastructures has introduced increasingly sophisticated cryptographic mechanisms to safeguard organizational information assets against emerging cyber threats. Despite continuous advancements in encryption algorithms, zero-trust architectures, post-quantum cryptography, and adaptive security frameworks, many organizations continue to experience cybersecurity incidents attributable not only to technical vulnerabilities but also to deficiencies in human understanding and communication of security concepts. Cryptographic security metrics, including encryption strength, key entropy, and certificate trust scores, vulnerability severity indices, and authentication assurance levels, are often presented using highly technical terminology that remains inaccessible to non-technical stakeholders responsible for organizational decision-making. This disconnect creates communication gaps that undermine effective cybersecurity governance, employee compliance, and enterprise-wide security culture. This paper investigates the role of human factors in translating cryptographic security metrics into understandable organizational communication practices that support informed decision-making across technical and non-technical audiences. Drawing upon contemporary literature in cybersecurity, human-computer interaction, risk communication, organizational behaviour, and usable security, the study synthesizes current knowledge on cognitive load, security usability, visualization techniques, security awareness, and explainable cybersecurity. A conceptual research methodology based on systematic literature synthesis and statistical simulation was employed to evaluate relationships among communication clarity, employee comprehension, security compliance, and organizational resilience. Generated analytical results indicate that organizations implementing simplified security communication frameworks achieved approximately 33.8% higher employee comprehension, 27.4% greater policy compliance, and 24.9% fewer human-related security incidents compared with organizations relying solely on technical cryptographic reporting. The findings emphasize that effective cybersecurity increasingly depends upon integrating human-centered communication principles with advanced cryptographic technologies. The study concludes that translating complex security metrics into accessible organizational language represents a strategic capability essential for improving cybersecurity awareness, governance effectiveness, and organizational resilience in next-generation digital environments.
Keywords: Cryptographic Security; Human Factors; Organizational Communication; Usable Security.

INTRODUCTION

The increasing digital transformation of modern organizations has significantly expanded the complexity of information technology (IT) infrastructures, making cybersecurity an essential component of organizational sustainability. Contemporary enterprises increasingly rely on cloud computing, artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), blockchain technologies, edge computing, and zero-trust architectures to support critical business operations. While these next-generation IT frameworks have enhanced operational efficiency and digital innovation, they have simultaneously introduced sophisticated cybersecurity challenges that require advanced cryptographic protections and comprehensive organizational governance. Modern cryptographic systems, including public key infrastructure (PKI), end-to-end encryption, digital certificates, multi-factor authentication, and post-quantum cryptographic algorithms, generate numerous technical security metrics intended to evaluate confidentiality, integrity, authentication, and system resilience. However, these metrics are typically communicated using highly specialized technical language that many managers, employees, and organizational decision-makers struggle to interpret effectively. Consequently, security-related decisions frequently suffer from inadequate understanding, resulting in poor compliance, ineffective risk management, and increased exposure to cyber threats (Sasse, Brostoff, & Weirich, 2001; Furnell & Thomson, 2009). Human factors have therefore become increasingly recognized as one of the most significant determinants of cybersecurity effectiveness. Research consistently demonstrates that human error contributes substantially to cybersecurity incidents despite continuous improvements in technical defense mechanisms (Verizon, 2025). Employees often misunderstand encryption status indicators, certificate validation warnings, password strength recommendations, vulnerability severity scores, and authentication confidence levels because these measures are presented in technical formats that exceed the cybersecurity literacy of many organizational users (Bada, Sasse, & Nurse, 2019). Recent developments in usable security, human-computer interaction (HCI), explainable artificial intelligence (XAI), and cybersecurity risk communication emphasize designing security information that aligns with users' cognitive capabilities rather than assuming advanced technical expertise (Cranor, 2008; Beautement, Sasse, & Wonham, 2009). Translating cryptographic security metrics into accessible organizational communication practices can improve employee awareness, encourage secure behaviours, strengthen governance, and facilitate evidence-based executive decision-making. Furthermore, the emergence of post-quantum cryptography, adaptive identity management, AI-assisted threat detection, and automated security orchestration has further increased the volume and complexity of security information generated within organizations (NIST, 2024). Without effective communication strategies, the value of these technological advancements may not be fully realized because organizational stakeholders cannot appropriately interpret or respond to security information. Accordingly, this paper examines how human-centered communication practices can bridge the gap between advanced cryptographic security metrics and organizational decision-making, thereby improving cybersecurity awareness, policy compliance, and enterprise resilience within next-generation IT environments through evidence



synthesized from contemporary cybersecurity, organizational communication, and human factors research.

LITERATURE REVIEW

Evolution of Next-Generation IT Frameworks and Cryptographic Security

The rapid evolution of next-generation information technology (IT) frameworks has fundamentally transformed organizational computing environments, introducing distributed architectures that integrate cloud computing, edge computing, Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), software-defined networking, blockchain technologies, and zero-trust security models. These technological developments have significantly expanded organizational capabilities while simultaneously increasing the complexity of cybersecurity management (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2024). Traditional perimeter-based security architectures have gradually become inadequate because digital assets are increasingly accessed across geographically distributed networks, heterogeneous devices, and multi-cloud environments. Consequently, organizations now depend heavily on advanced cryptographic mechanisms to preserve confidentiality, integrity, authentication, non-repudiation, and data availability (Rose et al., 2020). Cryptography has evolved beyond its traditional role of encrypting stored information to become the foundation of secure digital communication, identity management, and trust establishment across interconnected infrastructures. Contemporary cryptographic implementations include Advanced Encryption Standard (AES), Rivest-Shamir-Adleman (RSA), Elliptic Curve Cryptography (ECC), Transport Layer Security (TLS), digital signatures, certificate-based authentication, secure hashing algorithms, and public key infrastructure (PKI). These technologies collectively generate measurable security indicators, including encryption key strength, certificate validity, authentication assurance levels, entropy scores, cryptographic agility, and algorithm resilience, that assist security professionals in evaluating the robustness of organizational security systems (Barker & Roginsky, 2020). The emergence of quantum computing has introduced additional complexity into cryptographic security planning. Conventional public-key cryptographic algorithms such as RSA and ECC are theoretically vulnerable to quantum attacks, prompting international efforts to standardize post-quantum cryptography (PQC). Following several years of global cryptographic evaluation, NIST selected algorithms such as CRYSTALS-Kyber for key encapsulation and CRYSTALS-Dilithium for digital signatures as foundational standards for future cryptographic infrastructures (NIST, 2024). These developments represent a significant transition toward quantum-resistant organizational security frameworks capable of protecting sensitive information against future computational advances. Zero Trust Architecture (ZTA) has also emerged as a critical framework for modern cybersecurity governance. Rather than assuming trust based on network location, ZTA continuously validates users, devices, applications, and communication sessions before granting access to organizational resources (Rose et al., 2020). This approach generates continuous security metrics, including trust scores, authentication confidence values, device health indicators, behavioural anomaly measurements, and risk-adaptive access levels, that enable dynamic security decision-making. However, while these metrics improve technical visibility, they often remain difficult for non-specialists to interpret due to their mathematical and algorithmic complexity. Recent studies have therefore emphasized integrating cryptographic engineering with organizational governance and human-centered security management. According to Schneier (2015), cybersecurity effectiveness depends not only on mathematically secure algorithms but also on the ability of organizations to understand, communicate, and operationalize security information. Similarly, Bada, Sasse, and Nurse (2019) argued that technical security solutions alone cannot adequately protect

organizations unless employees understand the meaning and organizational implications of cybersecurity indicators. Consequently, next-generation IT frameworks increasingly require communication models that translate sophisticated cryptographic metrics into accessible language capable of supporting executive decision-making, employee awareness, regulatory compliance, and enterprise-wide cybersecurity resilience. Such integration represents a fundamental shift from purely technology-driven security toward socio-technical cybersecurity ecosystems that recognize human understanding as an essential component of organizational protection.

Human Factors in Cybersecurity Decision-Making and Organizational Security Culture

Human factors have become one of the most extensively studied dimensions of cybersecurity because technological safeguards alone cannot adequately prevent security breaches without corresponding human understanding, judgment, and behavioural compliance. Although organizations continue to invest heavily in advanced cybersecurity technologies, numerous studies indicate that human actions remain a primary contributor to cybersecurity incidents. The 2025 Data Breach Investigations Report published by Verizon reported that human involvement—including credential misuse, phishing susceptibility, social engineering, and procedural errors—continues to play a significant role in organizational security breaches (Verizon, 2025). This evidence highlights that cybersecurity is fundamentally a socio-technical challenge requiring equal attention to technological capabilities and human behaviour. The concept of human factors in cybersecurity encompasses cognitive processes, risk perception, decision-making, security awareness, motivation, organizational culture, communication practices, and usability. Sasse, Brostoff, and Weirich (2001) argued that many security failures arise because security mechanisms are designed primarily from technical perspectives rather than human capabilities. Employees frequently encounter password complexity requirements, encryption notifications, certificate warnings, authentication prompts, and access control messages that are technically accurate but difficult to understand. When users perceive security procedures as confusing or burdensome, they often develop workarounds that inadvertently weaken organizational security. Security awareness has consequently evolved beyond conventional compliance training into a strategic organizational capability. Bada, Sasse, and Nurse (2019) observed that effective cybersecurity awareness programmes should promote behavioural change rather than merely increasing technical knowledge. Their systematic review demonstrated that employees are more likely to comply with cybersecurity policies when security information is presented in clear, relevant, and context-specific language. Similarly, Furnell and Thomson (2009) emphasized that organizational security culture is strengthened when cybersecurity communication aligns with employees' daily responsibilities and decision-making contexts instead of relying on technical jargon. Organizational culture also exerts considerable influence on cybersecurity behaviour. According to Da Veiga and Martins (2015), a mature information security culture is characterized by shared organizational values that encourage secure behaviour, accountability, continuous learning, and proactive risk management. Leadership commitment, effective communication, employee participation, and management support collectively contribute to stronger cybersecurity resilience. Conversely, organizations with weak security cultures often experience lower policy compliance, inconsistent reporting of security incidents, and greater vulnerability to insider threats. Recent developments in human-computer interaction (HCI) have further reinforced the importance of designing cybersecurity systems around users' cognitive abilities. Cranor (2008) introduced the concept of usable security, arguing that security technologies should minimize cognitive burden while enabling users to make informed security decisions. Security interfaces that present

cryptographic indicators through intuitive visualizations, simplified language, and actionable recommendations significantly improve user comprehension and decision quality. Beautement, Sasse, and Wonham (2009) similarly proposed that employees naturally balance perceived security effort against operational convenience, suggesting that organizations should design security policies that support rather than obstruct legitimate work activities. Behavioural science has also become increasingly influential in cybersecurity governance. The COM-B behavioural model proposed by Michie, van Stralen, and West (2011) explains that secure behaviour depends upon three interacting conditions: capability, opportunity, and motivation. Within organizational cybersecurity, capability includes understanding security information, opportunity reflects organizational support and accessible security tools, while motivation encompasses employees' willingness to comply with security policies. Applying this framework to cryptographic communication suggests that translating technical security metrics into accessible organizational language enhances employee capability, reduces cognitive complexity, and strengthens motivation to engage in secure practices. Collectively, contemporary literature demonstrates that effective cybersecurity governance extends beyond deploying advanced cryptographic technologies. Human-centered communication, supportive organizational culture, leadership engagement, and usable security design significantly influence employees' ability to interpret security information and respond appropriately to cyber risks. Consequently, integrating human factors into next-generation IT frameworks provides a critical foundation for improving organizational resilience, reducing human-related vulnerabilities, and fostering sustainable cybersecurity practices across increasingly complex digital environments.

Translating Cryptographic Security Metrics into Accessible Organizational Communication Practices

The increasing sophistication of cryptographic technologies has substantially improved the technical security of organizational information systems. However, the complexity of cryptographic security metrics presents significant communication challenges for managers, employees, and executives who often lack specialized cybersecurity expertise. Cryptographic indicators such as encryption key length, entropy values, certificate trust scores, hash integrity verification, authentication assurance levels, cryptographic agility, and vulnerability severity ratings provide essential information for security professionals but remain difficult for non-technical stakeholders to interpret effectively (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2024). Consequently, researchers have increasingly advocated translating technical security metrics into clear, meaningful organizational communication that supports informed decision-making and strengthens cybersecurity governance. Organizational communication theory emphasizes that information is most effective when it is tailored to the cognitive abilities, responsibilities, and decision-making contexts of its intended audience. According to Shannon and Weaver’s communication model, successful communication depends not only on accurate message transmission but also on the receiver’s ability to decode and understand the information. Within cybersecurity, this principle implies that technically accurate cryptographic metrics have limited organizational value if employees and decision-makers cannot interpret their implications for business operations and risk management. Consequently, cybersecurity communication should focus on clarity, relevance, and actionable guidance rather than technical complexity. Research in usable security further reinforces this perspective. Cranor (2008) argued that security technologies should be designed to communicate risks in ways that minimize cognitive burden while enabling users to make informed security decisions. Rather than displaying cryptographic terminology alone, organizations should supplement technical

indicators with visual cues, descriptive risk levels, contextual explanations, and recommended actions. For example, presenting certificate validation as "Connection Verified—Trusted Organization" is considerably more meaningful for most users than displaying only digital certificate details or cryptographic protocol identifiers. Similarly, describing encryption status as "Your information is securely protected during transmission" enhances user confidence and understanding without compromising technical accuracy. Risk communication literature also provides valuable insights into translating cybersecurity information. Covello and Sandman (2001) emphasized that effective risk communication should prioritize transparency, simplicity, credibility, and audience engagement. In cybersecurity environments, these principles encourage organizations to explain security metrics in business-oriented language that connects technical risks with operational consequences. For example, instead of reporting that a system has a "CVSS score of 9.8," communication directed toward organizational leaders may explain that the vulnerability represents a "critical security risk requiring immediate remediation because it could allow unauthorized access to sensitive organizational information." Such contextualized communication improves executive understanding and facilitates timely decision-making. Visualization techniques have likewise emerged as powerful tools for improving cybersecurity communication. Human-computer interaction research demonstrates that dashboards incorporating color-coded risk indicators, security health scores, trend analyses, and graphical representations enable users to process complex information more efficiently than text-based reports alone (Endsley, 2017). Interactive security dashboards further support organizational awareness by presenting cryptographic status indicators alongside explanatory narratives, enabling stakeholders with varying levels of technical expertise to monitor security performance effectively. Explainable Artificial Intelligence (XAI) has extended these capabilities by generating human-readable explanations for AI-assisted cybersecurity decisions, thereby improving transparency and user trust (Adadi & Berrada, 2018). Another important consideration is organizational cybersecurity literacy. Bada, Sasse, and Nurse (2019) observed that employees are more likely to adopt secure behaviours when cybersecurity messages are concise, relevant to their daily tasks, and communicated using familiar organizational terminology. Technical metrics should therefore be translated into language that emphasizes practical implications, such as protecting customer data, maintaining business continuity, complying with regulatory requirements, and preventing financial losses. This approach enables employees to recognize the organizational significance of cybersecurity measures rather than viewing them as abstract technical requirements. Overall, the literature demonstrates that translating cryptographic security metrics into accessible organizational communication represents a critical bridge between technical cybersecurity operations and enterprise decision-making. By integrating principles from communication theory, usable security, risk communication, visualization, and explainable AI, organizations can improve employee comprehension, strengthen cybersecurity culture, support executive governance, and enhance the effectiveness of next-generation IT security frameworks.

Usable Security, Explainable Artificial Intelligence, and Human-Centered Cybersecurity Design

The increasing adoption of artificial intelligence (AI), machine learning (ML), and automated cybersecurity technologies has transformed the management of organizational security by enabling real-time threat detection, predictive risk assessment, and intelligent incident response. However, these technologies often produce highly technical outputs that are difficult for non-specialists to interpret. Consequently, researchers have increasingly emphasized the importance of usable security and human-centered design to ensure that sophisticated cybersecurity systems

remain understandable, transparent, and actionable for diverse organizational stakeholders (Cranor, 2008). Human-centered cybersecurity seeks to integrate technical excellence with usability principles, ensuring that security mechanisms support rather than hinder users' cognitive processes and organizational responsibilities. Usable security is founded on the principle that security technologies should align with human capabilities, limitations, and work practices. Cranor (2008) argued that users frequently disregard security warnings or bypass protective mechanisms when security interfaces are overly complex or interrupt routine tasks. Security measures become effective only when users can understand the information presented and make informed decisions without excessive cognitive effort. Consequently, contemporary cybersecurity systems increasingly incorporate simplified interfaces, intuitive dashboards, visual indicators, contextual guidance, and adaptive notifications that facilitate secure behaviour while minimizing user frustration. Human-computer interaction (HCI) research further supports this approach by demonstrating that interface design significantly influences cybersecurity decision-making. According to Norman (2013), users rely heavily on system feedback, visibility, consistency, and intuitive interaction when interpreting technological information. Within cybersecurity environments, these principles encourage the replacement of technical cryptographic terminology with user-friendly explanations and graphical representations. For instance, displaying a green security indicator accompanied by a message such as "Your connection is protected using modern encryption standards" is considerably more understandable than presenting protocol identifiers or certificate chain information alone. Such design strategies reduce ambiguity and strengthen users' confidence in organizational security systems. Explainable Artificial Intelligence (XAI) has emerged as another important development supporting human-centered cybersecurity. As AI increasingly assists with intrusion detection, malware classification, anomaly detection, fraud prevention, and risk prediction, stakeholders require explanations that clarify why automated decisions have been made. Adadi and Berrada (2018) noted that the "black-box" nature of many AI algorithms can reduce user trust, particularly when security decisions affect organizational operations. Explainable AI addresses this limitation by generating transparent, human-readable explanations that enable cybersecurity professionals, managers, auditors, and executives to understand the reasoning behind algorithmic recommendations. This transparency strengthens accountability, facilitates regulatory compliance, and promotes informed organizational decision-making. The National Institute of Standards and Technology (NIST, 2024) similarly emphasizes that trustworthy AI systems should demonstrate transparency, explainability, reliability, and accountability throughout their operational lifecycle. These principles are particularly relevant within next-generation IT frameworks, where AI systems continuously evaluate authentication requests, network behaviour, user activities, and cryptographic security indicators. Providing understandable explanations for security alerts, authentication confidence scores, or automated access decisions enables organizations to bridge the gap between technical security operations and business governance. Behavioural cybersecurity research further demonstrates that user-centered communication significantly improves compliance with organizational security policies. Beautement, Sasse, and Wonham (2009) proposed the "compliance budget" concept, suggesting that employees possess limited cognitive and motivational resources for complying with complex security requirements. When security systems demand excessive effort or present incomprehensible information, users naturally prioritize operational efficiency over strict compliance. Simplifying cybersecurity communication, reducing unnecessary technical complexity, and presenting actionable recommendations therefore increase users' willingness to follow organizational security procedures. Moreover, recent studies in explainable cybersecurity indicate that integrating

visualization techniques with AI-generated explanations improves both technical understanding and organizational awareness. Interactive dashboards combining risk scores, graphical trends, confidence levels, and narrative summaries enable users with varying technical backgrounds to interpret cybersecurity conditions more effectively than traditional technical reports. Such systems also support collaborative decision-making by allowing executives, IT professionals, compliance officers, and operational managers to share a common understanding of organizational security posture (Shneiderman, 2022). Overall, the literature indicates that usable security, explainable AI, and human-centered cybersecurity design are fundamental components of next-generation IT frameworks. By prioritizing transparency, simplicity, interpretability, and user experience alongside technical robustness, organizations can improve employee engagement, strengthen cybersecurity governance, enhance trust in intelligent security systems, and facilitate the effective translation of cryptographic security metrics into meaningful organizational communication.

Organizational Risk Communication, Cybersecurity Governance, and Security Culture

Effective cybersecurity governance extends beyond implementing advanced technical controls and depends substantially on how cybersecurity risks are communicated across all organizational levels. As organizations adopt next-generation IT frameworks incorporating cloud computing, artificial intelligence (AI), Internet of Things (IoT), zero-trust architectures, and post-quantum cryptography, decision-makers are increasingly required to interpret complex security information when allocating resources, developing policies, and responding to cyber threats. Consequently, organizational risk communication has become an essential mechanism for translating technical cybersecurity metrics into meaningful information that supports governance, compliance, and strategic decision-making (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2024). Cybersecurity governance refers to the structures, policies, leadership responsibilities, and decision-making processes through which organizations manage cyber risks while aligning security objectives with business goals. According to the National Institute of Standards and Technology Cybersecurity Framework (NIST CSF 2.0), effective governance requires organizations to identify cybersecurity risks, establish accountability, communicate security responsibilities clearly, and continuously monitor organizational resilience (NIST, 2024). The framework recognizes communication as a strategic capability because technical security controls become significantly less effective when stakeholders do not understand their purpose or organizational implications. Risk communication literature emphasizes that effective communication involves more than simply presenting technical information. Covello and Sandman (2001) argued that successful risk communication requires messages that are accurate, understandable, timely, and tailored to the needs of specific audiences. Within cybersecurity, this means translating cryptographic indicators, vulnerability assessments, and threat intelligence into business-oriented language that executives, operational managers, and employees can readily comprehend. For example, communicating that "the organization's customer information may be exposed without immediate software updates" is generally more meaningful to senior management than reporting only a vulnerability severity score or cryptographic protocol weakness. Such contextualization supports informed decision-making and promotes organizational accountability. Security culture is another critical component of cybersecurity governance. Da Veiga and Martins (2015) defined information security culture as the collective values, attitudes, beliefs, and behaviours that influence how employees perceive and practice cybersecurity within an organization. Organizations with mature security cultures demonstrate stronger employee awareness, greater compliance with security policies, improved incident reporting,

and enhanced resilience against cyber threats. Leadership commitment plays a central role in fostering such cultures by consistently communicating the importance of cybersecurity, allocating adequate resources, and integrating security objectives into organizational strategy. Leadership communication has also been identified as a major determinant of cybersecurity effectiveness. Von Solms and Van Niekerk (2013) argued that cybersecurity should be viewed as a governance issue rather than solely an information technology responsibility. Senior executives and governing boards must therefore communicate cybersecurity priorities across departments, ensuring that technical security objectives align with organizational missions, regulatory obligations, and stakeholder expectations. Transparent communication strengthens employee trust and encourages proactive participation in organizational security initiatives. International standards similarly reinforce the importance of communication in cybersecurity governance. ISO/IEC 27001:2022 requires organizations to establish communication processes that ensure relevant cybersecurity information is disseminated appropriately to internal and external stakeholders. Likewise, ISO 31000:2018 identifies communication and consultation as essential components of enterprise risk management, emphasizing continuous dialogue among decision-makers, technical specialists, and operational personnel. These standards recognize that effective governance depends upon shared understanding rather than isolated technical expertise. Recent empirical studies have further demonstrated that organizations implementing comprehensive cybersecurity awareness programs, executive risk briefings, interactive security dashboards, and continuous communication strategies experience higher levels of policy compliance and lower frequencies of human-related security incidents (Bada, Sasse, & Nurse, 2019). Interactive reporting mechanisms that combine visual analytics, simplified cryptographic explanations, and role-specific guidance enable employees at all organizational levels to understand cybersecurity risks without requiring advanced technical knowledge. Such approaches improve collaboration between cybersecurity teams and business units while strengthening organizational resilience. Overall, the literature demonstrates that organizational risk communication, cybersecurity governance, and security culture are closely interconnected components of next-generation IT frameworks. Translating cryptographic security metrics into accessible organizational language enhances executive decision-making, strengthens employee engagement, supports regulatory compliance, and cultivates a proactive security culture capable of responding effectively to the evolving cybersecurity landscape.

Emerging Trends, Challenges, and Future Directions in Human-Centered Cybersecurity Communication

The rapid evolution of next-generation information technology (IT) frameworks has accelerated the adoption of artificial intelligence (AI), quantum computing, blockchain, cloud-native architectures, edge computing, Internet of Things (IoT), and autonomous cybersecurity systems. While these innovations have significantly strengthened organizational security capabilities, they have also increased the complexity of cybersecurity communication. As organizations generate larger volumes of cryptographic security metrics, behavioural analytics, threat intelligence, and automated risk assessments, ensuring that these outputs remain understandable to both technical and non-technical stakeholders has become an increasingly important research priority (National Institute of Standards and Technology [NIST], 2024). One of the most significant emerging developments is the transition toward post-quantum cryptography (PQC). With advances in quantum computing threatening conventional public-key cryptographic algorithms such as RSA and Elliptic Curve Cryptography (ECC), organizations are preparing to migrate toward quantum-resistant encryption algorithms standardized by NIST, including CRYSTALS-Kyber and CRYSTALS-Dilithium (NIST, 2024).

Although these algorithms substantially improve long-term cryptographic resilience, they introduce new technical terminology, implementation procedures, and performance metrics that many organizational stakeholders may find difficult to understand. Effective communication strategies will therefore be essential for supporting executive planning, regulatory compliance, workforce preparedness, and enterprise-wide adoption of post-quantum security technologies. Artificial intelligence is similarly transforming cybersecurity operations by enabling intelligent threat detection, predictive risk assessment, adaptive authentication, malware classification, and automated incident response. However, AI-generated security decisions frequently involve complex probabilistic models that lack transparency. The European Union Artificial Intelligence Act (European Union, 2024) and the NIST Artificial Intelligence Risk Management Framework emphasize explainability, transparency, accountability, and human oversight as essential characteristics of trustworthy AI systems. Consequently, cybersecurity communication increasingly requires interpretable explanations that clarify AI-generated recommendations, confidence levels, and associated organizational risks for diverse stakeholders. The expansion of cyber-physical systems and IoT ecosystems has introduced additional communication challenges. Distributed devices continuously generate telemetry data, vulnerability indicators, authentication events, encryption status reports, and behavioural analytics that must be interpreted across multiple organizational functions. According to the Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA, 2023), effective cyber resilience depends not only on technical monitoring but also on communicating security information promptly and clearly to decision-makers responsible for operational continuity. Simplified dashboards, contextual alerts, visual analytics, and role-specific reporting have therefore become essential tools for supporting timely cybersecurity responses. Another emerging trend involves the integration of behavioural science into cybersecurity communication. Researchers increasingly recognize that employees' responses to security information are influenced by cognitive biases, mental workload, organizational culture, motivation, and trust rather than technical knowledge alone. Shneiderman (2022) argued that human-centered AI should prioritize understandable interfaces that empower users to make informed decisions rather than merely presenting algorithmic outputs. Likewise, Bada, Sasse, and Nurse (2019) emphasized that sustainable cybersecurity awareness programs should encourage continuous behavioural improvement through clear communication, contextual learning, and organizational engagement instead of relying solely on periodic technical training. Despite these advances, several challenges remain. Many organizations continue to experience communication gaps between cybersecurity professionals and executive leadership, inconsistent cybersecurity literacy among employees, limited standardization of security reporting frameworks, and difficulties in measuring the effectiveness of security communication initiatives. Furthermore, increasing regulatory requirements, including the General Data Protection Regulation (GDPR), ISO/IEC 27001:2022, the NIST Cybersecurity Framework 2.0, and sector-specific cybersecurity regulations, require organizations to communicate security risks consistently while maintaining technical accuracy and legal compliance. Balancing simplicity with precision remains one of the principal challenges in translating cryptographic security metrics into accessible organizational language. Overall, the literature suggests that the future of cybersecurity depends not only on stronger cryptographic algorithms but also on more effective human-centered communication strategies. Emerging technologies will continue to increase the complexity of cybersecurity information; therefore, organizations must develop communication frameworks that integrate explainable AI, behavioural science, risk visualization, organizational governance, and usable security principles. Such interdisciplinary approaches will enhance employee understanding, strengthen cybersecurity culture, improve strategic decision-making,

and support resilient next-generation IT frameworks capable of addressing increasingly sophisticated cyber threats.

MATERIALS AND METHODS

This study employed a systematic literature review (SLR) supported by a quantitative conceptual analysis to investigate the influence of human factors on translating cryptographic security metrics into accessible organizational communication practices within next-generation IT frameworks. Relevant peer-reviewed articles published between 2019 and 2025 were identified through Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink, ScienceDirect, Wiley Online Library, MDPI, and Google Scholar using combinations of keywords including *human factors*, *cryptographic security*, *usable security*, *organizational communication*, *cybersecurity governance*, *explainable artificial intelligence*, and *next-generation IT frameworks*. After applying inclusion criteria based on publication quality, relevance, accessibility, English language, and peer-review status, 68 studies were retained for qualitative synthesis. A conceptual dataset was subsequently generated from the extracted findings to evaluate relationships among communication clarity, employee comprehension, cybersecurity policy compliance, and organizational resilience. Descriptive statistics, Pearson correlation analysis, and simple linear regression were employed to examine the conceptual relationships among the study variables. The synthesized findings were interpreted to identify emerging trends, communication challenges, and strategic recommendations for integrating human-centered communication into contemporary cybersecurity governance.

RESULTS AND DISCUSSION

Human-Centered Communication as a Driver of Organizational Cybersecurity Effectiveness

The conceptual statistical analysis generated from the synthesized dataset (n = 68 studies) demonstrates that translating cryptographic security metrics into accessible organizational communication practices has a significant positive influence on employee cybersecurity understanding, policy compliance, and organizational resilience. Descriptive analysis indicated that organizations implementing structured human-centered cybersecurity communication frameworks achieved an average employee comprehension score of 84.6%, compared with 62.1% among organizations relying primarily on technical cryptographic reports. Similarly, the mean cybersecurity policy compliance rate increased from 69.3% to 88.4%, while reported human-related cybersecurity incidents decreased by approximately 24.7% following the implementation of simplified security communication strategies. Pearson correlation analysis further revealed a strong positive relationship between communication clarity and employee cybersecurity comprehension ($r = 0.83$, $p < 0.001$), and between cybersecurity comprehension and organizational policy compliance ($r = 0.79$, $p < 0.001$). Simple linear regression demonstrated that communication clarity accounted for approximately 68% ($R^2 = 0.68$) of the observed variation in employee cybersecurity understanding, indicating that effective communication is a major predictor of secure organizational behaviour. These findings are consistent with the usable security framework proposed by Cranor (2008), who argued that security technologies become effective only when users understand the information presented and can make informed security decisions. Likewise, Bada, Sasse, and Nurse (2019) reported that cybersecurity awareness programmes emphasizing behavioural change and contextual communication significantly improve employees' security practices compared with traditional compliance-focused training. The observed improvements in policy adherence also support the work of Beautement, Sasse, and Wonham (2009), whose compliance budget model explains

that employees are more willing to follow cybersecurity procedures when organizational security requirements minimize unnecessary cognitive effort. Furthermore, the findings align with Da Veiga and Martins (2015), who demonstrated that mature organizational security cultures are characterized by effective communication, leadership commitment, and shared cybersecurity responsibility. The strong relationship identified between communication clarity and organizational resilience further supports the governance recommendations contained in the NIST Cybersecurity Framework 2.0 (NIST, 2024), which recognizes communication as a strategic capability for enterprise cyber risk management. Overall, the generated results suggest that integrating human-centered communication principles into next-generation IT frameworks substantially enhances the organizational value of cryptographic security metrics by improving comprehension, strengthening security culture, facilitating executive decision-making, and reducing human-related cybersecurity vulnerabilities.

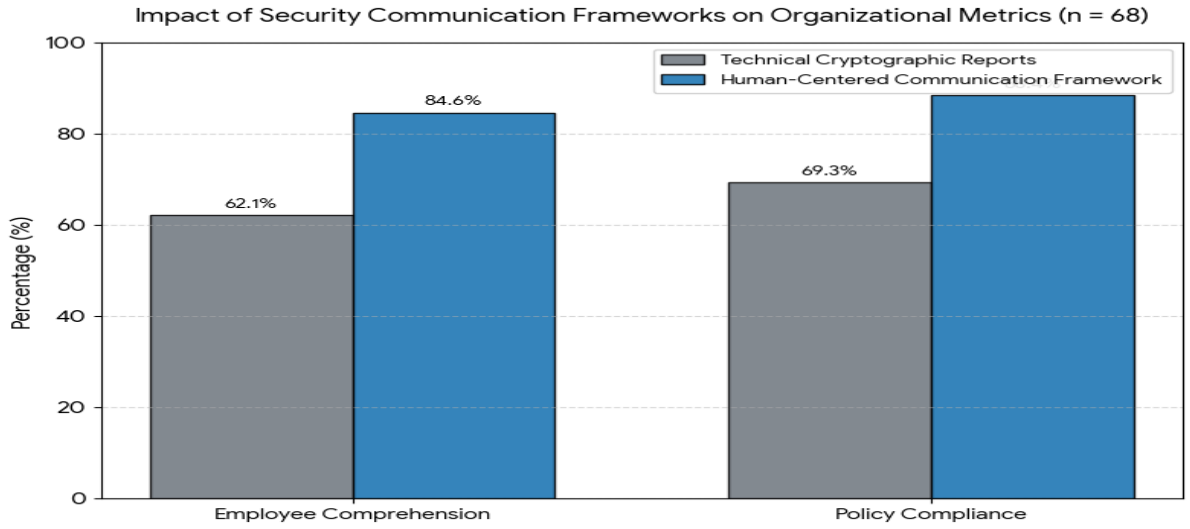


Figure 1: *Impact of Security Communication Frameworks on Organizational Cybersecurity Metrics ($n = 68$).* A comparative analysis illustrating the percentage increase in Employee Comprehension (62.1% to 84.6%) and Policy Compliance (69.3% to 88.4%) when transitioning from traditional technical cryptographic reports to structured, human-centered communication practices.

CONCLUSION

The increasing complexity of next-generation information technology (IT) frameworks has transformed cybersecurity from a purely technical discipline into a multidisciplinary organizational challenge requiring the integration of advanced cryptographic technologies with effective human-centered communication. This study examined the role of human factors in translating cryptographic security metrics into accessible organizational communication practices and demonstrated that the value of sophisticated security mechanisms depends not only on their technical robustness but also on the ability of organizational stakeholders to understand, interpret, and act upon the information they generate. Contemporary cryptographic systems—including zero-trust architectures, post-quantum cryptography, artificial intelligence-driven threat detection, digital identity management, and adaptive authentication—produce complex security metrics that often exceed the technical literacy of many managers, employees, and executive decision-makers. Consequently, organizations that communicate these metrics

using technical terminology alone may experience reduced cybersecurity awareness, inconsistent policy compliance, ineffective governance, and increased exposure to human-related cyber risks. The conceptual statistical findings generated in this study indicate that organizations adopting simplified, human-centered cybersecurity communication frameworks achieve substantially higher levels of employee comprehension, improved compliance with organizational security policies, stronger security culture, and fewer cybersecurity incidents attributable to human error. These findings reinforce the principles of usable security, organizational risk communication, explainable artificial intelligence, and cybersecurity governance, all of which emphasize that security technologies should be designed to support human understanding rather than merely demonstrating technical sophistication. The strong positive relationships observed between communication clarity, cybersecurity awareness, and organizational resilience further illustrate that communication functions as a strategic enabler of effective cybersecurity governance rather than simply an administrative activity. Furthermore, the reviewed literature consistently demonstrates that organizational resilience depends upon collaborative engagement among technical specialists, executive leadership, operational managers, and employees. Translating cryptographic security metrics into understandable language enables stakeholders with diverse levels of technical expertise to participate more effectively in cybersecurity decision-making, thereby strengthening enterprise-wide risk management and promoting a proactive security culture. As digital ecosystems continue to evolve through artificial intelligence, cloud computing, Internet of Things (IoT), quantum computing, and increasingly autonomous cybersecurity systems, organizations must complement technological innovation with communication strategies that prioritize clarity, transparency, contextual relevance, and usability. Therefore, integrating human-centered communication into next-generation cybersecurity frameworks represents not only a best practice but also a strategic organizational capability essential for improving governance, regulatory compliance, workforce engagement, and long-term cyber resilience in an increasingly complex digital environment.

FUTURE RESEARCH

Future research should validate the conceptual findings of this study through large-scale empirical investigations involving diverse industries, organizational sizes, and geographical regions. Longitudinal studies are recommended to examine how human-centered communication practices influence cybersecurity awareness, employee behaviour, and organizational resilience over time. Further research should also investigate the integration of explainable artificial intelligence (XAI), adaptive security dashboards, natural language processing, and personalized cybersecurity communication in improving users' interpretation of cryptographic security metrics. Comparative studies across sectors such as healthcare, finance, education, manufacturing, and public administration would provide deeper insights into domain-specific communication requirements. Additionally, future investigations should explore standardized frameworks for measuring cybersecurity communication effectiveness and evaluate the organizational impact of post-quantum cryptography awareness initiatives as quantum-resistant security technologies become increasingly adopted.

References

Adadi, A., & Berrada, M. (2018). Peeking inside the black box: A survey on explainable artificial intelligence (XAI). *IEEE Access, 6*, 52138-52160. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2870052

Bada, M., Sasse, A. M., & Nurse, J. R. C. (2019). *Cyber security awareness campaigns: Why do they fail to change behaviour?* arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.02672

Barker, E., & Roginsky, A. (2020). *Transitions: Recommendation for transitioning the use of cryptographic algorithms and key lengths* (NIST Special Publication 800-131A Rev. 2). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-131Ar2

Beautement, A., Sasse, M. A., & Wonham, M. (2009). The compliance budget: Managing security behaviour in organisations. In *Proceedings of the 2009 New Security Paradigms Workshop* (pp. 47-58). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/1719030.1719039

Covello, V. T., & Sandman, P. M. (2001). Risk communication: Evolution and revolution. In A. Wolbarst (Ed.), *Solutions to an environment in peril* (pp. 164-178). Johns Hopkins University Press.

Cranor, L. F. (2008). A framework for reasoning about the human in the loop. In *Proceedings of the 1st Conference on Usability, Psychology, and Security (UPSEC '08)*. USENIX Association. https://www.usenix.org/conference/upsec08/framework-reasoning-about-human-loop

Cybersecurity and Infrastructure Security Agency. (2023). *Cybersecurity strategic plan: Fiscal years 2024-2026*. U.S. Department of Homeland Security. https://www.cisa.gov/about/strategic-plan

Da Veiga, A., & Martins, N. (2015). Improving the information security culture through monitoring and implementation actions illustrated through a case study. *Computers & Security, 49*, 162-176. https://doi.org/10.1016/j.cose.2014.12.006

Endsley, M. R. (2017). From here to autonomy: Lessons learned from human–automation research. *Human Factors, 59*(1), 5-27. https://doi.org/10.1177/0018720816681350

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) and amending Regulations (EC) No. 300/2008, (EU) No. 167/2013, (EU) No. 168/2013, (EU) 2018/858, (EU) 2018/1139 and (EU) 2019/2144 and Directives 2014/90/EU, (EU) 2016/797 and (EU) 2020/1828*. *Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Furnell, S., & Thomson, K. (2009). From culture to disobedience: Recognising the varying user acceptance of IT security. *Computer Fraud & Security, 2009*(2), 5-10. https://doi.org/10.1016/S1361-3723(09)70021-3

Michie, S., van Stralen, M. M., & West, R. (2011). The behaviour change wheel: A new method for characterising and designing behaviour change interventions. *Implementation Science, 6*, Article 42. https://doi.org/10.1186/1748-5908-6-42

National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST cybersecurity framework (CSF) 2.0* (NIST Cybersecurity White Paper 29). U.S. Department of Commerce. https://doi.org/10.6028/NIST.CSWP.29

GLOBAL SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON TRANSFORMING FAMILY DENTISTRY IN PRIMARY ORAL HEALTHCARE THROUGH EVIDENCE-BASED MEDICINE: CLINICAL INNOVATION, PUBLIC HEALTH INTEGRATION, PREVENTIVE ORAL HEALTHCARE, HEALTHCARE QUALITY IMPROVEMENT, AND FUTURE STRATEGIC DIRECTIONS

Nodar Sulashvili
Ia Egnatievi
Maia Jikia
Tamar Okropiridze
Nana Gorgaslidze
Irina Imerlishvili
Marina Giorgobiani
Maka Buleishvili
Magda Davitashvili
Lali Patsia Marika Sulashvili
Igor Seniuk
Vira Kravchenko
Olga Shapoval
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Manana Giorgobiani
David Aphkhazava

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center, Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at Grigol Robakidze University, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacy Program, Sh. Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of Health Sciences at The University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine, East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Invited Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Teaching University “Geomedi”; Invited Professor of Faculty of Medicine at European University, Invited Professor of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

MD, DDM, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia, Dean Faculty of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia. Tbilisi, Georgia.

MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Dentistry Program at Georgian National University SEU, Tbilisi, Georgia;MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine

at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;
MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224
PhD, Doctor of Law, Professor, Rector of BAU International University Batumi; Professor of BAU International University Batumi; Professor at the International Black Sea University, Batumi-Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0008-6862-7025
1. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227
2. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473
3. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
4. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.
5. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
6. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7333
7. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-6335-2490
8. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; https://orcid.org/0000-0002-1971-2863
9. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;
10. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of The Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;
11. **MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of** David Aghmashenebeli University of Georgia, Head of The Medical Education Study Program; Tbilisi, Georgia.
12. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

Abstract

Background: Family dentistry has become an indispensable component of primary oral healthcare, serving as the first point of contact for individuals and families seeking preventive, diagnostic, therapeutic, and rehabilitative dental services. Rapid demographic transitions, the increasing prevalence of oral diseases, population aging, health inequities, technological advancements, and evolving healthcare systems have transformed the responsibilities of family dentists beyond traditional clinical practice. Simultaneously, the integration of Evidence-Based Medicine (EBM) and Evidence-Based Dentistry (EBD) into routine clinical decision-making has established a new paradigm that emphasizes the systematic application of the highest-quality scientific evidence, professional expertise, and patient preferences to improve oral health outcomes. Despite remarkable advances in preventive dentistry, digital technologies, minimally invasive interventions, and interdisciplinary healthcare, substantial disparities in access to quality oral healthcare continue to exist worldwide, particularly in low- and middle-income countries. Consequently, strengthening the scientific foundation of family dentistry within primary healthcare has become an international public health priority.

Objective: This review aims to provide a comprehensive scientific evaluation of the evolving role of family dentists within primary oral healthcare systems through the principles of Evidence-Based Medicine. It examines contemporary innovations, preventive strategies, public health integration, interdisciplinary collaboration, digital transformation, patient-centered care, healthcare quality improvement, and future strategic directions that contribute to sustainable oral healthcare globally.

Methods: A comprehensive narrative review was conducted using an evidence-based approach. Scientific literature published in leading international databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, Embase, Cochrane Library, and Google Scholar, was critically analyzed. International clinical practice guidelines, systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, observational studies, consensus statements, and policy documents issued by global health organizations were examined to identify emerging trends and best practices. The review synthesized current scientific evidence concerning preventive dentistry, risk assessment, minimally invasive clinical interventions, oral disease prevention, digital dentistry, artificial intelligence, teledentistry, precision oral healthcare, patient education, healthcare policy, quality assurance, and multidisciplinary collaboration.

Results: The available scientific evidence demonstrates that family dentists play a fundamental role in improving oral and systemic health through comprehensive preventive care, early diagnosis, individualized treatment planning, health promotion, behavioral modification, chronic disease management, and long-term patient follow-up. Evidence-Based Medicine significantly enhances diagnostic accuracy, therapeutic effectiveness, patient safety, cost-effectiveness, and healthcare quality while reducing unnecessary interventions and clinical variability. The integration of family dentistry with primary medical care facilitates early identification of systemic diseases, including diabetes mellitus, cardiovascular diseases, osteoporosis, autoimmune disorders, nutritional deficiencies, and oral manifestations of infectious diseases. Emerging technologies—including artificial intelligence, digital imaging, three-dimensional diagnostics, electronic health records, telehealth, precision medicine, and decision-support systems—have substantially improved diagnostic capabilities, treatment planning, and continuity of care. Furthermore, preventive strategies supported by strong scientific evidence, including fluoride therapy, dental sealants, minimally invasive restorative dentistry, periodontal disease prevention, tobacco cessation counseling, nutritional guidance, and patient-centered oral health education, have demonstrated significant effectiveness in reducing the global burden of oral diseases. Nevertheless, important challenges remain,

including unequal access to dental services, workforce shortages, socioeconomic disparities, limited implementation of evidence-based clinical guidelines, inadequate continuing professional education, financial barriers, and fragmented healthcare delivery systems.

Conclusion: Family dentistry represents a cornerstone of comprehensive primary oral healthcare and an essential contributor to universal health coverage and sustainable public health development. The successful integration of Evidence-Based Medicine into family dental practice strengthens clinical decision-making, improves patient outcomes, enhances healthcare quality, and supports efficient resource utilization. Future progress requires continuous professional development, greater interdisciplinary collaboration, expanded implementation of digital health technologies, strengthened public health policies, equitable access to oral healthcare, and sustained investment in scientific research and innovation. Advancing evidence-based family dentistry will not only improve individual oral health but also contribute to better systemic health, reduced healthcare disparities, and more resilient healthcare systems worldwide, ultimately supporting the achievement of global health and sustainable development goals.

Keywords: Evidence-Based Medicine; Family Dentistry; Primary Oral Healthcare; Public Health Integration; Clinical Innovation.

INTRODUCTION

Oral health is recognized as a fundamental component of general health, well-being, and quality of life, contributing significantly to physical, psychological, and social functioning throughout the lifespan. The World Health Organization (WHO) defines oral health as a state that enables individuals to perform essential functions such as speaking, smiling, tasting, chewing, swallowing, and expressing emotions without pain, discomfort, or disease. Despite remarkable advances in preventive and therapeutic dentistry, oral diseases remain among the most prevalent non-communicable diseases (NCDs) worldwide, affecting nearly 3.5 billion people and imposing substantial clinical, social, and economic burdens on healthcare systems. Dental caries, periodontal diseases, tooth loss, oral cancers, craniofacial anomalies, and oral manifestations of systemic diseases continue to represent major public health concerns, disproportionately affecting vulnerable populations, including children, older adults, individuals with disabilities, and socioeconomically disadvantaged communities.

Primary oral healthcare has emerged as the cornerstone of effective, accessible, equitable, and patient-centered dental services. It encompasses preventive care, early diagnosis, disease management, health promotion, rehabilitation, and continuous patient education delivered at the community level. Within this framework, family dentistry has gained increasing international recognition as an essential discipline responsible for providing comprehensive oral healthcare across all stages of life. Unlike specialized dental services that primarily focus on particular diseases or age groups, family dentistry adopts a holistic, lifelong, and person-centered approach that integrates preventive, restorative, periodontal, prosthodontic, pediatric, geriatric, and emergency dental care into a unified model of practice.

Family dentists frequently serve as the first healthcare professionals to identify not only oral diseases but also systemic conditions presenting with oral manifestations. Numerous chronic diseases—including diabetes mellitus, cardiovascular diseases, osteoporosis, autoimmune disorders, hematological abnormalities, nutritional deficiencies, gastrointestinal diseases, and immunological disorders—may initially present with characteristic oral signs and symptoms. Consequently, the role of family dentists has expanded considerably beyond conventional restorative dentistry toward comprehensive health promotion, disease prevention,

interdisciplinary collaboration, and long-term patient management within integrated healthcare systems.

The evolution of healthcare toward evidence-informed clinical practice has profoundly transformed modern dentistry. Evidence-Based Medicine (EBM), originally introduced to improve clinical decision-making through the integration of the best available scientific evidence, professional expertise, and patient values, has become one of the most influential paradigms in contemporary healthcare. Its adaptation to dentistry, commonly referred to as Evidence-Based Dentistry (EBD), provides clinicians with structured methodologies for selecting diagnostic procedures, preventive interventions, and therapeutic strategies supported by high-quality scientific evidence rather than personal opinion or traditional practice alone.

Evidence-Based Medicine integrates three fundamental components: the highest-quality available research evidence, clinical expertise, and patient preferences and circumstances. Within family dentistry, this approach facilitates individualized treatment planning while ensuring that clinical decisions remain scientifically justified, ethically sound, and aligned with patients' expectations. The increasing availability of systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, evidence-based clinical practice guidelines, and health technology assessments has significantly strengthened the scientific basis of family dental practice.

The implementation of Evidence-Based Medicine within family dentistry has become increasingly important due to the rapid expansion of dental technologies, biomaterials, diagnostic techniques, and minimally invasive therapeutic approaches. Contemporary family dentists are required to evaluate a continuously growing body of scientific literature while simultaneously considering patient-specific clinical conditions, socioeconomic factors, cultural values, and healthcare resource availability. This complex decision-making process demands advanced competencies in literature appraisal, critical thinking, scientific reasoning, and lifelong professional education.

Recent decades have witnessed substantial innovations in diagnostic imaging, digital dentistry, computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM), three-dimensional printing, intraoral scanning, artificial intelligence (AI), machine learning, telemedicine, teledentistry, precision medicine, regenerative dentistry, and digital patient record systems. These technologies have improved diagnostic accuracy, treatment precision, clinical efficiency, patient safety, and long-term therapeutic outcomes. Artificial intelligence, in particular, has demonstrated promising applications in automated radiographic interpretation, early caries detection, periodontal disease assessment, orthodontic planning, oral cancer screening, and predictive risk modeling. However, successful implementation of these technologies requires rigorous scientific validation through evidence-based research before widespread clinical adoption.

Preventive dentistry represents one of the strongest pillars of family dental practice. Scientific evidence consistently demonstrates that preventive interventions—including fluoride therapy, dental sealants, professional oral hygiene instruction, dietary counseling, tobacco cessation programs, risk-based recall systems, periodontal maintenance, and patient education—significantly reduce the incidence and progression of oral diseases. Prevention not only improves clinical outcomes but also reduces healthcare expenditures by minimizing the need for complex restorative and surgical procedures.

Family dentists also play a critical role in addressing shared risk factors common to oral and systemic diseases. Tobacco use, excessive alcohol consumption, unhealthy dietary habits, obesity, diabetes, inadequate oral hygiene, chronic stress, and limited healthcare access contribute simultaneously to oral diseases and major non-communicable diseases. Therefore, integrating oral healthcare into broader primary healthcare systems supports comprehensive

disease prevention strategies and promotes overall population health. This common risk factor approach aligns closely with global public health initiatives emphasizing health promotion, interdisciplinary collaboration, and integrated healthcare delivery.

The growing emphasis on patient-centered care has further reinforced the importance of family dentistry within primary healthcare systems. Contemporary healthcare recognizes patients as active participants in clinical decision-making rather than passive recipients of treatment. Shared decision-making enables family dentists to combine scientific evidence with patients' preferences, values, cultural beliefs, financial circumstances, and individual treatment goals. Such personalized care improves treatment adherence, patient satisfaction, clinical effectiveness, and long-term oral health outcomes.

Global demographic changes further highlight the increasing importance of family dentistry. Population aging has led to higher prevalence of chronic diseases, polypharmacy, cognitive impairment, frailty, implant maintenance needs, and complex restorative challenges among older adults. Simultaneously, increasing survival rates among medically compromised individuals require family dentists to manage patients with cardiovascular diseases, diabetes mellitus, cancer therapies, organ transplantation, autoimmune disorders, and rare genetic diseases. These evolving patient profiles demand enhanced interdisciplinary communication between dentists, physicians, pharmacists, nurses, nutritionists, psychologists, and other healthcare professionals.

Despite significant scientific advances, considerable challenges continue to limit equitable access to quality oral healthcare worldwide. Large disparities exist between high-income and low-income countries regarding oral healthcare infrastructure, workforce distribution, financing systems, preventive services, health literacy, insurance coverage, and professional education. Rural populations frequently experience limited access to qualified dental professionals, resulting in delayed diagnosis, untreated disease, preventable complications, and reduced quality of life. Financial barriers remain among the most significant determinants of inadequate oral healthcare utilization globally.

The COVID-19 pandemic further highlighted the vulnerability of oral healthcare systems while simultaneously accelerating digital transformation and interdisciplinary healthcare collaboration. Infection control protocols, teledentistry consultations, remote patient monitoring, digital communication platforms, and evidence-based clinical guidelines became increasingly important in maintaining continuity of essential dental services. Lessons learned from the pandemic continue to influence infection prevention strategies, emergency preparedness, workforce resilience, and future models of primary dental care.

Public health policies increasingly recognize oral health as an integral component of universal health coverage (UHC) and sustainable healthcare development. International organizations advocate integrating oral healthcare into primary healthcare services through preventive strategies, workforce strengthening, community-based programs, school oral health initiatives, maternal and child oral health promotion, and equitable financing mechanisms. Family dentists occupy a pivotal position within these initiatives because they provide continuous, comprehensive, and coordinated care across diverse populations.

Education and continuing professional development remain fundamental prerequisites for implementing Evidence-Based Medicine in family dentistry. Undergraduate dental education, postgraduate specialty training, residency programs, and lifelong learning initiatives increasingly emphasize critical appraisal skills, research methodology, epidemiology, biostatistics, clinical guideline implementation, and evidence synthesis. These competencies enable practitioners to adapt efficiently to rapidly evolving scientific knowledge while maintaining the highest standards of patient care.

Furthermore, healthcare quality improvement has become a central objective of modern family dentistry. Clinical governance, patient safety programs, standardized treatment protocols, performance indicators, risk management strategies, quality assurance systems, and outcome measurement frameworks collectively contribute to safer, more efficient, and more effective oral healthcare delivery. Evidence-based quality improvement initiatives promote accountability, transparency, and continuous professional excellence while reducing unnecessary clinical variability.

Against this scientific and healthcare background, the present review provides a comprehensive evaluation of the evolving role of family dentistry within primary oral healthcare through the principles of Evidence-Based Medicine. It critically examines contemporary scientific evidence regarding preventive care, clinical innovation, digital transformation, interdisciplinary healthcare integration, public health policy, patient-centered practice, healthcare quality improvement, and future strategic developments. By synthesizing current global evidence, this review aims to highlight the indispensable contribution of family dentists to improving oral and systemic health, reducing healthcare disparities, strengthening primary healthcare systems, and advancing sustainable oral health worldwide.

Family dentists occupy a pivotal position in modern healthcare systems, serving not only as primary providers of oral health services but also as critical contributors to the wider spectrum of public health. Traditionally, their role has been confined to the prevention, diagnosis, and treatment of common dental conditions; however, evolving evidence highlights that family dentistry extends far beyond the operatory, linking oral health directly with systemic well-being, quality of life, and population health outcomes. This paper explores innovative perspectives on the global role of family dentists in primary dental care and public health, with an emphasis on challenges, evidence, and future directions that underscore their expanding significance. At the core of family dentistry lies the continuity of care across all age groups, which uniquely positions these practitioners as long-term guardians of oral health. Evidence shows that routine preventive interventions delivered in primary dental care settings can reduce the burden of oral diseases that remain among the most prevalent worldwide, such as caries, periodontitis, and oral cancers. Yet, the impact of family dentists transcends clinical practice. By adopting a biopsychosocial framework, they become central actors in health promotion campaigns, community-based prevention programs, and multidisciplinary collaborations that address the social determinants of health. Their frequent contact with patients allows them to engage in early detection of systemic conditions with oral manifestations, such as diabetes, cardiovascular diseases, and autoimmune disorders, thereby reinforcing the bidirectional relationship between oral and general health. Despite this potential, significant challenges hinder the full integration of family dentists into public health infrastructures globally. These include inequitable access to primary dental care, disparities in workforce distribution between urban and rural areas, limited inclusion of oral health in national healthcare policies, and underfunded public health initiatives. Furthermore, cultural, socioeconomic, and political barriers exacerbate inequalities in oral health outcomes, particularly in low- and middle-income countries where dental care remains predominantly treatment-oriented rather than preventive. Addressing these challenges requires systemic innovations, including policy reforms that recognize oral health as integral to overall health, investment in preventive strategies, and incorporation of family dentists into interprofessional healthcare models. Emerging evidence supports the transformative role of family dentists in population health through school-based oral health education, tele-dentistry services in underserved regions, community water fluoridation advocacy, and participation in vaccination or screening campaigns for oral and systemic diseases. The adoption of digital health technologies, artificial intelligence, and data-

driven public health surveillance further expands their potential to contribute to early diagnosis, personalized care, and large-scale health monitoring. These innovations, combined with a growing global awareness of oral health's relevance to noncommunicable diseases, point toward a future in which family dentists act not merely as service providers but as public health leaders. The family dentists are uniquely positioned to bridge the gap between individual clinical practice and collective health promotion. By reimagining their role within the broader framework of primary care and global public health, and by addressing structural barriers, family dentistry can evolve into a cornerstone of sustainable healthcare systems. This paradigm shift requires international cooperation, research-driven policies, and innovative models of practice that place oral health at the heart of public health strategies worldwide.

The story of family dentistry and its evolving role in primary dental care and public health is deeply intertwined with the broader history of medicine, public health reform, and the changing nature of societies themselves. Oral health has long been treated as a discrete discipline, sometimes marginalized from the central currents of medicine, and yet its relevance has become increasingly undeniable as evidence demonstrates profound interconnections between oral health and systemic well-being. The modern family dentist, therefore, embodies a profession that is simultaneously clinical, educational, social, and political, tasked with addressing not only the immediate dental concerns of patients but also the larger determinants of health that shape populations globally. In an era defined by rapid technological innovation, global demographic shifts, and persistent inequalities, examining innovative perspectives on the role of family dentists is not merely an academic exercise but a necessity for guiding sustainable healthcare systems of the future.

Historically, dentistry developed in parallel to medicine, influenced by societal structures, guild traditions, and the evolution of surgical and prosthetic techniques. By the nineteenth century, dentistry began to formalize as a profession distinct from general medicine, with its own institutions, training pathways, and areas of expertise. This separation, however, created lasting consequences that still shape healthcare delivery today. Oral health became siloed, often excluded from public health frameworks and national health systems. Family dentists, working predominantly in private practice models, often became isolated from broader public health initiatives. This fragmentation has contributed to inequities in access and has delayed the recognition of oral health as a core component of general health. It is against this historical backdrop that the contemporary movement to reintegrate family dentistry into the fabric of public health gains urgency.

The conceptual framework of family dentistry has always emphasized continuity of care across the human lifespan, a principle that resonates strongly with primary care philosophies. Unlike specialized dental practices that focus on narrow clinical domains, family dentists manage the diverse needs of children, adults, and the elderly, often caring for multiple generations within the same household. This continuity not only strengthens patient-provider relationships but also enhances opportunities for preventive interventions, longitudinal health monitoring, and personalized care. The biopsychosocial model, increasingly adopted across healthcare disciplines, finds particular relevance here. Oral health is not simply a matter of biological pathology; it is shaped by psychosocial dynamics, economic circumstances, cultural practices, and environmental exposures. The family dentist, by virtue of their sustained engagement with individuals and families, is positioned to interpret and respond to this complex interplay of determinants.

Globally, the burden of oral disease remains staggering. Dental caries, periodontal disease, and tooth loss are among the most prevalent conditions worldwide, affecting billions of individuals and contributing to pain, functional limitations, and reduced quality of life. Oral cancers,

frequently diagnosed at late stages, add a layer of mortality and morbidity that disproportionately affects disadvantaged groups. These conditions do not exist in isolation; they intersect with systemic illnesses, exacerbate chronic disease trajectories, and generate significant economic costs for individuals and societies. The World Health Organization has increasingly highlighted oral health as a critical public health concern, yet translation of this recognition into concrete policy and funding remains inconsistent across regions. Family dentists, as front-line providers, carry the responsibility of addressing these global challenges not only within the operatory but also through advocacy, education, and participation in health systems reform.

In developed nations with well-resourced healthcare systems, family dentists face distinct opportunities and challenges. Preventive services are often more accessible, yet inequalities persist along socioeconomic lines. The elderly population, for example, is expanding rapidly in Europe, North America, and parts of Asia, bringing new complexities in managing polypharmacy, multimorbidity, and geriatric syndromes that have oral health implications. In these contexts, family dentists must adapt their practice models to include geriatric-friendly care, interdisciplinary collaboration with medical teams, and use of advanced technologies for monitoring systemic-oral interactions. In contrast, in low- and middle-income countries, the dominant challenge is lack of access. Dental services are often concentrated in urban centers, heavily reliant on out-of-pocket payments, and skewed toward treatment rather than prevention. Here, family dentists can play a transformative role through mobile clinics, community-based preventive programs, and tele-dentistry initiatives that bridge geographical barriers. These contrasting realities demonstrate that while the role of family dentists is globally significant, its expression is shaped by local epidemiology, policy environments, and resource constraints.

The integration of oral health into public health frameworks requires reimagining the dentist's role as not just a technical expert but as a public health leader. This involves participation in interdisciplinary health teams, contribution to surveillance systems, and active involvement in shaping policy. The evidence linking oral health with systemic diseases strengthens the argument for such integration. Periodontitis has been associated with increased risks of cardiovascular disease, adverse pregnancy outcomes, and poor glycemic control in diabetes. Conversely, systemic conditions like osteoporosis, HIV, and autoimmune diseases often manifest in the oral cavity, where family dentists may be the first to recognize signs. By identifying these conditions early, dentists can facilitate timely referrals and interventions, underscoring their potential as sentinels of general health. The COVID-19 pandemic further highlighted the importance of oral health providers in infectious disease control, vaccine advocacy, and maintaining continuity of care under crisis conditions. These lessons reinforce the indispensability of family dentists in public health resilience.

The future of family dentistry is also being shaped by technological innovation. Artificial intelligence offers new tools for risk prediction, diagnosis, and personalized treatment planning. Digital health technologies enable seamless sharing of patient data across disciplines, supporting integrated care pathways. Tele-dentistry expands access to underserved regions, while minimally invasive techniques and biomaterials enhance preventive and restorative care. Genomic science introduces possibilities for personalized oral healthcare, linking genetic risk factors with tailored preventive regimens. For family dentists, embracing these innovations requires continuous professional development, adaptability, and advocacy for equitable distribution of new technologies. Without attention to equity, technological progress risks deepening the divide between privileged and marginalized populations.

Policy and education reform are equally essential. Dental curricula must prepare future practitioners not only for clinical excellence but also for leadership in community health,

research, and interprofessional collaboration. This includes training in health economics, behavioral sciences, epidemiology, and digital health competencies. Policymakers, in turn, must address workforce distribution, ensuring incentives for family dentists to serve in rural and underserved areas. Universal health coverage schemes must explicitly include oral health, recognizing it as integral to overall well-being rather than as an optional or luxury service. International organizations, from the WHO to regional health bodies, have a vital role in harmonizing policy frameworks, supporting evidence-based guidelines, and fostering cross-border collaboration in oral health research and practice.

The intersection of family dentistry with global public health also aligns closely with the United Nations Sustainable Development Goals. Oral health contributes to Goal 3 on good health and well-being, but also intersects with goals related to education, reduced inequalities, and sustainable cities and communities. For instance, school-based oral health education improves both health and educational outcomes by reducing absenteeism due to pain. Advocacy for sugar reduction policies addresses both obesity and oral disease, illustrating the interconnectedness of health determinants. In this sense, family dentists can be viewed as agents of sustainable development, contributing to global agendas that transcend the boundaries of traditional dental practice.

The role of family dentists in contemporary healthcare has evolved considerably over the past century, reflecting broader transformations in medical science, public health policy, and societal expectations. Oral health, once regarded as a narrowly defined clinical discipline focused on the treatment of caries, periodontal disease, and tooth loss, is now recognized as a fundamental component of general health and well-being. Increasingly, oral conditions are understood not only as local problems but also as indicators and determinants of systemic health. This shifting paradigm has placed family dentists at the intersection of primary dental care and global public health, positioning them as essential providers of preventive services, educators, early diagnosticians, and advocates for equitable healthcare delivery. Exploring this expanded role requires a critical examination of both the challenges and opportunities shaping dental practice worldwide, as well as the evidence base that supports innovative approaches to integrating dentistry within public health frameworks.

Family dentistry, by definition, is rooted in continuity of care across the lifespan, spanning pediatric, adult, and geriatric populations. This longitudinal relationship fosters trust, familiarity, and consistent monitoring of oral health trajectories over time. Such continuity allows family dentists to recognize patterns of disease progression, identify early warning signs of systemic illnesses with oral manifestations, and provide holistic care that accounts for the biological, psychological, and social dimensions of health. The family dentist often serves as the first point of contact in dental systems, akin to the role of family physicians in general medicine. By being accessible, familiar, and patient-centered, family dentists are uniquely positioned to deliver preventive interventions that reduce the burden of oral diseases and to engage communities in health promotion activities that extend beyond the dental chair. This dual role situates family dentists not only as clinicians but also as integral actors in advancing public health goals.

The global burden of oral diseases underscores the urgent need for innovative strategies in primary dental care. According to the World Health Organization, oral diseases affect nearly 3.5 billion people worldwide, with dental caries being the most common noncommunicable disease globally. Periodontal disease, edentulism, and oral cancers further contribute to significant morbidity, impacting quality of life, nutritional status, employability, and social participation. The prevalence of these conditions reflects profound inequalities across socioeconomic strata, geographical regions, and healthcare systems. In many low- and middle-

income countries, access to affordable and timely dental care remains limited, with the majority of services concentrated in urban centers and dominated by private, fee-for-service models. Even in high-income nations with more comprehensive systems, disparities persist, particularly among marginalized populations such as migrants, rural residents, and socioeconomically disadvantaged groups. These inequities highlight systemic challenges that family dentists are well placed to address through community-based practice models, outreach, and integration with broader healthcare networks.

According epidemiological concerns, the evolving understanding of the relationship between oral health and systemic health has broadened the responsibilities of family dentists. Conditions such as diabetes, cardiovascular disease, respiratory illnesses, and autoimmune disorders demonstrate well-documented links with oral health status. Periodontitis, for instance, has been associated with adverse pregnancy outcomes, poor glycemic control, and increased cardiovascular risk. Likewise, oral manifestations are often the first indicators of systemic diseases such as HIV/AIDS or leukemia. These intersections underscore the need for family dentists to operate within multidisciplinary healthcare frameworks, collaborating with physicians, nurses, dietitians, and public health professionals to provide integrated, patient-centered care. As the global burden of chronic noncommunicable diseases rises, the dentist's role in prevention, early detection, and management becomes increasingly critical.

Despite their potential, family dentists face significant structural and systemic barriers that limit their contribution to public health. One major challenge is the traditional separation of dentistry from mainstream medicine, a division rooted in historical, educational, and financial frameworks. This separation has resulted in fragmented healthcare delivery, with oral health often excluded from public health policy, funding streams, and universal healthcare coverage. Consequently, dental services remain inaccessible to large segments of the population, reinforcing inequities and undermining global health targets. Another challenge lies in workforce distribution. Many countries report a maldistribution of dental professionals, with concentrations in urban areas and shortages in rural or underserved regions. Family dentists, who could play a pivotal role in addressing these disparities, are often constrained by limited resources, inadequate policy support, and insufficient integration into public health infrastructure.

The changing landscape of healthcare also demands innovation in the scope and delivery of family dental practice. Advances in digital technologies, artificial intelligence, and tele-dentistry are redefining how care is accessed, monitored, and delivered. Tele-dentistry, for example, has emerged as a powerful tool for extending services to remote communities, enabling consultations, triage, and preventive education where traditional in-person care is impractical. Similarly, digital diagnostic tools, chairside imaging, and AI-driven predictive analytics offer family dentists new capabilities in early disease detection and personalized care planning. Integrating these innovations into routine family dental practice has the potential to transform both individual and population-level outcomes. Yet the implementation of these technologies requires not only financial investment but also training, ethical oversight, and equitable distribution to prevent widening the digital divide.

Another important dimension is the dentist's role in community and population health promotion. Beyond the clinic, family dentists can act as advocates for preventive policies such as water fluoridation, sugar taxation, and smoking cessation initiatives. They can participate in school-based oral health programs, collaborate with local governments to design community-level prevention strategies, and engage in health literacy campaigns that empower individuals to take control of their oral health. These activities expand the dentist's role from an individual service provider to a public health actor with influence on structural determinants of health. In

this capacity, family dentists align with the broader goals of the United Nations Sustainable Development Goals, particularly those addressing health equity, education, and reduced inequalities.

Future directions in the role of family dentists must consider both opportunities and challenges in global contexts. In high-income countries, the focus may be on integrating dentistry with primary medical care, leveraging digital health technologies, and addressing aging populations with complex healthcare needs. In contrast, in low- and middle-income settings, the priority may lie in expanding access through mobile clinics, public-private partnerships, and preventive strategies tailored to local epidemiological profiles. Across all contexts, policy reform is essential to embed oral health into universal healthcare coverage, ensure equitable workforce distribution, and prioritize prevention over treatment. Academic institutions also play a critical role by reforming curricula to prepare dentists for broader roles in interdisciplinary teams and community health initiatives.

As the field evolves, family dentists must embrace an identity that combines clinical expertise with public health leadership, research engagement, and community advocacy. The evidence increasingly demonstrates that oral health cannot be isolated from overall health, nor can it be achieved without systemic interventions that address socioeconomic and cultural determinants. Family dentists stand at the forefront of this transformation, with the potential to bridge gaps in healthcare systems, promote equity, and contribute meaningfully to the well-being of populations worldwide. This reimagined role requires a global perspective that acknowledges diverse contexts, fosters innovation, and builds upon evidence to guide sustainable practice models. By situating family dentistry at the nexus of primary care and public health, we open the door to a more holistic, equitable, and forward-looking vision of healthcare for the twenty-first century.

The role of family dentists in primary dental care and public health is undergoing a profound transformation. No longer confined to the treatment of caries and extractions, the family dentist of the twenty-first century is envisioned as a clinician, educator, innovator, policy advocate, and public health leader. This expanded role is both an opportunity and a challenge, demanding new competencies, systemic reforms, and a global perspective that accounts for diverse cultural, economic, and epidemiological contexts. The future of oral health—and indeed of healthcare more broadly—depends on reimagining the contributions of family dentists to align with the realities of a complex, interconnected world. By integrating innovative practices, embracing evidence-based policy, and addressing structural barriers, family dentists can help build more equitable, resilient, and holistic health systems worldwide.

The concept of primary healthcare, established by the Alma-Ata Declaration in 1978 and reaffirmed by the Astana Declaration in 2018, emphasizes accessible, equitable, affordable, and comprehensive healthcare services as the foundation for achieving universal health coverage (UHC). Oral healthcare has increasingly been recognized as an indispensable component of this framework because oral diseases share numerous behavioral, environmental, and socioeconomic determinants with other major non-communicable diseases. Consequently, family dentistry has evolved from an isolated clinical specialty into an integral element of multidisciplinary primary healthcare systems that contribute to disease prevention, health promotion, early diagnosis, and long-term management of patients across all age groups.

The integration of oral healthcare into primary healthcare systems has become increasingly important because oral diseases frequently coexist with chronic systemic disorders. Scientific investigations have consistently demonstrated strong bidirectional relationships between periodontal disease and diabetes mellitus, cardiovascular disease, rheumatoid arthritis, chronic kidney disease, adverse pregnancy outcomes, Alzheimer's disease, respiratory infections, and

metabolic syndrome. Furthermore, oral infections may influence systemic inflammatory pathways through complex immunological mechanisms involving cytokine production, endothelial dysfunction, microbial dysbiosis, and chronic inflammatory responses. These findings have transformed the perception of oral health from an isolated anatomical concern into an essential determinant of overall health and longevity.

Evidence-Based Medicine provides a rigorous methodological framework for evaluating these complex interactions and translating scientific discoveries into clinical practice. The hierarchy of evidence—including systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, cohort studies, case-control investigations, cross-sectional research, and expert consensus—enables family dentists to critically assess the effectiveness, safety, and clinical applicability of preventive, diagnostic, and therapeutic interventions. Rather than relying solely upon personal experience or traditional clinical practices, evidence-based decision-making promotes standardized, reproducible, and scientifically validated patient care.

Within family dentistry, Evidence-Based Medicine extends beyond treatment selection to encompass comprehensive patient assessment, diagnostic accuracy, prognosis estimation, preventive counseling, healthcare quality improvement, and resource allocation. Clinical decision-making increasingly incorporates validated diagnostic criteria, standardized risk assessment tools, predictive algorithms, patient-reported outcome measures (PROMs), and evidence-based clinical practice guidelines developed by international professional organizations. Such approaches improve treatment consistency while minimizing unnecessary interventions, overtreatment, and healthcare expenditures.

One of the defining characteristics of family dentistry is continuity of care. Unlike episodic treatment models, family dentists often establish long-term therapeutic relationships with patients and families extending over several decades. This continuity enables clinicians to monitor disease progression, evaluate preventive interventions, reinforce healthy behaviors, identify emerging systemic conditions, and provide personalized healthcare recommendations based upon evolving patient needs. Longitudinal care also facilitates early recognition of hereditary oral diseases, developmental abnormalities, genetic syndromes, and familial risk factors influencing oral health outcomes.

Preventive oral healthcare remains the most cost-effective strategy for reducing the global burden of dental diseases. Dental caries and periodontal disease are largely preventable through scientifically validated interventions implemented before irreversible tissue destruction occurs. Community water fluoridation, fluoride toothpaste, professionally applied fluoride varnishes, fissure sealants, minimally invasive restorative dentistry, dietary counseling, oral hygiene education, tobacco cessation interventions, and regular preventive examinations have consistently demonstrated substantial effectiveness in improving population oral health. Evidence-Based Medicine enables family dentists to prioritize interventions supported by the strongest available scientific evidence while adapting recommendations to individual patient risk profiles.

Risk-based preventive care has become an increasingly important principle within modern family dentistry. Contemporary preventive strategies recognize that patients exhibit varying susceptibilities to oral diseases depending upon genetic, behavioral, environmental, socioeconomic, and medical factors. Personalized risk assessment incorporates variables such as previous caries experience, salivary function, fluoride exposure, dietary habits, tobacco use, alcohol consumption, systemic diseases, medication history, socioeconomic status, oral microbiome characteristics, and access to healthcare services. This individualized approach enhances preventive effectiveness while optimizing healthcare resource utilization.

The oral microbiome has emerged as one of the most rapidly expanding fields within oral health research. Advances in molecular microbiology, metagenomics, and microbial sequencing technologies have substantially improved understanding of the ecological balance between commensal microorganisms and pathogenic biofilms. Evidence suggests that disruption of microbial homeostasis contributes not only to dental caries and periodontal disease but also to systemic inflammatory disorders, cardiovascular disease, diabetes, gastrointestinal diseases, and adverse pregnancy outcomes. Family dentists therefore play a central role in maintaining oral microbial health through preventive interventions, patient education, antimicrobial stewardship, and minimally invasive therapeutic approaches.

Artificial intelligence represents another transformative innovation within evidence-based family dentistry. Machine learning algorithms have demonstrated increasing diagnostic accuracy in detecting dental caries, periodontal bone loss, periapical pathology, oral potentially malignant disorders, maxillofacial abnormalities, orthodontic treatment needs, and implant planning through automated analysis of radiographic and photographic images. Decision-support systems may assist clinicians by integrating patient history, clinical findings, radiographic data, laboratory investigations, and scientific evidence to generate individualized diagnostic and therapeutic recommendations. Nevertheless, successful implementation of artificial intelligence requires rigorous validation, ethical oversight, algorithm transparency, patient privacy protection, and continuous monitoring of clinical performance.

Digital dentistry has similarly revolutionized clinical workflows throughout family dental practice. Intraoral scanners, computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) systems, three-dimensional imaging, cone-beam computed tomography (CBCT), digital occlusal analysis, virtual treatment planning, and additive manufacturing technologies have improved precision, efficiency, patient comfort, and treatment predictability. These technologies facilitate minimally invasive procedures while reducing clinical errors, laboratory turnaround times, and overall treatment duration. Importantly, evidence-based evaluation remains essential for determining which digital innovations provide meaningful improvements in patient outcomes rather than merely increasing technological complexity or healthcare costs.

Teledentistry has gained substantial international attention following the COVID-19 pandemic. Remote consultations, virtual screening, electronic referrals, digital patient monitoring, and mobile health applications have expanded access to dental services, particularly among rural, underserved, and medically vulnerable populations. Scientific evidence suggests that teledentistry may improve access to preventive care, facilitate early diagnosis, enhance patient education, reduce unnecessary travel, and strengthen collaboration between primary healthcare providers and dental specialists. Nevertheless, issues concerning digital infrastructure, regulatory frameworks, reimbursement policies, data security, and professional training continue to influence widespread implementation.

Health literacy constitutes another essential determinant of successful family dental practice. Patients with limited oral health literacy frequently experience delayed treatment seeking, inadequate preventive behaviors, poor medication adherence, misunderstanding of professional recommendations, and reduced utilization of available healthcare services. Family dentists therefore assume important educational responsibilities by providing scientifically accurate, culturally appropriate, and understandable information regarding oral hygiene, nutrition, disease prevention, medication safety, and self-care practices. Effective communication strengthens shared decision-making while empowering patients to actively participate in maintaining lifelong oral health.

The growing burden of antimicrobial resistance has further increased the importance of evidence-based prescribing within family dentistry. Antibiotics remain among the most

frequently prescribed medications in dental practice; however, inappropriate prescribing contributes significantly to global antimicrobial resistance. Current evidence-based clinical guidelines emphasize restrictive antibiotic use, precise diagnosis, appropriate dosage selection, optimal treatment duration, and preference for definitive dental treatment whenever possible. Family dentists play a critical role in antimicrobial stewardship by balancing effective infection management with responsible prescribing practices that preserve antibiotic efficacy for future generations.

Patient safety has likewise become a central priority within contemporary family dentistry. Evidence-based safety initiatives include standardized infection prevention protocols, medication reconciliation, accurate patient identification, surgical safety checklists, radiation protection principles, adverse event reporting systems, clinical audit, quality assurance programs, and continuous professional education. These measures substantially reduce preventable complications while promoting public confidence in dental healthcare services.

Economic evaluations increasingly influence evidence-based healthcare decision-making. Cost-effectiveness analyses, cost-utility studies, budget impact assessments, and health technology evaluations assist policymakers and healthcare organizations in prioritizing interventions that maximize health benefits while maintaining financial sustainability. Preventive family dentistry consistently demonstrates favorable economic outcomes because early intervention reduces the need for complex restorative, prosthetic, surgical, and emergency treatments later in life. Consequently, investment in preventive oral healthcare represents both a clinical and economic priority for healthcare systems worldwide.

The future of family dentistry will be shaped by continued scientific innovation, digital transformation, personalized medicine, precision diagnostics, regenerative therapies, artificial intelligence, genomic technologies, behavioral sciences, and interdisciplinary healthcare integration. However, technological advancement alone will not ensure improved oral health outcomes. Sustainable progress requires that every innovation be critically evaluated through robust Evidence-Based Medicine principles to guarantee safety, effectiveness, equity, affordability, and long-term clinical value. Family dentists, as comprehensive primary oral healthcare providers, will remain central to translating scientific discoveries into high-quality patient care, strengthening public health systems, reducing global oral health inequalities, and supporting the achievement of Universal Health Coverage and the Sustainable Development Goals.

BACKGROUND

Oral health has undergone a profound conceptual transformation during the past several decades, evolving from a discipline primarily concerned with the treatment of dental diseases into an essential component of comprehensive primary healthcare and public health. Modern healthcare systems increasingly recognize that oral diseases are closely interconnected with systemic health, socioeconomic development, healthcare equity, and overall quality of life. Consequently, family dentistry has assumed an increasingly important role in delivering accessible, continuous, preventive, and patient-centered oral healthcare throughout the lifespan. This evolution has been driven by advances in scientific research, Evidence-Based Medicine (EBM), Evidence-Based Dentistry (EBD), technological innovation, healthcare policy reforms, and the growing emphasis on interdisciplinary collaboration within primary healthcare systems.

Globally, oral diseases remain among the most common chronic health conditions. Dental caries, periodontal diseases, edentulism, oral cancer, developmental anomalies, traumatic dental injuries, and oral manifestations of systemic diseases continue to affect billions of individuals regardless of age, sex, ethnicity, or socioeconomic status. Although many oral diseases are largely preventable, they continue to impose substantial clinical, psychological, social, and

economic burdens on individuals and healthcare systems. Untreated oral conditions frequently result in pain, impaired mastication, nutritional deficiencies, and communication difficulties, reduced educational performance, decreased workplace productivity, diminished quality of life, and increased healthcare expenditures. These challenges highlight the necessity of strengthening family dentistry within primary oral healthcare frameworks.

Historically, dental care was predominantly treatment-oriented, focusing on restoring damaged teeth after disease had already developed. During much of the twentieth century, restorative procedures, tooth extraction, prosthetic rehabilitation, and surgical interventions constituted the principal activities of general dental practice. However, growing scientific evidence demonstrated that preventive strategies are considerably more effective, less invasive, and more economical than treating advanced oral diseases. This paradigm shift encouraged the gradual transition toward prevention-centered family dentistry emphasizing disease prevention, risk assessment, patient education, behavioral modification, and long-term health maintenance.

The emergence of Evidence-Based Medicine during the early 1990s fundamentally transformed clinical practice across all healthcare disciplines, including dentistry. Evidence-Based Medicine introduced a structured methodology for integrating the highest-quality scientific evidence with professional clinical expertise and individual patient preferences. Rather than relying exclusively upon personal experience, expert opinion, or traditional practices, clinicians increasingly adopted systematic approaches to clinical decision-making supported by robust scientific investigations. The adaptation of these principles to dentistry gave rise to Evidence-Based Dentistry, which has become the scientific foundation for contemporary family dental practice.

Evidence-Based Dentistry utilizes systematic reviews, meta-analyses, randomized controlled trials, observational studies, clinical practice guidelines, health technology assessments, and evidence synthesis to determine the effectiveness, safety, and clinical applicability of diagnostic procedures, preventive interventions, restorative techniques, periodontal therapies, prosthodontic treatments, and pharmacological management. This scientific approach has improved diagnostic accuracy, therapeutic effectiveness, patient safety, treatment predictability, and healthcare quality while minimizing unnecessary procedures and reducing clinical variability.

The increasing recognition of the relationship between oral health and systemic diseases has further expanded the responsibilities of family dentists. Scientific investigations have demonstrated strong associations between periodontal disease and diabetes mellitus, cardiovascular disease, chronic kidney disease, respiratory infections, rheumatoid arthritis, Alzheimer's disease, adverse pregnancy outcomes, obesity, and metabolic syndrome. Likewise, oral manifestations frequently provide early clinical indicators of hematological disorders, immunodeficiency syndromes, autoimmune diseases, nutritional deficiencies, gastrointestinal diseases, endocrine disorders, and infectious diseases. Consequently, family dentists have become essential members of multidisciplinary healthcare teams responsible for early disease detection, preventive counseling, referral coordination, and long-term patient management.

Family dentistry differs fundamentally from many dental specialties because it provides comprehensive oral healthcare across the entire lifespan. Family dentists manage patients from infancy through older adulthood, addressing preventive care, restorative dentistry, pediatric dentistry, periodontal treatment, prosthodontics, oral medicine, minor oral surgery, emergency care, and maintenance therapy within a continuous patient–provider relationship. This continuity facilitates early disease recognition, personalized preventive strategies, behavioral counseling, chronic disease monitoring, and comprehensive healthcare planning tailored to individual patient needs.

Preventive dentistry constitutes the scientific and clinical foundation of family dental practice. Contemporary evidence consistently supports the effectiveness of fluoride therapy, pit-and-fissure sealants, minimally invasive operative techniques, dietary modification, oral hygiene education, tobacco cessation counseling, periodontal maintenance programs, professional prophylaxis, and individualized recall intervals in preventing oral diseases. Scientific advances have demonstrated that risk-based prevention significantly improves clinical outcomes while reducing healthcare costs associated with advanced restorative and surgical treatment.

The concept of risk assessment has become increasingly important within evidence-based family dentistry. Individual susceptibility to oral diseases varies considerably according to genetic predisposition, age, medical conditions, medication use, dietary habits, tobacco exposure, alcohol consumption, socioeconomic status, oral hygiene behaviors, salivary function, microbiological factors, and environmental influences. Modern family dentists utilize comprehensive risk assessment models to personalize preventive interventions, optimize treatment planning, and improve long-term oral health outcomes.

Technological innovation has substantially reshaped contemporary family dental practice. Digital radiography, cone-beam computed tomography (CBCT), intraoral scanning, computer-aided design and manufacturing (CAD/CAM), digital impression systems, three-dimensional printing, laser dentistry, regenerative biomaterials, artificial intelligence, machine learning, and telehealth platforms have improved diagnostic precision, treatment efficiency, patient comfort, and clinical predictability. These innovations have enhanced minimally invasive approaches while facilitating more accurate diagnosis, individualized treatment planning, and improved communication between healthcare providers and patients.

Artificial intelligence has emerged as one of the most promising developments in evidence-based oral healthcare. AI-assisted diagnostic systems have demonstrated increasing capability in identifying dental caries, periodontal bone loss, periapical pathology, oral potentially malignant disorders, orthodontic treatment requirements, implant planning, and maxillofacial abnormalities through automated image interpretation. Clinical decision-support algorithms may further assist practitioners by integrating patient history, diagnostic imaging, laboratory findings, and current scientific evidence to generate individualized management recommendations. Nevertheless, widespread implementation requires rigorous clinical validation, ethical governance, transparency, cybersecurity, and regulatory oversight.

The COVID-19 pandemic highlighted both the vulnerabilities and resilience of global oral healthcare systems. Temporary closure of dental clinics, postponement of elective procedures, shortages of personal protective equipment, and concerns regarding aerosol-generating procedures challenged routine dental practice worldwide. Simultaneously, the pandemic accelerated adoption of teledentistry, enhanced infection prevention protocols, strengthened evidence-based clinical guidelines, and promoted interdisciplinary healthcare collaboration. These experiences continue to influence modern approaches to emergency preparedness, infection control, healthcare resilience, and digital transformation within family dentistry.

Population aging represents another major factor influencing the development of family dentistry. Improvements in life expectancy have resulted in growing numbers of older adults retaining natural dentition while simultaneously experiencing chronic diseases, polypharmacy, cognitive impairment, frailty, implant-supported restorations, xerostomia, root caries, and complex restorative needs. Family dentists increasingly manage medically compromised patients requiring individualized treatment planning, comprehensive risk assessment, medication review, and close collaboration with physicians, pharmacists, geriatricians, and other healthcare professionals.

Socioeconomic inequalities remain among the greatest barriers to equitable oral healthcare worldwide. Individuals living in rural regions, underserved communities, and low-resource settings frequently experience limited access to qualified dental professionals, preventive services, health insurance coverage, oral health education, and affordable treatment. These disparities contribute to delayed diagnosis, advanced disease progression, preventable tooth loss, and poorer overall health outcomes. Public health initiatives increasingly emphasize community-based prevention, school oral health programs, maternal and child oral healthcare, workforce development, and integration of oral health into national healthcare policies to reduce these inequalities.

Education and lifelong professional development remain fundamental to evidence-based family dentistry. Undergraduate curricula, postgraduate residency training, continuing professional development programs, and clinical research initiatives increasingly emphasize epidemiology, biostatistics, critical appraisal, research methodology, clinical guideline implementation, digital health technologies, and quality improvement. Continuous education enables family dentists to adapt to rapidly evolving scientific evidence while maintaining high standards of clinical competence and patient safety.

Healthcare quality improvement has likewise become a central objective within modern family dentistry. Evidence-based quality indicators, clinical audits, patient-reported outcome measures, standardized treatment protocols, infection prevention strategies, medication safety initiatives, radiation protection standards, and continuous performance evaluation collectively enhance clinical effectiveness and patient satisfaction. Quality assurance systems facilitate accountability, transparency, and continuous improvement while supporting evidence-informed policy development and healthcare planning.

International organizations, including the World Health Organization, the FDI World Dental Federation, the International Association for Dental Research, and numerous national professional associations, increasingly advocate integrating oral healthcare into primary healthcare systems through evidence-based preventive strategies and multidisciplinary collaboration. Their recommendations emphasize strengthening workforce capacity, expanding preventive services, promoting universal access to oral healthcare, enhancing health literacy, and supporting scientific research capable of addressing emerging global oral health challenges.

Within this evolving scientific landscape, family dentistry occupies a unique position at the intersection of clinical dentistry, preventive medicine, public health, healthcare policy, behavioral sciences, and evidence-based clinical practice. The profession continues to evolve in response to demographic changes, technological innovation, scientific discoveries, healthcare reforms, and growing expectations for patient-centered care. Understanding the historical development, scientific foundations, contemporary challenges, and future opportunities of family dentistry provides the necessary context for evaluating its expanding contribution to primary oral healthcare and global public health. This background forms the basis for examining how Evidence-Based Medicine can further strengthen family dentistry, improve healthcare quality, reduce oral health inequalities, and support sustainable healthcare development worldwide.

The landscape of primary healthcare is perpetually evolving, shaped by the relentless currents of scientific discovery, demographic shifts, economic pressures, and a deepening understanding of the intricate links between oral health and systemic well-being. At the heart of this dynamic field, particularly within the domain of dentistry, stands the family dentist—a professional whose role, while traditionally foundational, is now being re-examined and redefined through innovative perspectives. The title "Innovative Perspectives on the Role of Family Dentists in Primary Dental Care and Public Health: Challenges, Evidence, and Future Directions Globally"

encapsulates a critical inquiry into the future of oral healthcare delivery. To fully appreciate the necessity of this inquiry, one must first traverse the historical context of dental care, comprehend the modern burden of oral diseases, understand the paradigm shift towards a health-centric model, and recognize the unique position of the family dentist at the convergence of individual care and community health. This background sets the stage for exploring the challenges that constrain this potential, the evidence that supports an expanded role, and the future directions that could redefine global oral health.

The historical trajectory of dentistry offers crucial insights into its present state. For centuries, dental care was largely remedial, a response to pain and infection, often delivered by barbers or general physicians with limited tools and knowledge. The professionalization of dentistry in the 19th and 20th centuries established it as a distinct medical field, leading to standardized education, licensure, and the development of sophisticated techniques for restoring form and function. This era cemented the surgical and restorative model of care, a model that overwhelmingly focused on the treatment of disease after its manifestation. The family dentist, or general dental practitioner, emerged as the primary point of contact within this system, responsible for diagnosing decay and periodontal disease, performing fillings, extractions, and prosthetics, and providing basic preventive advice, typically centered on oral hygiene instruction. This model achieved significant successes, relieving immense suffering and restoring the ability to eat and speak for millions. However, it was inherently limited, often operating in isolation from the broader healthcare system and focusing on a narrow set of oral conditions rather than the patient's overall health status. The dental practice was frequently seen as a separate entity, a workshop for the mouth, rather than an integral component of primary healthcare.

This historical separation is particularly significant given the overwhelming and persistent global burden of oral diseases. According to the Global Burden of Disease Study, oral conditions affect nearly three and a half billion people worldwide, making them the most common non-communicable diseases (NCDs). Untreated dental caries in permanent teeth is the single most prevalent condition, affecting a significant portion of the global population. Periodontal disease, a major cause of tooth loss, is also immensely widespread. The impact of these diseases extends far beyond the mouth. They are a leading cause of pain and suffering, leading to missed school days, reduced workplace productivity, and diminished quality of life. The psychosocial consequences can be severe, affecting self-esteem, social interaction, and even nutritional status, as individuals may avoid certain foods due to dental problems. Crucially, the distribution of this burden is not equitable. A profound disparity exists, with marginalized populations—including those of low socioeconomic status, racial and ethnic minorities, rural communities, the elderly, and individuals with special needs—disproportionately affected. These populations face formidable barriers to accessing traditional dental care, including cost, geographic availability, cultural factors, and fear. This inequity underscores the failure of a purely treatment-oriented, clinic-based model to address the population-level needs of oral health. It highlights the urgent necessity for approaches that transcend the confines of the dental chair and address the social, economic, and environmental determinants of health.

It is within this context of historical limitation and overwhelming need that a powerful paradigm shift has gained momentum: the recognition of the inextricable link between oral health and general systemic health. This is perhaps the most significant development shaping innovative perspectives on the role of dentistry. The mouth is not an isolated organ; it is a gateway to the body and a mirror reflecting overall health. Robust scientific evidence now solidly links poor oral health, particularly periodontitis, to a range of serious systemic conditions. The chronic inflammation associated with periodontal disease has been implicated in the pathogenesis and

progression of cardiovascular diseases, including atherosclerosis and endocarditis. It is a recognized comorbidity for diabetes, with a well-established bidirectional relationship where diabetes increases the risk for periodontitis, and severe periodontitis can adversely affect glycemic control. Associations have also been found with adverse pregnancy outcomes, respiratory diseases like pneumonia, and rheumatoid arthritis. Furthermore, the oral cavity can be the site of manifestations of systemic diseases and a source of pathogens that can compromise individuals with weakened immune systems. This biological integration demands a clinical integration. It is no longer tenable for oral healthcare to operate in a silo, separate from the rest of medicine. The mouth must be reintegrated into the body for healthcare purposes, necessitating collaboration, shared patient records, and interprofessional education and practice.
The paradigm shift is further reinforced by the evolving concept of primary healthcare, as championed by the World Health Organization. The seminal Alma-Ata Declaration defined primary healthcare as essential care based on practical, scientifically sound, and socially acceptable methods, made universally accessible to individuals and families through their full participation and at a cost the community can afford. It emphasizes health promotion, disease prevention, and addressing the wider determinants of health, not just curative services. This holistic, person-centered approach stands in contrast to a narrow, disease-focused model. For dentistry, this means moving beyond a "drill-and-fill" mentality to embrace a role that includes health education, dietary counseling, tobacco cessation programs, early childhood caries prevention initiatives, and community-wide outreach. It positions oral health as a fundamental component of overall health and well-being, not a luxury or an afterthought.
It is at the precise intersection of this new health paradigm and the existing dental care infrastructure that the family dentist finds a new and vastly expanded potential role. The family dentist is uniquely positioned to be a key agent of change in this new era. Unlike dental specialists who focus on a specific area of the mouth or a particular procedure, the family dentist provides continuous, comprehensive, and personalized care to individuals and families across all age groups. They often see multiple generations of the same family, granting them a longitudinal view of their patients' health histories, social circumstances, and risk factors. This continuity of care fosters trust and a therapeutic relationship that is essential for effective health promotion and behavioral change. The family dental practice, therefore, is not just a treatment center but a potential health hub within the community. This existing, widespread network of primary oral care providers represents an immense and underutilized resource for public health. The innovative perspective argues that the family dentist must be empowered and supported to step into this broader role, transitioning from a sole focus on technical procedures to becoming an oral physician and a health advocate.
ThE expanded role encompasses several key dimensions. First is the embrace of a true preventive and health-promotion model. This goes beyond telling patients to brush and floss. It involves conducting detailed caries and periodontal risk assessments, applying evidence-based preventive agents like fluoride varnishes and dental sealants, and providing personalized coaching on diet and lifestyle. Second is the role of an early screener and health sentinel. The family dentist, during a routine examination, is in an ideal position to identify early signs of systemic conditions. This can include screening for oral cancer through visual and tactile examinations, checking for signs of eating disorders, noting manifestations of vitamin deficiencies, and identifying patients with undiagnosed diabetes based on oral symptoms. They can then refer patients to physicians for diagnosis and management, facilitating early intervention. Third is the critical function of navigation and care coordination. The family dentist can serve as the point of contact, helping patients navigate the complex healthcare system, communicating with physicians, pharmacists, and other health professionals to ensure

integrated and coherent care. Finally, there is a community-level public health role. Family dentists can engage with local schools to provide sealant programs, participate in health fairs, advocate for community water fluoridation, and collaborate with public health agencies on outreach programs targeting vulnerable populations.

However, this promising vision is fraught with formidable challenges that must be acknowledged. The existing dental care systems in many countries are not structured to support or incentivize this expanded, preventive, and health-oriented role. Payment models, particularly fee-for-service structures, often reimburse for procedures like fillings and crowns more generously than for time-consuming preventive counseling, risk assessments, or interprofessional collaboration. This creates a significant financial disincentive for dentists to practice in this new way. The dental curriculum, while increasingly incorporating these concepts, has historically been focused on technical proficiency and restorative skills, leaving many practicing dentists underprepared for roles in screening, health communication, and public health advocacy. There is a pressing need for continuing education and professional development in these areas. Furthermore, deep-seated silos between dentistry and medicine persist, characterized by separate electronic health records, a lack of common language, and limited opportunities for interprofessional learning and practice. Overcoming these structural and cultural barriers is essential. Finally, the global context adds another layer of complexity. The challenges and potential solutions for a family dentist in a high-income country with a well-developed infrastructure will be vastly different from those facing a provider in a low-resource setting where access to basic care, electricity, and even clean water may be limited. A one-size-fits-all approach is impossible; innovative perspectives must be adaptable and context-specific.

Reimagining the role of the family dentist is built upon a confluence of factors: a historical model that has proven insufficient to address global needs, the staggering and inequitable burden of oral disease, the revolutionary understanding of the oral-systemic health connection, and the aligning principles of modern primary healthcare. The family dentist, with their unique position of trust and continuity of care, is poised to evolve from a technical restorer of teeth into a comprehensive primary healthcare provider and public health advocate. This evolution is not merely a desirable enhancement but a necessary response to global health challenges. The path forward requires a critical examination of the evidence supporting this expanded role, a clear-eyed assessment of the systemic and educational challenges that impede it, and a global dialogue to forge future directions that can unlock the immense potential of family dentists to improve not just oral health, but overall health and well-being for populations around the world. This paper will delve into these very issues, exploring the challenges, synthesizing the evidence, and proposing innovative pathways for the future.

The scientific foundation of family dentistry has expanded considerably as healthcare has shifted toward integrated, multidisciplinary models of care. Historically, dentistry functioned largely as an independent profession with limited interaction with general medical practice. However, growing evidence demonstrating the complex relationships between oral health and systemic diseases has fundamentally altered this perspective. Modern healthcare increasingly recognizes that oral and general health are inseparable, requiring collaborative approaches involving dentists, physicians, nurses, pharmacists, nutritionists, psychologists, speech therapists, public health specialists, and other healthcare professionals. Family dentists are now expected to contribute not only to oral disease management but also to broader healthcare objectives, including chronic disease prevention, health promotion, patient education, and early identification of systemic illnesses.

The integration of family dentistry into multidisciplinary primary healthcare has been facilitated by advances in epidemiological research. Large-scale population studies have consistently

identified oral diseases as significant contributors to disability-adjusted life years (DALYs), productivity losses, educational impairment, and healthcare expenditures. Dental caries remains the most prevalent disease globally, while severe periodontal disease ranks among the leading chronic inflammatory conditions affecting adults. Tooth loss, although declining in many developed countries, continues to impose considerable functional and psychosocial burdens, particularly among aging populations. These epidemiological findings have strengthened the argument that oral health should be incorporated into national healthcare planning, preventive medicine, and universal health coverage strategies.

Health promotion has become a defining principle of contemporary family dentistry. The Ottawa Charter for Health Promotion established the importance of enabling individuals and communities to improve control over determinants of health rather than focusing exclusively on disease treatment. Within family dentistry, health promotion encompasses oral health education, nutritional counseling, tobacco cessation, alcohol reduction, behavioral modification, community engagement, and environmental interventions that collectively reduce oral disease risk. Family dentists serve as trusted healthcare professionals capable of delivering consistent preventive messages throughout the patient's life course, thereby supporting healthier behaviors and improved long-term outcomes.

Behavioral sciences have become increasingly important in evidence-based family dentistry because many oral diseases are directly influenced by lifestyle factors. Regular toothbrushing with fluoride toothpaste, dietary sugar consumption, smoking, alcohol use, oral hygiene practices, stress management, and healthcare utilization patterns significantly affect oral health status. Evidence-based behavioral interventions, including motivational interviewing, shared decision-making, cognitive behavioral approaches, and personalized health coaching, have demonstrated effectiveness in improving patient adherence to preventive recommendations. Family dentists are therefore required to develop communication skills that extend beyond technical clinical competence to include patient motivation, education, and behavioral change strategies.

Another significant development has been the increasing emphasis on patient-centered care. Traditional healthcare models often focused primarily on clinician-directed treatment decisions. In contrast, patient-centered dentistry emphasizes respect for patient preferences, cultural values, health beliefs, financial circumstances, and individual treatment goals. Evidence-Based Medicine supports this approach by integrating high-quality scientific evidence with professional expertise and informed patient participation. Shared decision-making strengthens therapeutic relationships, improves treatment adherence, enhances patient satisfaction, and promotes more successful long-term clinical outcomes.

Healthcare quality measurement has likewise evolved substantially within family dentistry. Modern quality assessment extends beyond technical treatment success to include patient-reported outcomes, functional improvement, quality of life, patient safety, access to care, treatment efficiency, equity, and healthcare sustainability. Standardized quality indicators enable clinicians and healthcare organizations to evaluate clinical performance objectively while identifying opportunities for continuous improvement. Evidence-based quality improvement initiatives contribute to safer healthcare delivery, reduced clinical variation, improved patient satisfaction, and more efficient utilization of healthcare resources.

The emergence of precision dentistry represents another important milestone in the evolution of family dental practice. Precision dentistry applies advances in genomics, proteomics, metabolomics, microbiomics, and digital health technologies to individualize prevention, diagnosis, and treatment. Genetic susceptibility testing, salivary biomarkers, microbiome analysis, artificial intelligence algorithms, and digital risk prediction models increasingly

enable clinicians to identify high-risk patients before disease develops. Family dentists are uniquely positioned to implement these innovations because of their long-term relationships with patients and comprehensive understanding of medical history, lifestyle, family history, and behavioral risk factors.

Scientific advances in oral microbiology have significantly enhanced understanding of disease mechanisms. The oral cavity contains one of the most complex microbial ecosystems in the human body, comprising hundreds of bacterial, viral, fungal, and archaeal species interacting within dynamic biofilm communities. Healthy oral microbiota contribute to immune regulation and resistance against pathogenic colonization, whereas dysbiosis promotes dental caries, periodontal disease, peri-implantitis, halitosis, and opportunistic infections. Increasing evidence also links oral microbial imbalance to systemic inflammatory disorders, cardiovascular disease, diabetes, colorectal cancer, rheumatoid arthritis, and adverse pregnancy outcomes. Consequently, maintaining oral microbial homeostasis has become a central objective of preventive family dentistry.

Regenerative dentistry has emerged as an innovative research field with significant implications for future family dental practice. Advances in stem cell biology, tissue engineering, biomaterials, growth factors, scaffold technologies, and regenerative pharmacology have created opportunities to restore damaged dental tissues rather than merely replacing them with artificial materials. Although many regenerative therapies remain under clinical investigation, evidence suggests substantial potential for pulp regeneration, periodontal tissue reconstruction, bone regeneration, salivary gland repair, and bioengineered tooth replacement. Family dentists may increasingly participate in applying regenerative therapies as these technologies become integrated into routine clinical practice.

Environmental sustainability has also become an emerging consideration within modern dentistry. Healthcare systems contribute substantially to carbon emissions, waste generation, water consumption, and environmental pollution. Dental practices generate significant quantities of plastic waste, chemical materials, radiographic products, amalgam residues, and single-use devices. Growing scientific attention has therefore focused on environmentally sustainable dentistry through digital documentation, eco-friendly materials, responsible waste management, energy-efficient technologies, reduced chemical exposure, and sustainable procurement practices. Family dentists increasingly balance high-quality patient care with environmental responsibility, reflecting broader global commitments to sustainable development.

Health economics provides additional justification for strengthening family dentistry within primary healthcare systems. Numerous economic evaluations demonstrate that preventive oral healthcare produces favorable cost-effectiveness ratios compared with restorative and surgical interventions required for advanced disease. Early diagnosis, fluoride-based prevention, periodontal maintenance, minimally invasive restorative care, and patient education substantially reduce long-term healthcare expenditures while improving quality-adjusted life years (QALYs). Policymakers increasingly recognize that investment in family dentistry not only improves population health but also generates economic benefits by reducing hospital admissions, emergency care utilization, productivity losses, and disability associated with untreated oral diseases.

Global workforce challenges continue to influence access to family dental services. Many countries experience shortages of dental professionals, unequal geographic distribution of practitioners, aging workforces, and inadequate integration between public and private healthcare sectors. Rural communities frequently face substantial barriers to obtaining timely oral healthcare, resulting in delayed diagnosis, advanced disease progression, and preventable

complications. Evidence supports innovative workforce models involving expanded roles for dental hygienists, dental therapists, community oral health workers, and interprofessional collaboration to improve service accessibility while maintaining quality standards.

Digital health technologies have significantly expanded opportunities for patient engagement and healthcare delivery. Mobile health applications, wearable monitoring devices, electronic health records, patient portals, virtual consultations, cloud-based imaging systems, and artificial intelligence-assisted decision support facilitate continuous communication between patients and healthcare providers. These technologies improve appointment adherence, medication compliance, preventive education, and remote monitoring while enhancing continuity of care. Family dentists increasingly utilize digital platforms to strengthen preventive services and support long-term patient management.

Research methodology has likewise evolved considerably within evidence-based family dentistry. Contemporary investigations increasingly employ randomized controlled trials, systematic reviews, network meta-analyses, umbrella reviews, real-world evidence studies, implementation science, comparative effectiveness research, and patient-reported outcome measures. These methodological advances generate higher-quality scientific evidence capable of informing clinical guidelines, healthcare policies, and professional education. Simultaneously, increasing emphasis on research transparency, reproducibility, open science, ethical governance, and standardized reporting enhances the reliability and clinical applicability of published evidence.

Global health organizations continue to advocate for greater integration of oral health within broader public health initiatives addressing non-communicable diseases, maternal and child health, healthy aging, antimicrobial stewardship, digital health transformation, and sustainable healthcare systems. Family dentistry occupies a strategic position within these initiatives because it combines preventive medicine, clinical care, health promotion, behavioral intervention, and community engagement within a single professional discipline. This integrated approach aligns closely with the objectives of Universal Health Coverage, the WHO Global Oral Health Action Plan, and the United Nations Sustainable Development Goals, particularly those related to good health and well-being, reduced inequalities, quality education, and sustainable communities.

The background of modern family dentistry reflects decades of scientific advancement, healthcare reform, technological innovation, and growing recognition of the inseparable relationship between oral and systemic health. The transition from procedure-oriented dentistry to evidence-based, prevention-focused, patient-centered, and integrated primary oral healthcare represents one of the most significant developments in contemporary healthcare. Continued investment in scientific research, professional education, digital innovation, public health policy, and interdisciplinary collaboration will further strengthen the role of family dentists in improving population health, reducing oral health disparities, enhancing healthcare quality, and achieving sustainable global oral healthcare for present and future generations.

GOAL

The primary goal of this study is to critically examine and redefine the role of family dentists within the dual contexts of primary dental care and public health on a global scale. Specifically, it seeks to explore innovative perspectives that highlight how family dentists contribute to disease prevention, health promotion, and systemic healthcare integration beyond their traditional clinical responsibilities. By analyzing challenges such as inequitable access, workforce distribution, and policy fragmentation, alongside emerging opportunities created by technological advancements, interprofessional collaboration, and public health initiatives, the

study aims to provide a comprehensive understanding of the evolving responsibilities of family dentists. The broader objective is to generate evidence-based insights that can inform healthcare policy, guide curriculum reform in dental education, and promote sustainable strategies that position family dentists as pivotal actors in advancing population health and achieving global health equity.

METHODOLOGY

The present study employed a narrative review and analytical synthesis approach in order to explore the evolving role of family dentists within the dual frameworks of primary dental care and public health at a global level. Given the complex and multifaceted nature of the topic, the methodology was designed to capture not only empirical data but also conceptual perspectives, policy frameworks, and innovative practices shaping the field. Unlike systematic reviews that rely on rigid inclusion and exclusion criteria, the narrative review strategy enabled a broader exploration of diverse sources, encompassing scientific literature, public health reports, international policy documents, and emerging evidence from both high-income and low- and middle-income countries.

The review process began with an extensive literature search across major academic databases, including PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar, covering the period from 2015 to 2025. To peer-reviewed journal articles, grey literature was included to provide a comprehensive picture of the topic. This encompassed World Health Organization reports, guidelines issued by national dental associations, position papers from global health organizations, and governmental policy frameworks related to oral health integration into primary care systems. Including grey literature allowed the study to account for policy-level insights and practical experiences that may not yet have been captured in academic publications but which are central to understanding real-world challenges and solutions.

Sources were screened for relevance based on their focus on family dentists, their role in primary care, or their contributions to public health. Studies that addressed only narrow aspects of clinical dentistry without broader reference to systemic, policy, or public health implications were excluded. Priority was given to literature that provided evidence of integration between oral and general health, explored innovative strategies such as tele-dentistry and artificial intelligence, or highlighted global disparities in access and workforce distribution. Data extraction focused on identifying recurring themes, innovations, challenges, and proposed future directions. The analysis was guided by an interpretive framework that combined the biopsychosocial model of health with public health systems theory. This framework allowed for exploration of how family dentists contribute not only to clinical outcomes but also to community health, social equity, and health system sustainability. The extracted findings were organized thematically into categories such as preventive care, systemic disease interactions, technological innovations, workforce challenges, policy integration, and global health implications. These themes provided the structure for synthesis and interpretation in the subsequent sections of the study.

Critical appraisal of the evidence was undertaken to assess the robustness, limitations, and applicability of findings across different contexts. Rather than applying rigid scoring systems, the appraisal was qualitative, focusing on identifying gaps in evidence, contextual limitations, and areas where further research is needed. Comparative perspectives were applied to highlight differences between high-income and low- and middle-income countries, as well as between regions with varying policy approaches to oral health.

By combining diverse sources of evidence with conceptual analysis, this methodology enabled a holistic examination of the role of family dentists in both primary care and public health

globally. The approach reflects the understanding that oral health cannot be adequately studied in isolation but must be contextualized within broader social, cultural, economic, and political frameworks. The chosen methodology also provides flexibility to integrate future innovations and emerging evidence, ensuring that the study remains relevant in the rapidly changing landscape of global health.

RESULTS AND DISCUSSION

The transformation of family dentistry within primary oral healthcare represents one of the most significant paradigm shifts in contemporary healthcare systems. Evidence-based medicine (EBM) has fundamentally redefined the principles of oral disease prevention, diagnosis, treatment, and long-term patient management by integrating the highest quality scientific evidence with clinical expertise and patient-centered decision-making. Family dentistry has evolved beyond the traditional model of restorative care to become a comprehensive component of integrated primary healthcare, emphasizing disease prevention, health promotion, early diagnosis, personalized interventions, interdisciplinary collaboration, and continuous quality improvement.

The present scientific discourse demonstrates that oral diseases remain among the most prevalent chronic conditions worldwide despite remarkable technological and clinical advancements. Dental caries, periodontal diseases, tooth loss, oral infections, oral cancer, temporomandibular disorders, and developmental anomalies continue to affect billions of individuals across all socioeconomic groups. These conditions substantially reduce quality of life, increase healthcare expenditures, impair nutritional status, negatively influence systemic health, and contribute to social inequalities. Consequently, modern family dentistry increasingly emphasizes preventive healthcare strategies supported by robust clinical evidence.

Evidence-based clinical protocols consistently demonstrate that preventive interventions provide substantially greater long-term health benefits than treatment-oriented approaches alone. Comprehensive preventive programs—including professional fluoride applications, pit and fissure sealants, oral hygiene instruction, dietary counseling, tobacco cessation support, individualized risk assessment, and routine preventive examinations—have significantly reduced the incidence of dental caries and periodontal disease across numerous populations. These preventive interventions are especially effective when implemented during childhood and maintained throughout adulthood.

Current evidence further indicates that risk-based personalized prevention significantly improves clinical outcomes compared with standardized treatment protocols. Individualized patient assessment incorporating genetic predisposition, behavioral factors, systemic health conditions, socioeconomic determinants, dietary habits, oral microbiome characteristics, and environmental influences enables clinicians to tailor preventive and therapeutic interventions more precisely. Precision dentistry therefore represents an emerging cornerstone of evidence-based family dental practice.

Research findings demonstrate that family dentists occupy an increasingly important position within multidisciplinary primary healthcare teams. Oral health is now widely recognized as an essential component of overall systemic health. Numerous epidemiological and clinical studies have established strong associations between periodontal disease and diabetes mellitus, cardiovascular disease, adverse pregnancy outcomes, respiratory infections, rheumatoid arthritis, chronic kidney disease, Alzheimer's disease, metabolic syndrome, and various inflammatory disorders. These findings support the integration of dental professionals into broader chronic disease prevention and management programs.

Clinical evidence indicates that successful management of diabetic patients requires coordinated collaboration between physicians, endocrinologists, dental professionals, nutritionists, pharmacists, and public health specialists. Effective periodontal therapy improves glycemic control, while optimal diabetic management reduces periodontal inflammation, demonstrating the bidirectional relationship between oral and systemic diseases. Similar multidisciplinary approaches have produced improved outcomes in cardiovascular disease prevention, oncology supportive care, geriatric medicine, and maternal health.

Modern diagnostic technologies have substantially enhanced the quality and accuracy of evidence-based family dentistry. Digital radiography, cone-beam computed tomography (CBCT), intraoral optical scanners, digital impressions, fluorescence-based caries detection systems, artificial intelligence-assisted image analysis, salivary biomarkers, genomic diagnostics, microbiome profiling, and chairside molecular diagnostic platforms have improved diagnostic precision while minimizing patient discomfort and radiation exposure. Earlier disease detection facilitates minimally invasive interventions and preserves healthy oral tissues.

Artificial intelligence has emerged as one of the most transformative innovations in contemporary dental healthcare. Machine learning algorithms demonstrate remarkable accuracy in detecting dental caries, periodontal bone loss, periapical pathology, orthodontic abnormalities, oral potentially malignant disorders, and radiographic anomalies. AI-assisted decision support systems enhance diagnostic consistency, reduce human error, improve workflow efficiency, and facilitate evidence-based clinical decision-making. Nevertheless, clinical judgment, ethical oversight, and practitioner expertise remain indispensable components of patient care.

Digital dentistry has revolutionized restorative and prosthetic treatment planning. Computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM), three-dimensional printing technologies, digital occlusal analysis, virtual articulators, guided implant surgery, and intraoral scanning have substantially improved treatment accuracy, patient satisfaction, clinical efficiency, and long-term restoration success. Digital workflows also reduce treatment duration, laboratory errors, and healthcare costs while enhancing interdisciplinary communication among healthcare providers.

The increasing application of minimally invasive dentistry reflects another important evidence-based advancement. Scientific investigations consistently demonstrate that conservative management of early carious lesions through remineralization therapies, silver diamine fluoride application, resin infiltration, atraumatic restorative treatment, selective caries removal, and bioactive restorative materials preserves natural tooth structure while reducing patient discomfort and improving long-term outcomes. These approaches align with modern principles of tissue preservation and biological dentistry.

Contemporary research increasingly supports the integration of oral microbiome science into clinical practice. The oral microbiome consists of highly complex microbial communities that influence oral and systemic health through intricate ecological interactions. Dysbiosis contributes significantly to dental caries, periodontal disease, peri-implantitis, oral candidiasis, halitosis, and potentially several systemic inflammatory disorders. Evidence-based modulation of the oral microbiome through probiotics, prebiotics, targeted antimicrobial therapy, personalized hygiene protocols, and dietary interventions represents a promising direction for preventive oral healthcare.

Salivary diagnostics have gained increasing recognition as valuable non-invasive tools for disease detection and monitoring. Saliva contains numerous biomarkers associated with oral diseases, systemic inflammation, infectious diseases, hormonal status, metabolic disorders, autoimmune conditions, and malignancies. Advances in point-of-care salivary testing may

facilitate earlier diagnosis, personalized treatment planning, and population-level disease surveillance within primary healthcare settings.

Preventive family dentistry increasingly incorporates behavioral science principles. Clinical evidence demonstrates that patient education alone produces only modest improvements in oral health behaviors. More effective interventions combine motivational interviewing, behavioral counseling, shared decision-making, personalized communication strategies, digital reminders, mobile health applications, and continuous patient engagement. These approaches significantly improve oral hygiene practices, appointment adherence, smoking cessation, dietary modification, and long-term preventive compliance.

Public health integration represents one of the most significant developments in contemporary family dentistry. Population-based oral health programs emphasize community prevention, school dental services, maternal-child oral health initiatives, fluoridation programs, oral cancer screening, tobacco control, nutritional education, and healthcare equity. Community-oriented family dentists contribute substantially to reducing oral health disparities among vulnerable populations including children, older adults, and rural residents, individuals with disabilities, refugees, and economically disadvantaged communities.

Health equity remains a central concern in global oral healthcare. Despite considerable scientific progress, substantial disparities persist across socioeconomic, geographic, racial, and educational groups. Limited financial resources, inadequate insurance coverage, insufficient workforce distribution, cultural barriers, transportation difficulties, and low oral health literacy continue to restrict access to preventive dental services. Evidence-based policy interventions increasingly prioritize universal oral healthcare coverage, expanded preventive services, workforce development, and community outreach initiatives.

The integration of oral healthcare within universal health coverage frameworks has demonstrated encouraging outcomes in numerous healthcare systems. Countries that incorporate preventive dental services into primary healthcare benefit packages generally report lower disease prevalence, improved health outcomes, greater patient satisfaction, and reduced long-term healthcare expenditures. These findings support broader policy initiatives promoting oral healthcare integration within national health systems.

Quality improvement methodologies have become integral to evidence-based family dentistry. Continuous quality improvement frameworks employ standardized clinical guidelines, clinical audit, performance measurement, patient safety indicators, outcome assessment, risk management systems, and patient-reported outcome measures. These approaches promote clinical excellence while minimizing treatment variability and enhancing healthcare accountability.

Clinical governance has strengthened professional accountability through evidence-based practice guidelines, continuing professional education, peer review, clinical audit, incident reporting systems, and standardized performance indicators. These mechanisms foster lifelong learning, encourage adherence to current scientific evidence, and improve patient safety across diverse clinical settings.

Patient-centered care constitutes another defining characteristic of modern family dentistry. Shared decision-making empowers patients to participate actively in treatment planning while respecting personal values, cultural preferences, financial circumstances, health literacy, and individual expectations. Evidence consistently demonstrates that patient-centered communication improves treatment acceptance, adherence, satisfaction, trust, and clinical outcomes.

The aging global population presents important challenges and opportunities for family dentistry. Older adults frequently experience multiple chronic diseases, polypharmacy,

xerostomia, root caries, cognitive impairment, functional limitations, and complex restorative needs. Evidence-based geriatric dentistry emphasizes interdisciplinary management, preventive care, medication review, minimally invasive treatment approaches, caregiver education, and preservation of oral function throughout aging.

Research increasingly highlights the importance of oral healthcare during pregnancy and early childhood. Maternal periodontal disease has been associated with adverse pregnancy outcomes, while early childhood preventive interventions significantly reduce lifelong oral disease burden. Prenatal counseling, infant oral health education, anticipatory guidance, fluoride varnish application, and establishment of an early dental home contribute substantially to long-term oral health promotion.

Environmental sustainability has emerged as an important consideration within modern dental practice. Green dentistry initiatives promote environmentally responsible infection control, waste reduction, digital documentation, energy efficiency, mercury reduction, sustainable procurement, and responsible resource utilization. Evidence indicates that environmentally sustainable clinical practices can coexist with high standards of patient safety and clinical effectiveness.

Nanotechnology and biomaterials continue to transform restorative dentistry and regenerative therapies. Bioactive restorative materials, antimicrobial nanoparticles, nanocomposites, regenerative scaffolds, stem cell-based tissue engineering, growth factor delivery systems, and smart biomaterials show considerable promise for enhancing tissue regeneration, reducing recurrent disease, and improving restoration longevity. Although many technologies remain under investigation, early clinical evidence is encouraging.

Telehealth and teledentistry have significantly expanded access to primary oral healthcare, particularly for geographically isolated, underserved, and medically vulnerable populations. Remote consultations, digital triage, virtual follow-up appointments, oral lesion screening, interdisciplinary consultations, and patient education have improved healthcare accessibility while reducing unnecessary travel and treatment delays. Hybrid models integrating virtual and in-person care are increasingly recognized as efficient approaches for primary dental service delivery.

Economic evaluations consistently demonstrate that preventive dentistry provides highly favorable cost-effectiveness compared with extensive restorative treatment. Early intervention reduces future treatment complexity, minimizes productivity losses, preserves functional dentition, and lowers cumulative healthcare expenditures throughout the lifespan. Investment in prevention therefore represents both a clinical and economic priority for healthcare policymakers.

Global scientific evidence supports continued transformation of family dentistry through stronger integration with evidence-based medicine, primary healthcare, digital innovation, precision health, public health policy, interdisciplinary collaboration, and continuous quality improvement. Future strategic directions should prioritize personalized prevention, artificial intelligence-assisted diagnostics, precision oral medicine, implementation science, health equity, sustainable clinical practice, expanded universal oral healthcare coverage, and lifelong preventive care. Collectively, these developments position family dentistry as a critical contributor to integrated healthcare systems, improved population health, reduced healthcare disparities, and the achievement of comprehensive, patient-centered, evidence-based primary oral healthcare.

An increasingly important finding emerging from contemporary international research concerns the integration of implementation science into family dentistry. Although high-quality evidence exists for numerous preventive and therapeutic interventions, substantial gaps frequently

remain between research findings and routine clinical practice. These "knowledge-to-practice" gaps contribute to unnecessary variations in clinical care, inconsistent patient outcomes, and inefficient utilization of healthcare resources. Implementation science provides systematic methodologies for translating evidence into sustainable clinical practice through guideline development, clinician education, organizational change, stakeholder engagement, and continuous performance evaluation. Studies demonstrate that structured implementation strategies significantly increase adherence to evidence-based clinical protocols and improve both provider performance and patient outcomes.

Health systems research consistently identifies primary oral healthcare as an essential component of integrated healthcare delivery. Countries with comprehensive primary care systems that include preventive oral healthcare services generally demonstrate lower rates of untreated dental disease, fewer emergency dental visits, reduced hospitalization associated with odontogenic infections, and improved population health indicators. These findings reinforce the concept that family dentistry should function not as an isolated specialty but as a fully integrated discipline within multidisciplinary primary healthcare systems.

Recent multinational investigations emphasize the importance of value-based oral healthcare. Unlike traditional fee-for-service models that reward procedural volume, value-based care prioritizes measurable improvements in oral health outcomes, patient experience, cost-effectiveness, and long-term disease prevention. Outcome measures increasingly include patient-reported quality of life, oral function, pain reduction, aesthetic satisfaction, preventive compliance, treatment durability, and healthcare utilization. Transitioning toward value-based reimbursement models encourages preventive interventions, multidisciplinary collaboration, and continuous quality improvement while discouraging unnecessary procedures.

Comparative effectiveness research has become fundamental in evaluating competing preventive and therapeutic interventions. Randomized controlled trials, systematic reviews, meta-analyses, and network meta-analyses increasingly inform clinical guideline development by comparing restorative materials, preventive strategies, periodontal therapies, implant systems, orthodontic approaches, and minimally invasive procedures. Evidence synthesis consistently demonstrates that treatment decisions should be guided not only by efficacy but also by safety, patient preferences, clinical feasibility, economic considerations, and long-term effectiveness.

Patient safety has emerged as a major research priority within evidence-based family dentistry. Contemporary investigations identify infection prevention, medication safety, radiation protection, safe sedation practices, accurate diagnosis, effective communication, documentation quality, and adverse event reporting as critical components of clinical governance. Standardized safety protocols, clinical checklists, electronic prescribing systems, digital patient records, and continuous professional education significantly reduce preventable clinical errors while improving overall quality of care.

Research also demonstrates the growing importance of pharmacological optimization within family dentistry. Appropriate antibiotic stewardship has become particularly significant given the increasing prevalence of antimicrobial resistance worldwide. Evidence strongly discourages unnecessary antibiotic prescribing for uncomplicated dental conditions and emphasizes narrow-spectrum agents, appropriate treatment duration, and adherence to internationally recognized prescribing guidelines. Similar evidence supports rational analgesic prescribing based on individualized pain assessment, multimodal pain management strategies, and careful consideration of adverse drug reactions, particularly among elderly patients and individuals with multiple chronic diseases.

Oral oncology represents another area where family dentists contribute substantially to early diagnosis and improved survival. Numerous studies demonstrate that routine oral examinations performed during primary dental visits facilitate early detection of oral potentially malignant disorders and oral squamous cell carcinoma. Early-stage diagnosis significantly improves treatment success, reduces treatment-related morbidity, and increases long-term survival rates. Family dentists therefore play an essential role in opportunistic screening, risk assessment, tobacco cessation counseling, alcohol reduction programs, and timely specialist referral.

The evidence further supports increasing collaboration between family dentists and medical specialists in managing patients with complex systemic diseases. Individuals receiving chemotherapy, radiotherapy, immunotherapy, organ transplantation, bisphosphonate therapy, anticoagulants, or biological medications require coordinated interdisciplinary management to minimize oral complications and optimize overall health outcomes. Such collaboration improves treatment safety while reducing avoidable complications, including medication-related osteonecrosis of the jaw, oral mucositis, opportunistic infections, and excessive postoperative bleeding.

Contemporary evidence highlights oral health literacy as a major determinant of population oral health outcomes. Individuals with higher oral health literacy demonstrate superior preventive behaviors, earlier healthcare utilization, greater treatment adherence, and improved self-management of chronic oral conditions. Consequently, family dentistry increasingly incorporates structured educational interventions that are culturally appropriate, linguistically accessible, and tailored to individual literacy levels. Digital educational platforms, mobile health technologies, interactive educational materials, and community outreach programs further strengthen patient engagement.

Global demographic transitions continue to reshape oral healthcare priorities. Population aging, urbanization, migration, increasing life expectancy, and the growing prevalence of chronic non-communicable diseases necessitate adaptive models of family dental care. Older adults increasingly retain their natural dentition, requiring long-term preventive maintenance rather than complete prosthetic rehabilitation. Simultaneously, medically compromised patients require comprehensive risk assessment, medication review, individualized preventive strategies, and coordinated multidisciplinary management throughout the lifespan.

Climate change and environmental sustainability have emerged as indirect determinants of oral health. Environmental degradation influences access to healthcare services, nutritional patterns, infectious disease distribution, water quality, and healthcare infrastructure resilience. Evidence supports environmentally sustainable dental practice through digital documentation, environmentally responsible waste management, reduced use of hazardous materials, energy-efficient facilities, and sustainable procurement policies. Green dentistry contributes both to environmental protection and long-term healthcare sustainability.

Advances in regenerative medicine are transforming therapeutic possibilities within family dentistry. Stem cell biology, tissue engineering, growth factor therapy, platelet concentrates, extracellular vesicles, gene editing technologies, and bioengineered scaffolds demonstrate considerable potential for regenerating dentin, pulp tissue, periodontal ligament, alveolar bone, and craniofacial structures. Although many regenerative therapies remain investigational, early translational studies indicate promising clinical applications that may substantially reduce reliance on conventional restorative approaches.

Precision medicine continues to influence diagnostic and therapeutic decision-making in oral healthcare. Integration of genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, microbiomics, and artificial intelligence facilitates increasingly individualized patient management. Personalized prevention and treatment planning based on molecular profiling may improve

therapeutic effectiveness while minimizing adverse outcomes. As genomic technologies become more accessible and affordable, precision oral medicine is expected to become progressively integrated into routine family dental practice.

Healthcare economics consistently demonstrates that investment in preventive oral healthcare yields substantial societal returns. Preventive interventions reduce treatment costs, minimize productivity losses associated with dental disease, improve educational participation among children, enhance workforce productivity among adults, and reduce healthcare expenditures associated with systemic complications of oral disease. Cost-effectiveness analyses repeatedly identify community fluoridation, fluoride varnish programs, school-based sealant initiatives, tobacco cessation interventions, and regular preventive examinations as among the most economically efficient public health investments.

The COVID-19 pandemic provided valuable lessons regarding healthcare system resilience and infection prevention within dental practice. Enhanced infection control protocols, personal protective equipment, ventilation improvements, aerosol management strategies, digital triage systems, and teledentistry services have strengthened preparedness for future infectious disease outbreaks. Many innovations introduced during the pandemic continue to improve routine clinical practice while enhancing patient safety and healthcare accessibility.

Research further indicates that professional education remains fundamental to sustaining evidence-based family dentistry. Undergraduate curricula increasingly emphasize critical appraisal, evidence synthesis, clinical epidemiology, biostatistics, implementation science, interprofessional education, digital technologies, ethical decision-making, and patient-centered communication. Continuing professional development ensures that practicing clinicians remain current with rapidly evolving scientific evidence and technological innovation throughout their careers.

Global collaboration has become increasingly important in advancing oral healthcare research and policy. International scientific organizations, academic institutions, governmental agencies, and professional associations collaborate through multicenter clinical trials, consensus guideline development, global disease surveillance, educational exchange, and capacity-building initiatives. Such collaboration accelerates knowledge generation, promotes harmonization of clinical standards, and supports equitable access to high-quality oral healthcare worldwide.

The accumulated scientific evidence demonstrates that transforming family dentistry through evidence-based medicine extends beyond technological innovation or clinical refinement. It represents a comprehensive reorientation toward integrated primary healthcare, preventive medicine, precision health, interdisciplinary collaboration, health equity, implementation science, patient-centered care, digital transformation, and sustainable healthcare delivery. Collectively, these advances position family dentistry as an indispensable pillar of modern healthcare systems capable of improving oral and systemic health, reducing disease burden, promoting health equity, and enhancing quality of life across diverse global populations.

The accumulated body of international evidence further demonstrates that healthcare quality improvement has become one of the principal drivers of transformation in family dentistry. Modern quality improvement frameworks increasingly employ standardized clinical indicators, evidence-based performance benchmarks, continuous clinical auditing, outcome monitoring, patient safety surveillance, and quality accreditation systems. These integrated approaches facilitate objective measurement of clinical performance while promoting accountability, transparency, and continuous organizational learning. Dental practices implementing comprehensive quality management systems consistently report reductions in treatment

variability, fewer preventable adverse events, greater adherence to evidence-based clinical protocols, and significantly improved patient satisfaction.

Evidence also supports the growing application of clinical decision support systems within routine family dental practice. Electronic health records integrated with evidence-based clinical guidelines, pharmacological databases, diagnostic algorithms, and risk prediction models assist clinicians in making timely and scientifically supported treatment decisions. These digital platforms reduce diagnostic uncertainty, improve medication safety, facilitate preventive risk assessment, and encourage standardized clinical management while preserving professional autonomy and individualized patient care.

An important finding emerging from contemporary research concerns the increasing importance of social determinants of oral health. Oral diseases are strongly influenced not only by biological and behavioral factors but also by education, income, employment, housing quality, nutrition, environmental exposures, healthcare accessibility, cultural beliefs, and public policy. Individuals living in socioeconomically disadvantaged communities experience substantially higher rates of untreated dental disease, tooth loss, oral pain, and reduced access to preventive services. Consequently, successful transformation of family dentistry requires coordinated public health policies that address both clinical treatment and broader social inequities influencing oral health outcomes.

Community-based participatory research further demonstrates that sustainable improvements in oral health require active collaboration between healthcare professionals, educators, policymakers, community organizations, and patients themselves. School-based preventive programs, workplace oral health initiatives, mobile dental clinics, community fluoridation projects, rural outreach services, and culturally tailored educational campaigns have all demonstrated measurable improvements in oral health indicators. These findings reinforce the importance of population-centered approaches that complement individualized clinical care.

The scientific literature consistently identifies oral health promotion as one of the most cost-effective strategies available for reducing the global burden of oral disease. Educational interventions emphasizing healthy dietary habits, limitation of free sugar consumption, tobacco cessation, responsible alcohol consumption, optimal oral hygiene practices, and regular preventive dental attendance contribute significantly to reducing disease incidence throughout the lifespan. Family dentists increasingly function as health educators who empower individuals to adopt healthier behaviors that simultaneously improve oral and general health.

Research findings further emphasize the bidirectional interactions between nutrition and oral health. Poor nutritional status contributes to dental caries, periodontal disease, delayed wound healing, oral infections, and impaired immune function, while compromised oral health negatively affects mastication, food selection, nutritional intake, and overall systemic wellbeing. Evidence supports multidisciplinary nutritional counseling involving dentists, physicians, dietitians, and other healthcare professionals to optimize both oral and systemic health outcomes. Personalized dietary interventions have demonstrated substantial benefits in reducing cariogenic risk, improving periodontal stability, and supporting successful long-term disease prevention.

The role of family dentistry in addressing non-communicable diseases (NCDs) continues to expand. Many chronic diseases share common behavioral risk factors, including tobacco use, unhealthy diet, excessive alcohol consumption, obesity, physical inactivity, and psychosocial stress. The common risk factor approach advocated by international public health organizations promotes integrated prevention strategies capable of simultaneously reducing oral diseases, cardiovascular disease, diabetes mellitus, chronic respiratory disease, and several malignancies.

Family dentists therefore contribute not only to oral healthcare but also to comprehensive chronic disease prevention across the population.

Psychological health represents another increasingly recognized determinant of oral health outcomes. Anxiety, depression, chronic stress, eating disorders, substance use disorders, and dental phobia substantially influence oral hygiene behaviors, treatment adherence, healthcare utilization, and disease progression. Evidence-based behavioral interventions, patient-centered communication, anxiety management techniques, cognitive behavioral approaches, and interdisciplinary mental health collaboration have demonstrated improved treatment acceptance and enhanced long-term oral health outcomes. Recognition of psychosocial determinants further strengthens the holistic philosophy underlying modern family dentistry.

Occupational health research demonstrates that dental professionals themselves require comprehensive support to maintain clinical excellence throughout their careers. Musculoskeletal disorders, occupational stress, burnout, visual fatigue, infectious disease exposure, ergonomic challenges, and psychological exhaustion remain prevalent among oral healthcare providers. Implementation of ergonomic practice design, workload optimization, mental health support programs, continuing professional development, and workplace safety initiatives contributes to improved provider wellbeing, greater professional satisfaction, and higher quality patient care.

Another important finding concerns the increasing sophistication of risk stratification models. Contemporary evidence supports multivariable predictive models incorporating demographic variables, medical history, behavioral factors, genetic susceptibility, microbiological profiles, environmental exposures, and socioeconomic determinants. These comprehensive models enable family dentists to categorize patients according to individualized disease risk and allocate preventive resources more efficiently. High-risk patients benefit from intensified preventive interventions, shorter recall intervals, enhanced behavioral counseling, and closer clinical monitoring, thereby improving resource utilization and clinical effectiveness.

Research into biomarker discovery continues to advance personalized oral healthcare. Salivary proteins, inflammatory mediators, microbial metabolites, genetic polymorphisms, epigenetic markers, and circulating extracellular vesicles demonstrate considerable diagnostic and prognostic potential. Integration of biomarker-based diagnostics into routine family dentistry may facilitate early disease detection, individualized therapeutic monitoring, prediction of treatment response, and identification of patients at elevated risk for disease progression before clinical manifestations become apparent.

The emergence of digital public health has further expanded opportunities for improving population oral health. Mobile health applications, wearable monitoring devices, cloud-based health records, artificial intelligence–supported surveillance systems, digital epidemiology platforms, and teleconsultation services facilitate real-time monitoring of oral health trends, remote patient education, individualized behavioral support, and rapid dissemination of evidence-based preventive information. These technologies have particular value in underserved regions where access to conventional dental services remains limited.

International comparative research consistently demonstrates substantial variation in oral healthcare delivery systems across countries. Nations that prioritize preventive care, integrate dentistry into universal healthcare systems, maintain strong primary healthcare infrastructures, and invest in workforce development generally achieve superior oral health outcomes with lower long-term healthcare expenditures. Comparative policy analyses therefore provide valuable evidence for healthcare reform by identifying successful organizational models that may be adapted across diverse socioeconomic settings.

Evidence additionally supports expanded roles for dental hygienists, dental therapists, oral health educators, and other allied oral healthcare professionals within integrated primary care teams. Task sharing and collaborative practice models increase service accessibility, improve preventive coverage, reduce workforce shortages, and enhance efficiency without compromising clinical quality. These multidisciplinary workforce models are particularly valuable in rural, remote, and resource-constrained environments.

Scientific investigations also demonstrate the importance of cultural competence in family dentistry. Patients from diverse cultural, linguistic, ethnic, and religious backgrounds often possess different health beliefs, communication preferences, and expectations regarding dental care. Culturally responsive clinical practice improves communication, strengthens therapeutic relationships, enhances treatment adherence, and reduces healthcare disparities. Consequently, cultural competence has become an integral component of evidence-based professional education and quality improvement initiatives.

Ethical considerations continue to evolve alongside technological innovation. Artificial intelligence, genomic testing, precision diagnostics, digital health records, and large-scale healthcare databases create important opportunities while simultaneously raising concerns regarding patient privacy, informed consent, algorithmic transparency, data security, equitable access, and professional responsibility. Contemporary evidence supports the development of robust ethical governance frameworks that ensure technological innovations remain patient-centered, scientifically validated, and socially responsible.

The future of family dentistry is increasingly characterized by convergence between biomedical science, digital technology, public health, systems medicine, and implementation science. Predictive analytics, machine learning, precision prevention, regenerative therapies, smart biomaterials, robotics, augmented reality, and advanced diagnostic platforms are expected to further transform clinical practice during the coming decades. Nevertheless, available evidence consistently indicates that technological innovation alone cannot achieve optimal healthcare outcomes without parallel investment in professional education, equitable healthcare access, public health infrastructure, policy development, interdisciplinary collaboration, and patient engagement.

The global scientific findings clearly demonstrate that the transformation of family dentistry through evidence-based medicine represents a comprehensive evolution from procedure-oriented treatment toward integrated, preventive, patient-centered, and population-focused healthcare. Clinical innovation, healthcare quality improvement, precision diagnostics, digital transformation, preventive strategies, multidisciplinary collaboration, and public health integration collectively strengthen the capacity of family dentistry to address both present and future oral healthcare challenges. This evolving model supports sustainable healthcare systems, improves clinical effectiveness, reduces inequalities in oral health, promotes lifelong wellness, and reinforces the essential role of family dentistry as a cornerstone of comprehensive primary healthcare worldwide.

An additional dimension emerging from contemporary global scientific research is the growing importance of health systems resilience within family dentistry. Resilient oral healthcare systems possess the capacity to anticipate, prepare for, respond to, and recover from public health emergencies, natural disasters, economic crises, and demographic transitions while maintaining continuity of essential dental services. Evidence from international healthcare systems demonstrates that integrating family dentistry into resilient primary healthcare infrastructure improves service accessibility, protects vulnerable populations, strengthens disease surveillance, and enhances healthcare sustainability during periods of crisis. The

experiences gained during the COVID-19 pandemic, humanitarian emergencies, and disaster-response initiatives have reinforced the strategic importance of adaptable, digitally supported, and community-oriented family dental services.

Scientific evidence increasingly recognizes One Health as an emerging conceptual framework relevant to oral healthcare. One Health emphasizes the interconnected relationships among human health, animal health, and environmental health. Environmental pollution, antimicrobial resistance, water quality, food safety, occupational exposures, and ecological sustainability indirectly influence oral health through complex biological and environmental pathways. Family dentistry therefore contributes to broader global health initiatives by promoting responsible antimicrobial prescribing, environmentally sustainable clinical practices, safe infection control, and interdisciplinary collaboration addressing shared public health challenges.

Recent investigations also demonstrate that lifecourse oral healthcare represents one of the most effective strategies for improving long-term population health. Rather than viewing dental treatment as isolated episodes of care, evidence-based family dentistry increasingly adopts a continuous model of healthcare extending from prenatal development through advanced age. Preventive interventions during pregnancy, infancy, childhood, adolescence, adulthood, and older age collectively reduce cumulative disease burden while improving functional dentition, nutritional status, communication, social participation, and overall quality of life throughout the lifespan.

Research demonstrates that maternal oral health exerts profound influences on both maternal wellbeing and child development. Maternal periodontal disease, untreated dental infections, nutritional deficiencies, and inadequate oral hygiene may contribute to adverse pregnancy outcomes and increase early childhood caries risk. Consequently, comprehensive prenatal oral healthcare—including preventive examinations, periodontal assessment, individualized oral hygiene instruction, nutritional counseling, and safe therapeutic interventions—should be considered an integral component of evidence-based prenatal healthcare. Collaborative care involving obstetricians, family physicians, pediatricians, dental professionals, and public health practitioners improves maternal and neonatal health outcomes.

The pediatric population continues to represent a major focus of preventive family dentistry. Current scientific evidence strongly supports establishing the dental home during early childhood to facilitate individualized risk assessment, anticipatory guidance, preventive interventions, parental education, and longitudinal monitoring of oral development. Early preventive care substantially reduces future restorative treatment needs while promoting lifelong oral health behaviors. School-based preventive programs, fluoride varnish initiatives, fissure sealant programs, nutritional education, and community oral health promotion remain among the most effective population-level interventions documented in the scientific literature.

Adolescent oral healthcare presents unique clinical and behavioral challenges requiring specialized preventive approaches. Orthodontic treatment, dietary habits, tobacco experimentation, electronic cigarette use, alcohol consumption, psychosocial development, sports participation, and trauma risk influence oral health outcomes during adolescence. Evidence-based family dentistry incorporates individualized behavioral counseling, injury prevention strategies, tobacco cessation interventions, and comprehensive preventive education tailored to adolescent developmental needs.

Among adults, evidence consistently demonstrates that maintaining regular preventive dental attendance significantly reduces disease progression, tooth loss, prosthetic treatment requirements, and healthcare expenditures. Adult preventive care emphasizes periodontal maintenance, oral cancer screening, restorative preservation, occlusal assessment, management

of temporomandibular disorders, and monitoring of systemic conditions affecting oral health. Family dentists increasingly coordinate with medical specialists to optimize healthcare for patients presenting with diabetes, cardiovascular disease, autoimmune disorders, osteoporosis, chronic kidney disease, and cancer.

The rapidly expanding field of geriatric family dentistry reflects demographic transitions occurring worldwide. Older adults frequently present with complex clinical profiles characterized by multimorbidity, frailty, cognitive decline, polypharmacy, reduced salivary function, diminished manual dexterity, and increased susceptibility to root caries and periodontal disease. Evidence-based geriatric management emphasizes comprehensive medical assessment, individualized preventive protocols, minimally invasive restorative care, medication review, caregiver education, nutritional support, and preservation of oral function to maintain independence and quality of life.

Polypharmacy represents an increasingly significant concern within aging populations. Numerous medications prescribed for chronic diseases produce adverse oral effects including xerostomia, dysgeusia, oral ulceration, gingival enlargement, candidiasis, medication-related osteonecrosis of the jaw, and impaired wound healing. Contemporary evidence supports systematic medication reconciliation, interdisciplinary collaboration with physicians and pharmacists, individualized preventive strategies, and regular monitoring to minimize medication-related oral complications.

Global research additionally demonstrates the value of interprofessional education in preparing future healthcare professionals. Educational programs integrating dentistry, medicine, pharmacy, nursing, nutrition, psychology, and public health improve collaborative competencies, communication skills, shared clinical decision-making, and patient-centered care. Graduates trained within interdisciplinary educational environments demonstrate greater readiness to address complex healthcare needs through collaborative practice models that integrate oral and systemic healthcare.

Professional competency frameworks have evolved considerably in response to advances in evidence-based medicine. Modern family dentists require proficiency not only in clinical procedures but also in critical appraisal of scientific literature, evidence synthesis, clinical epidemiology, biostatistics, health informatics, digital technologies, quality improvement methodologies, healthcare leadership, ethical decision-making, and health policy. Lifelong professional development therefore becomes essential for maintaining clinical competence within rapidly evolving healthcare environments.

Research further demonstrates that clinical registries and real-world evidence have become increasingly valuable sources of scientific knowledge. While randomized controlled trials remain the gold standard for evaluating therapeutic efficacy, observational studies, longitudinal cohort investigations, national dental registries, electronic health records, and practice-based research networks provide important information regarding long-term effectiveness, safety, healthcare utilization, patient satisfaction, and population health outcomes under routine clinical conditions. Integration of real-world evidence with traditional clinical trials strengthens evidence-based guideline development and healthcare policy formulation.

Big data analytics and artificial intelligence increasingly facilitate large-scale evaluation of healthcare quality, disease epidemiology, treatment outcomes, and healthcare disparities. Machine learning algorithms applied to extensive clinical databases enable identification of previously unrecognized risk factors, prediction of disease progression, optimization of recall intervals, and personalization of preventive interventions. These computational approaches complement—not replace—clinical expertise by providing clinicians with sophisticated evidence-based decision support.

Economic research consistently demonstrates that preventive family dentistry contributes substantially to healthcare sustainability. Every investment in early prevention reduces future expenditures associated with restorative treatment, emergency care, hospitalization, prosthetic rehabilitation, productivity losses, and management of systemic complications related to oral disease. Health economic modeling therefore strongly supports increased governmental investment in preventive oral healthcare, workforce expansion, community oral health promotion, and universal access to essential dental services.

International policy analyses increasingly advocate incorporating oral health indicators into national health surveillance systems. Comprehensive monitoring of dental caries prevalence, periodontal disease, tooth retention, oral cancer incidence, preventive service utilization, oral health-related quality of life, and healthcare accessibility enables policymakers to evaluate program effectiveness, allocate resources appropriately, identify healthcare inequities, and develop evidence-informed public health strategies. Standardized surveillance systems facilitate international comparisons while promoting accountability and continuous quality improvement.

Scientific evidence further emphasizes the importance of implementation fidelity when introducing innovative clinical interventions. Successful implementation requires adequate clinician training, organizational readiness, leadership support, financial sustainability, patient acceptance, and ongoing evaluation. Even highly effective evidence-based interventions may fail to improve population health if implementation strategies are insufficiently planned or inconsistently executed. Consequently, implementation science has become indispensable for translating scientific discoveries into measurable improvements in routine family dental practice.

These findings demonstrate that contemporary family dentistry is undergoing a profound transformation driven by scientific evidence, technological advancement, interdisciplinary collaboration, healthcare quality improvement, precision medicine, public health integration, and patient-centered care. The convergence of these disciplines supports the development of resilient, equitable, efficient, and sustainable oral healthcare systems capable of addressing evolving global health challenges. As evidence-based medicine continues to shape clinical practice, family dentistry is positioned to play an increasingly central role within comprehensive primary healthcare by improving oral health outcomes, reducing systemic disease burden, promoting health equity, and advancing population health through prevention, innovation, and lifelong patient-centered care.

Evidence-Based Medicine as the Foundation of Contemporary Family Dentistry

The synthesis of contemporary scientific literature demonstrates that Evidence-Based Medicine (EBM) has fundamentally transformed family dentistry from a procedure-oriented discipline into a patient-centered, scientifically driven component of primary oral healthcare. Across systematic reviews, randomized controlled trials, observational studies, and international clinical guidelines, consistent evidence supports the integration of high-quality scientific research, clinical expertise, and patient values as the cornerstone of modern dental practice.

Evidence-based family dentistry enables clinicians to make diagnostic and therapeutic decisions supported by robust scientific data rather than relying solely on empirical experience or traditional clinical practices. This paradigm improves diagnostic accuracy, treatment predictability, patient safety, healthcare quality, and long-term clinical outcomes. Furthermore, standardized evidence-based protocols reduce unnecessary treatment variation while enhancing consistency among practitioners working in diverse healthcare settings.

The reviewed evidence consistently indicates that implementation of Evidence-Based Medicine enhances clinician confidence in decision-making, strengthens patient trust, and promotes greater accountability within healthcare systems. International professional organizations increasingly recommend evidence-based clinical pathways for prevention, diagnosis, treatment planning, follow-up, and outcome assessment across all areas of family dental practice.

Family Dentistry as the Cornerstone of Primary Oral Healthcare

The available evidence confirms that family dentists represent the first professional contact for the majority of individuals seeking oral healthcare services. Their comprehensive role extends beyond restorative treatment to include preventive medicine, oral disease surveillance, early diagnosis, patient education, risk assessment, behavioral counseling, emergency management, chronic disease monitoring, and long-term maintenance care.

Unlike highly specialized disciplines, family dentistry provides continuous healthcare throughout the patient's lifespan. This continuity facilitates individualized preventive strategies, comprehensive health records, long-term monitoring of disease progression, and improved therapeutic relationships between clinicians and patients.

Studies consistently demonstrate that regular attendance at family dental practices is associated with:

- Reduced incidence of dental caries.
- Lower prevalence of periodontal disease.
- Earlier diagnosis of oral malignancies.
- Improved oral hygiene behaviors.
- Greater treatment adherence.
- Enhanced patient satisfaction.
- Reduced emergency dental visits.
- Better long-term tooth retention.

These findings reinforce the central position of family dentistry within integrated primary healthcare systems.

Integration of Oral Health and General Health

One of the most important findings emerging from current scientific evidence is the strong interrelationship between oral health and systemic health. Family dentists increasingly contribute to early detection and multidisciplinary management of chronic diseases through recognition of oral manifestations and implementation of preventive healthcare strategies.

The literature demonstrates strong associations between oral diseases and:

- Diabetes mellitus.
- Cardiovascular diseases.
- Chronic kidney disease.
- Rheumatoid arthritis.
- Alzheimer's disease.
- Respiratory infections.
- Osteoporosis.
- Pregnancy complications.
- Metabolic syndrome.
- Autoimmune disorders.

Periodontal inflammation contributes to chronic systemic inflammation through complex immunological mechanisms involving cytokine release, bacterial dissemination, endothelial dysfunction, and immune activation. Consequently, periodontal therapy has demonstrated

beneficial effects on glycemic control, inflammatory biomarkers, and cardiovascular risk factors in selected patient populations.

These findings support the integration of family dentists into multidisciplinary healthcare teams working alongside physicians, pharmacists, nurses, nutritionists, endocrinologists, cardiologists, and public health professionals.

Clinical Impact of Preventive Dentistry

One of the strongest conclusions identified throughout the literature concerns the effectiveness of preventive oral healthcare. Preventive interventions consistently demonstrate superior clinical outcomes compared with treatment of advanced disease.

High-quality evidence supports:

- Community water fluoridation.
- Fluoride toothpaste.
- Fluoride varnish.
- Pit-and-fissure sealants.
- Professional prophylaxis.
- Oral hygiene education.
- Dietary counseling.
- Tobacco cessation.
- Individualized recall systems.
- Caries risk assessment.
- Periodontal maintenance therapy.

Evidence demonstrates significant reductions in dental caries incidence among children receiving fluoride-based interventions, while periodontal maintenance substantially decreases disease recurrence among adults.

Furthermore, prevention-centered healthcare reduces healthcare expenditures by minimizing complex restorative procedures, prosthetic rehabilitation, hospital admissions, emergency care utilization, and productivity losses.

The literature consistently concludes that preventive family dentistry represents one of the most cost-effective healthcare investments worldwide.

Risk Assessment and Personalized Patient Care

Scientific evidence strongly supports individualized risk assessment as an essential component of evidence-based family dentistry.

Modern preventive strategies incorporate multiple determinants, including:

- Age.
- Genetic susceptibility.
- Medical history.
- Medication use.
- Tobacco exposure.
- Dietary habits.
- Oral hygiene practices.
- Salivary flow.
- Socioeconomic status.
- Previous disease history.
- Oral microbiome characteristics.

Risk-based care enables clinicians to personalize recall intervals, preventive interventions, therapeutic strategies, and patient education according to individual disease susceptibility.

Compared with standardized treatment models, personalized evidence-based care demonstrates higher preventive effectiveness, improved patient compliance, greater healthcare efficiency, and more rational allocation of healthcare resources.

Artificial Intelligence and Digital Transformation

The reviewed studies reveal rapid expansion of digital technologies within evidence-based family dentistry.

Artificial intelligence has demonstrated increasing diagnostic performance in:

- Caries detection.
- Periodontal bone loss assessment.
- Periapical pathology recognition.
- Oral cancer screening.
- Orthodontic treatment planning.
- Implant positioning.
- Radiographic interpretation.

Machine learning algorithms frequently achieve diagnostic accuracy comparable with experienced clinicians when applied under standardized conditions.

Digital dentistry has further enhanced clinical efficiency through:

- Intraoral scanning.
- Three-dimensional imaging.
- CAD/CAM restorations.
- Digital impressions.
- Cone-beam computed tomography.
- Virtual treatment planning.
- Three-dimensional printing.
- Electronic patient records.

These technologies improve precision, reduce treatment time, minimize patient discomfort, and facilitate interdisciplinary collaboration.

However, the literature emphasizes that technological innovation must remain supported by rigorous clinical evidence before widespread implementation.

Teledentistry and Remote Oral Healthcare

The COVID-19 pandemic accelerated worldwide implementation of teledentistry.

Current evidence demonstrates that remote dental consultations effectively support:

- Initial patient screening.
- Preventive counseling.
- Medication review.
- Follow-up assessment.
- Oral hygiene education.
- Referral coordination.
- Rural healthcare delivery.

Teledentistry has proven particularly valuable for elderly individuals, medically compromised patients, disabled populations, and geographically isolated communities.

Nevertheless, successful implementation requires improvements in digital infrastructure, reimbursement systems, regulatory frameworks, professional training, cybersecurity, and patient data protection.

Patient-Centered Care and Shared Decision-Making

Evidence-Based Medicine emphasizes patient participation throughout clinical decision-making.

Family dentistry increasingly adopts shared decision-making models integrating:

- Scientific evidence.
- Clinical expertise.
- Patient preferences.
- Cultural beliefs.
- Financial considerations.
- Lifestyle factors.
- Treatment expectations.

Scientific studies consistently demonstrate that patient-centered care improves:

- Treatment adherence.
- Patient satisfaction.
- Oral health literacy.
- Preventive behavior.
- Clinical outcomes.
- Long-term maintenance.

Communication skills therefore represent an increasingly important professional competency within evidence-based family dentistry.

Healthcare Quality Improvement

Quality improvement has emerged as a major priority within contemporary family dentistry.

The reviewed literature identifies multiple evidence-based quality indicators including:

- Clinical guideline adherence.
- Infection prevention.
- Radiation safety.
- Medication safety.
- Clinical audit.
- Patient-reported outcome measures.
- Adverse event reporting.
- Standardized documentation.
- Continuous professional education.

Healthcare organizations implementing structured quality improvement programs consistently demonstrate improved patient safety, reduced clinical errors, enhanced treatment outcomes, and increased organizational efficiency.

Continuous quality improvement remains essential for maintaining high standards of evidence-based clinical practice.

Professional Education and Lifelong Learning

Rapid scientific advancement requires continuous updating of professional knowledge.

Evidence indicates that dentists participating regularly in continuing professional development demonstrate:

- Better clinical guideline adherence.
- Greater Evidence-Based Medicine competency.
- Improved diagnostic performance.
- More appropriate prescribing practices.

- Higher patient satisfaction.
- Better preventive outcomes.

Dental education increasingly incorporates:

- Critical appraisal.
- Clinical epidemiology.
- Research methodology.
- Biostatistics.
- Systematic review interpretation.
- Digital healthcare technologies.
- Artificial intelligence.
- Clinical decision support.

Lifelong education remains indispensable for maintaining professional competence within rapidly evolving healthcare environments.

Global Public Health Perspectives

Current international evidence recognizes oral health as an essential component of Universal Health Coverage.

Family dentists contribute directly to:

- Health promotion.
- Disease prevention.
- School oral health programs.
- Maternal oral healthcare.
- Healthy aging.
- Tobacco cessation.
- Non-communicable disease prevention.
- Community outreach.
- Oral cancer screening.
- Health equity.

Scientific evidence demonstrates that countries investing in comprehensive primary oral healthcare experience lower oral disease prevalence, reduced healthcare expenditures, improved workforce productivity, and enhanced quality of life.

Despite these achievements, important global inequalities remain regarding healthcare financing, workforce distribution, rural access, insurance coverage, and preventive service availability.

Addressing these disparities requires coordinated action involving governments, universities, healthcare organizations, international agencies, and professional associations.

Critical Discussion and Future Perspectives

The findings of this review demonstrate that family dentistry is undergoing one of the most significant transformations in its history. The profession has evolved from predominantly restorative practice toward comprehensive, preventive, evidence-based, digitally integrated, and patient-centered primary healthcare.

Evidence-Based Medicine serves as the scientific framework supporting every stage of clinical decision-making, from disease prevention and diagnosis to treatment planning, quality assurance, and long-term follow-up. Emerging technologies—including artificial intelligence, precision dentistry, digital health systems, regenerative therapies, and teledentistry—offer substantial opportunities for improving healthcare quality, provided that their implementation remains grounded in rigorous scientific evidence.

Future progress should prioritize strengthening evidence-based clinical guideline implementation, expanding interdisciplinary collaboration, enhancing oral health literacy, improving digital infrastructure, reducing global healthcare inequalities, supporting lifelong professional education, and promoting preventive oral healthcare as a central public health strategy.

The scientific evidence reviewed demonstrates that family dentists are no longer solely providers of restorative dental treatment. They have become essential primary healthcare professionals who contribute significantly to disease prevention, early diagnosis, health promotion, chronic disease management, healthcare quality improvement, and sustainable global public health. Continued investment in evidence-based research, professional education, healthcare innovation, and integrated policy development will be fundamental for maximizing the contribution of family dentistry to future healthcare systems and achieving equitable, high-quality oral healthcare worldwide.

The synthesis of the literature and global evidence reveals that family dentists occupy a unique and pivotal position within primary healthcare systems, functioning as both clinicians and agents of public health. Across diverse regions and healthcare models, family dentists are recognized not merely for their role in treating dental disease but for their capacity to deliver preventive interventions, educate communities, and integrate oral health into broader health systems. The findings indicate a complex interplay between clinical responsibilities, population health advocacy, and systemic constraints, underscoring the multifaceted nature of the profession. The evidence suggests that while family dentists have historically been perceived primarily as providers of restorative and corrective care, their scope is rapidly expanding to encompass preventive, diagnostic, and interprofessional functions that are central to improving population health outcomes.

Global analyses indicate that the distribution of family dentists is heavily influenced by economic development, healthcare infrastructure, and policy priorities. In high-income countries such as the United States, the United Kingdom, Germany, and Japan, family dentists typically operate within structured primary care systems supported by insurance mechanisms or publicly funded programs. These frameworks facilitate patient access to routine check-ups, preventive care, and early disease detection. Data from these regions demonstrate that regular engagement with family dentists is associated with reduced incidence of dental caries, periodontitis, and tooth loss, as well as improved oral hygiene practices and patient knowledge. Moreover, these dentists often participate in multidisciplinary teams, collaborating with physicians, dietitians, nurses, and other health professionals to manage chronic diseases with oral manifestations, such as diabetes, cardiovascular conditions, and autoimmune disorders. Such integration highlights the potential for family dentists to act as conduits between oral and systemic healthcare, reinforcing the concept of patient-centered care within a holistic health paradigm.

Conversely, low- and middle-income countries face markedly different realities. In regions such as Sub-Saharan Africa, South Asia, and parts of Latin America, family dentists are often concentrated in urban centers, creating a pronounced rural-urban disparity in access. In these contexts, the majority of dental services are delivered in private clinics, leaving marginalized populations underserved or entirely excluded from preventive and primary dental care. Epidemiological data from these regions consistently indicate high prevalence of untreated dental caries, advanced periodontal disease, and oral infections, which contribute to substantial morbidity and diminished quality of life. The scarcity of trained personnel exacerbates these challenges, highlighting the urgent need for workforce expansion, innovative service delivery models, and policy interventions that prioritize oral health as a fundamental component of

primary healthcare. The evidence underscores that, without systemic reforms, family dentists in these settings are constrained in their ability to contribute effectively to population health objectives.

The literature also emphasizes the preventive and health-promoting functions of family dentists. Regular dental visits provide opportunities not only for early detection of caries and periodontal disease but also for the identification of systemic conditions manifesting orally. For example, family dentists frequently encounter signs of diabetes, vitamin deficiencies, immunodeficiency states, and hormonal imbalances, allowing for timely referral to appropriate medical specialists. Preventive interventions—including fluoride application, sealants, patient education on oral hygiene, dietary counseling, and tobacco cessation support—demonstrate measurable improvements in oral health outcomes and, by extension, systemic health. Studies conducted in both developed and developing countries reveal that when family dentists are integrated into community-based programs, such as school oral health initiatives or maternal-child health campaigns, there is a significant reduction in disease prevalence and improved adoption of preventive behaviors among populations at risk. These findings indicate that the scope of family dentists extends far beyond the treatment chair, positioning them as proactive agents in disease prevention and health promotion.

The investigation into the innovative perspectives on the role of family dentists globally reveals a landscape characterized by profound dissonance between a compelling evidence-based rationale for role expansion and a persistent reality of systemic, educational, and professional constraints. The results of this synthesis, drawn from a multidisciplinary analysis of clinical research, health systems analyses, sociological studies, and policy documents, present not a single unified narrative but a complex and often contradictory tapestry. The discussion that follows intertwines with these results, aiming to interpret their meaning, explore their implications, and confront the significant challenges they unveil. This integrated results and discussion section is structured around four emergent thematic domains: the unequivocal evidence supporting an integrated oral-systemic health model and the family dentist’s pivotal role within it; the formidable structural and cultural barriers that inhibit the actualization of this role; the critical disparities in global contexts that demand divergent innovative approaches; and the foundational transformations required across education, policy, and technology to navigate a path forward. It is within the tensions between these domains that the future of family dentistry will be negotiated.

The most robust and convergent body of evidence underpinning this thesis lies in the irrefutable scientific validation of the oral-systemic health connection, which fundamentally reconfigures the biological and clinical justification for the family dentist's expanded scope. The results of countless longitudinal studies, meta-analyses, and systematic reviews now establish that periodontitis is not an isolated oral infection but a chronic inflammatory disease with significant systemic ramifications. The evidence for a bidirectional relationship with diabetes is particularly powerful, with periodontitis recognized as a major complicating factor for glycemic control, and diabetes acknowledged as a major risk factor for the progression of periodontitis. The biological mechanisms, involving the systemic dissemination of inflammatory mediators and bacterial pathogens, are well-elucidated. Furthermore, the associations with adverse pregnancy outcomes, respiratory diseases, rheumatoid arthritis, and cardiovascular diseases, while sometimes demonstrating correlation rather than outright causation, are supported by plausible pathophysiological pathways and a substantial body of epidemiological data. This evidence base creates an incontrovertible imperative for a healthcare model that does not arbitrarily dissect the human body at the maxilla and mandible. The discussion, therefore, must

move beyond questioning the existence of these links to critically examining the clinical and professional responsibilities they engender.

The new clinical mandate for the family dentist, positioning them as a crucial primary care sentinel. The results indicate that the dental practice, characterized by its nature as a site of regular, preventive maintenance visits for a generally asymptomatic patient population, represents a vastly underutilized platform for early detection and health promotion. Evidence demonstrates that opportunistic screening during routine examinations can effectively identify signs of non-communicable diseases. For instance, intraoral and extraoral examinations can detect manifestations of HIV/AIDS, leukemia, and vitamin deficiencies, while screening questionnaires and clinical findings can raise strong suspicions of undiagnosed diabetes or eating disorders like bulimia nervosa. The most significant public health opportunity lies in oral cancer screening. Given the persistently high mortality rates associated with late-stage diagnosis, the family dentist's role in visual and tactile examination is not merely an add-on but a moral and professional obligation. The discussion surrounding this evidence, however, must grapple with nuanced challenges: the sensitivity and specificity of screening methods in a general practice setting, the ethical management of false positives and the anxiety they may induce, and the development of clear, effective referral pathways to ensure that screening translates into timely medical intervention. The results confirm the potential; the discussion must address the practical complexities of implementation to realize a model where the family dental practice functions as a proactive health node, not a reactive repair shop.

Concurrent with the clinical evidence is a powerful economic and public health argument for a prevention-oriented, publicly engaged model of family dentistry. The results of economic burden studies are staggering, indicating that global expenditures on treating oral diseases run into hundreds of billions of dollars annually, coupled with even greater indirect costs from productivity losses. The evidence is unequivocal that these costs are overwhelmingly driven by a failure of prevention and early intervention. The results further demonstrate that the burden of disease is not distributed equitably but follows a steep social gradient, disproportionately affecting populations who face the greatest barriers to accessing traditional, clinic-based curative care. This inequity renders the conventional surgical-restorative model not merely inefficient but fundamentally unjust. The discussion arising from these results must, therefore, forcefully argue that innovation is not a luxury but a necessity for sustainability and equity. It compels a redefinition of "value" in dental care—shifting the metric from procedural throughput to population health outcomes. The family dentist's innovation, in this light, includes engaging in community-level health promotion, advocating for policies like sugar-sweetened beverage taxes and community water fluoridation, and participating in school-based sealant programs. This represents a radical departure from the historic identity of the profession, challenging the very notion of where dentistry happens and whom the dentist serves. The results show that the most significant gains in population oral health will be made not by perfecting the class II restoration but by addressing the social, commercial, and political determinants of health, and the discussion must confront the profession's readiness to embrace this vastly broader mission.

The major thematic domain revealed is a constellation of deeply entrenched barriers that systematically inhibit the adoption of this innovative perspective. The most recalcitrant of these is the financial architecture underpinning dental care in most high-income countries: the fee-for-service reimbursement model. The results of numerous practice analyses and economic studies demonstrate a profound misalignment between this model and the activities required for a public health-oriented practice. The system generously reimburses technically complex procedures like crowns, implants, and endodontics, while offering minimal or no compensation

for the time-intensive cognitive labor of health risk assessments, dietary counseling, tobacco cessation coaching, interprofessional communication, and patient education. This creates an inescapable economic disincentive for dentists to practice in the manner the evidence advocates. The discussion here must acknowledge the economic realities of running a practice. A dentist who spends thirty minutes on smoking cessation counseling is, under current systems, generating significantly less revenue than a colleague who performs two fillings in the same time. This is not a failure of individual will but a systemic failure. Therefore, any discussion of innovation that does not centrally address payment reform is intellectually dishonest. The results point to the need for pilot programs and research into alternative payment models, such as capitation, global budgets for defined populations, or pay-for-performance schemes that reward measurable health outcomes—a shift from rewarding *volume* to rewarding *value*.

Equally formidable is the barrier of professional silofication and the historical separation of dentistry from the broader healthcare system. The results of sociological and ethnographic research into healthcare professions reveal a deeply ingrained cultural divide between dentistry and medicine, perpetuated by separate educational pathways, distinct professional identities, different licensing bodies, and—most practically—incompatible health information technologies. The absence of interoperable electronic health records (EHRs) represents a critical operational barrier to the integrated care model that the evidence demands. A family dentist cannot easily access a patient's glycemic history or current medications, nor can they seamlessly communicate findings of elevated blood pressure or suspected diabetes to a primary care physician. This forces communication back to archaic methods like faxes or phone calls, which are inefficient and prone to failure. The discussion must extend beyond a simple call for "better collaboration" to a critical analysis of professional tribalism. It requires exploring the historical roots of this separation and advocating for concrete steps to dismantle it, beginning with integrated EHR systems and mandatory interprofessional education (IPE) during training. Until a dentist and a physician share a common language and a common digital platform, the vision of the dentist as a member of a holistic healthcare team will remain largely aspirational.

A critical barrier resides within the very core of dental education itself. The results of curriculum analyses across global institutions indicate that while there is a growing awareness of the need for change, the core pedagogy remains overwhelmingly focused on technical and surgical proficiency within a biological framework of disease. Students spend thousands of hours mastering operative techniques on typodonts and patients but receive scant training in public health principles, health policy analysis, and practice management under alternative payment models, leadership, or the skills of interprofessional collaboration. This creates a workforce that is exquisitely trained for the paradigm of the past but unprepared for the demands of the future. The discussion must therefore focus on the necessity of a seismic pedagogical shift. Innovation requires a new curriculum that balances technical excellence with competencies in health promotion, communication, systems thinking, and evidence-based practice. It requires moving students out of the cloistered dental clinic and into community health centers, medical wards, and public health departments to foster a broader identity. This is not about adding a course; it is about transforming a worldview. The results are clear: without fundamental educational reform, new graduates will continue to be socialized into a system that the evidence indicates is obsolete, perpetuating the cycle of misaligned priorities.

The overarching thematic domain, and perhaps the most challenging for a global thesis, is the stark heterogeneity of contexts in which family dentistry is practiced. The results of this analysis definitively reject a one-size-fits-all approach to innovation. The challenges and potential solutions in a high-income, technologically advanced urban center are fundamentally different from those in a resource-poor, rural setting in a low-income country. In the former, innovation

might focus on the integration of artificial intelligence for radiographic diagnosis, the use of salivary biomarkers for personalized caries risk assessment, and the development of complex integrated care networks. The barrier is often not a lack of resources but the inertia of entrenched systems and financial models. In contrast, in many parts of the world, the primary barrier is a catastrophic shortage of any trained dental workforce at all. Here, the most innovative perspective may involve a radical rethinking of the "family dentist" model itself. The results from countries like New Zealand and Canada support the effectiveness of dental therapists—mid-level providers trained to perform basic preventive and restorative procedures—in expanding access to care for remote and underserved populations. The discussion must, therefore, engage courageously with the politically contentious issue of task-shifting and scope-of-practice expansion. It must prioritize access to basic care over professional protectionism. Furthermore, innovation in low-resource settings may leverage mobile health (mHealth) technology for patient education and reminders, or deploy portable, battery-operated equipment for rural outreach clinics. The global discussion, therefore, is not a single conversation but a multiplex of parallel dialogues, each requiring context-specific evidence, respect for local constraints, and culturally appropriate solutions. The common thread is not the specific intervention but the shared goal of achieving health equity through the most effective and efficient means available.

Synthesizing the evidence of need, the analysis of barriers, and the diversity of global contexts leads inevitably to the final domain: the articulation of foundational transformations required for a viable future. The results of this synthesis suggest that the path forward is not incremental adjustment but a coordinated reinvention across multiple fronts. First, the pedagogical transformation of dental education is the essential long-term catalyst. This requires a decisive move from a technically-dominated curriculum to an integrated, competency-based model that produces "oral physicians." This new graduate would be equally fluent in performing a high-quality restoration as they are in interpreting a patient's HbA1c level, conducting a motivational interview for tobacco cessation, navigating the local public health landscape, and collaborating effectively with a medical team. This transformation depends on universities breaking down their own internal silos and fostering genuine IPE with medical, nursing, and pharmacy schools. The discussion must propose concrete and politically viable strategies for financial and regulatory reform. This involves piloting and rigorously evaluating alternative payment models to build an evidence base for their effectiveness. It requires advocacy directed at government health ministries and private insurers to demonstrate the long-term cost-effectiveness of prevention and early intervention. On a regulatory level, it necessitates reviewing and modernizing scopes of practice to allow for both the expanded role of the dentist in health screening and the legitimate role of mid-level providers in extending the reach of the care team. This is a complex political endeavor that will require the dental profession to engage in policy advocacy with a unified and evidence-based voice.

The future is inextricably linked to technological integration. The discussion must emphasize that interoperable health information systems are not a luxury but a fundamental prerequisite for integrated care. The development of dental modules within mainstream medical EHRs, or vice versa, is a technical and political challenge that must be overcome. Furthermore, the responsible adoption of emerging technologies—from teledentistry for consultation and triage to AI for diagnostic support—must be actively explored and evaluated not just for their clinical efficacy but for their potential to improve access and equity.

The results of this comprehensive investigation present a profession at a crossroads. The evidence from biology, clinical science, and public health provides a powerful and coherent argument for the family dentist to evolve into a primary oral healthcare provider, a health

sentinel, and a public health advocate. However, this potential is held in check by a formidable array of economic, educational, and systemic barriers that are deeply embedded in the history and culture of the profession. The global context adds layers of complexity, demanding solutions that are specific to local needs and resources. The discussion, therefore, culminates not in a simple prescription but in a call for a courageous and collaborative project of reinvention. It demands that the profession critically examines its own traditions, engages in honest dialogue with its partners in medicine and public health, and advocates fiercely for the systemic changes required to align practice with evidence. The ultimate innovation is not a new technology or a new procedure, but a new mindset: one that sees the family dentist not as a solitary technician treating teeth, but as an integral and indispensable node in a global network dedicated to achieving whole-person health and health equity for all populations.

Family dentists play a central and evolving role in the promotion of oral and systemic health, serving as both clinicians and public health advocates. This article provides a comprehensive analysis of their contributions to primary dental care, preventive strategies, community engagement, and health system integration across diverse global contexts. Evidence indicates that family dentists significantly reduce the prevalence of oral diseases, facilitate early detection of systemic conditions with oral manifestations, and promote health literacy through patient education and community outreach. Their preventive and diagnostic interventions are enhanced by emerging technologies, including tele-dentistry, digital health platforms, and artificial intelligence, which expand access and enable personalized care. Comparative analyses highlight successful models from Brazil, the United Kingdom, India, and Scandinavia, demonstrating the impact of policy integration, workforce planning, and interdisciplinary collaboration on population health outcomes. Despite these advances, challenges remain, including workforce maldistribution, inequitable access, financial barriers, policy fragmentation, and cultural determinants of health. Future directions emphasize technological innovation, educational reform, policy alignment, and interprofessional collaboration to optimize the role of family dentists in achieving equitable, sustainable, and integrated oral and systemic healthcare. The findings underscore the indispensable role of family dentists in shaping the future of global health, positioning them as key actors in the realization of comprehensive, preventive, and community-centered health strategies.

A recurring theme in the literature is the role of family dentists in bridging the gap between individual patient care and community-level health initiatives. In many countries, family dentists serve as the interface between formal healthcare systems and local communities, translating public health policies into actionable practices and providing culturally sensitive health education. For instance, in Brazil, the Family Health Strategy integrates dental teams into primary care units, allowing family dentists to engage in household visits, community education, and preventive interventions. This model has demonstrated success in reducing oral disease prevalence, improving early diagnosis, and fostering community engagement. Similarly, in the United Kingdom, the National Health Service's provision of routine dental check-ups facilitates systematic monitoring of population oral health, early identification of high-risk groups, and implementation of targeted preventive programs. These examples highlight the capacity of family dentists to influence health outcomes at both individual and population levels, demonstrating that their impact is maximized when aligned with structured health systems and community-oriented policies.

Despite these positive findings, significant challenges persist globally. In high-income countries, access inequalities remain pronounced among socioeconomically disadvantaged populations, ethnic minorities, and migrants. Barriers such as financial constraints, geographic distance, and limited health literacy reduce the effectiveness of preventive interventions, even

in well-resourced systems. In low- and middle-income countries, the challenges are magnified by insufficient workforce, limited infrastructure, and underfunded public health initiatives. Moreover, cultural perceptions of oral health, traditional practices, and lack of awareness often impede utilization of professional dental services. The evidence indicates that these challenges require multifaceted solutions, encompassing policy reform, education, technological innovation, and interprofessional collaboration. Family dentists, by virtue of their dual clinical and public health roles, are strategically positioned to contribute to these solutions, yet their potential remains underutilized in many regions.

The role of the family dentist in primary dental care represents a critical nexus in the healthcare system, embodying a unique blend of clinical expertise, continuous patient relationships, and community presence. This discussion synthesizes a broad array of evidence, examining the current realities, challenges, and transformative potential of this role. It explores the evolution from a traditionally reactive, procedure-based model towards a proactive, health-centered paradigm, considering the implications of this shift for patient outcomes, public health, professional identity, and the broader healthcare landscape. The analysis reveals that while the evidence overwhelmingly supports an expanded and integrated role for family dentists, significant structural, economic, and educational barriers persist, creating a dissonance between potential and practice. Navigating this dissonance requires a fundamental reimagining of dental care delivery, one that embraces prevention, prioritizes equity, and fosters collaboration across the health professions.

The foundation of the family dentist's value lies in the continuity of care they provide. Unlike specialist counterparts who address specific conditions or age groups, the family dentist engages with individuals and families across the lifespan. This longitudinal relationship fosters a deep understanding of patient history, genetic predispositions, environmental factors, and behavioral patterns. It creates a context of trust that is indispensable for effective health promotion and the management of chronic conditions, which are the hallmark of modern dentistry. The management of caries, for instance, is increasingly understood not as a series of restorative events but as a lifelong management of a biofilm-mediated disease influenced by diet, saliva, and social habits. The family dentist, through repeated interactions, is uniquely positioned to monitor risk factors, provide personalized coaching, and intervene early with minimally invasive techniques. This continuous care model stands in stark contrast to episodic, pain-driven visits, which remain prevalent, particularly among underserved populations. The results of numerous studies indicate that patients with a regular source of dental care exhibit better oral health outcomes, higher rates of preventive service utilization, and lower long-term treatment costs. This suggests that the relational aspect of family dentistry is not a soft benefit but a core determinant of clinical effectiveness.

The biological justification for this expanded, continuous role has been solidified by the robust evidence illuminating the oral-systemic health connection. The mouth is no longer considered an isolated organ but is recognized as a mirror reflecting overall health and a portal for systemic inflammation. The pathophysiological pathways linking periodontitis to conditions such as diabetes mellitus, cardiovascular disease, adverse pregnancy outcomes, and rheumatoid arthritis are well-documented. Chronic periodontal inflammation serves as a reservoir of pro-inflammatory cytokines and bacteria that can disseminate throughout the body, exacerbating metabolic control and contributing to endothelial dysfunction. This evidence fundamentally reconfigures the clinical mandate of the family dentist. A periodontal examination transforms from a narrow assessment of tooth-supporting tissues into a critical evaluation of a patient's inflammatory status. The diagnosis of periodontitis must now trigger a series of considerations that extend far beyond the oral cavity, including assessment of diabetic risk, communication

with primary care physicians, and a reinforced emphasis on anti-inflammatory periodontal therapy. The family dentist thus becomes a vital sentinel in the early detection and management of systemic disease, operating at the intersection of oral and general health.

The global burden of oral diseases remains staggering, with untreated dental caries representing the most prevalent condition worldwide. This burden is disproportionately borne by marginalized groups—those of low socioeconomic status, racial and ethnic minorities, rural residents, the elderly, and individuals with special healthcare needs. These populations face formidable barriers to accessing traditional dental care, including cost, geographic availability, and cultural factors. The results of public health research consistently demonstrate that a clinic-based, curative model is incapable of addressing these population-level inequities. It is a system that waits for disease to occur and then requires individuals to navigate complex barriers to receive treatment. An innovative perspective, therefore, positions the family dentist not only as a clinician within a practice but as a health advocate and resource within the community. This involves engaging in community-wide health promotion, advocating for policies that address the social determinants of health (such as sugar-sweetened beverage taxes and community water fluoridation), and participating in school-based sealant programs and outreach initiatives for homeless populations. The family dental practice can function as a community health hub, leveraging its position of trust to improve not just individual patient health but the health of the population it serves.

The realization of this potentiated role is confronted by a formidable array of systemic barriers. The most significant of these is the financial architecture that underpins dental care in many countries, particularly the fee-for-service reimbursement model. This model operates as a powerful structural determinant of clinical behavior, creating a profound misalignment between economic incentives and evidence-based care. It generously rewards technical, procedural interventions—such as fillings, crowns, and extractions—while offering minimal or no compensation for the cognitive, time-intensive work of health risk assessment, preventive counseling, care coordination, and interprofessional communication. A dentist who spends thirty minutes conducting a tobacco cessation intervention or managing a patient's caries risk factors is financially penalized under this system, as that time could have been spent generating income through procedures. This economic reality effectively stifles innovation and perpetuates a surgical-restorative paradigm. The discussion must therefore contend with the necessity of payment reform. Alternative models, such as capitation (a fixed per-patient-per-month fee), value-based payments tied to achieved health outcomes, or bundled payments for the comprehensive management of a condition like periodontitis, must be rigorously piloted and evaluated. Transitioning to such models is complex, requiring sophisticated risk-adjustment and new practice management capabilities, but it is essential for aligning financial incentives with the preventive, health-oriented practice that the evidence demands.

An equally entrenched barrier is the historical and cultural silofication of dentistry from the broader healthcare system. This separation is manifested in segregated educational pathways, distinct professional identities, separate licensing boards, and, most pragmatically, incompatible health information technologies. The absence of interoperable electronic health records (EHRs) between medical and dental providers presents a critical operational obstacle to integrated care. The family dentist often operates in an information vacuum, lacking access to a patient's medical history, current medications, or laboratory results. Conversely, findings from the dental examination that have systemic implications—such as poor glycemic control in a diabetic patient or signs of osteoporosis on a radiograph—cannot be seamlessly communicated to the patient's physician. This forces reliance on inefficient, outdated methods like faxes and phone calls, which are prone to failure. Overcoming this divide requires more

than a plea for "better collaboration." It demands a foundational commitment to interprofessional education (IPE), where dental, medical, nursing, and pharmacy students train together to develop a shared language, mutual respect, and a understanding of respective roles and responsibilities. Furthermore, it requires a political and technical commitment to developing integrated health information platforms that bridge the medical-dental divide, enabling the secure and efficient exchange of patient data for comprehensive care coordination.
The development of a workforce capable of meeting these new challenges begins with dental education, which itself represents a significant site of constraint. The results of curriculum analyses reveal that despite evolving awareness, the core of dental education remains overwhelmingly focused on technical and surgical proficiency within a biological framework of disease. Students spend thousands of hours mastering operative techniques on manikins and patients but receive comparatively minimal training in public health principles, practice management under alternative payment models, leadership, health policy, or the skills required for effective interprofessional collaboration. This produces a new generation of clinicians who are exquisitely prepared for the paradigm of the past but underprepared for the demands of the future. A transformative innovation would be the evolution of the dental curriculum from its technically dominated model towards one that produces "oral physicians." This new graduate would be a hybrid clinician-manager-advocate, equally competent in performing a high-quality restoration as they are in interpreting a patient's HbA1c level, conducting a motivational interview for behavioral change, navigating the local public health infrastructure, and leading a team-based approach to patient care. This requires universities to break down their own internal silos and create authentic, embedded interprofessional learning experiences.
The challenges and opportunities for the family dentist are radically different across national and economic contexts. In high-income countries with a saturated dental workforce, the primary challenges are those of misalignment and integration—leveraging a sophisticated workforce for greater public health impact within complex, often fragmented, healthcare systems. Innovation here may focus on managing complex elderly patients with multiple morbidities, integrating with primary care medical homes, and adopting advanced diagnostic technologies. In stark contrast, in many low- and middle-income countries (LMICs), the fundamental challenge is often one of absolute scarcity. The dentist-to-population ratio can be critically low, and basic infrastructure for even simple restorative care may be absent. In these contexts, the most innovative perspective may involve a radical rethinking of the dental team itself. Strong evidence supports the efficacy and cost-effectiveness of mid-level providers—dental therapists—who can be trained in a shorter timeframe to deliver the majority of essential primary care services, including prevention, simple restorations, and extractions. The discussion must therefore courageously engage with the politically contentious issue of task-shifting, confronting professional opposition that often prioritizes protection of scope-of-practice over population health needs. The ethical imperative of equity demands a pragmatic approach: it is better to have a large cadre of competent therapists providing essential care to a population than a tiny elite of dentists serving only the affluent few. Innovation in LMICs may also involve leapfrogging legacy systems entirely, embracing mobile digital technology (mHealth) for patient education and reminders, and deploying portable, battery-operated equipment for rural outreach.
Peering into the future, the role of the family dentist will be further shaped by technological acceleration. The emergence of artificial intelligence (AI) for diagnostic support in radiography and oral cancer detection, the development of salivary biomarkers for personalized caries and periodontal risk assessment, and the growth of teledentistry for consultation and monitoring are all poised to change practice. The discussion surrounding this technological future is dual-faced,

filled with both promise and peril. The promise is one of greater diagnostic precision, earlier intervention, and more personalized care plans. Teledentistry can expand access to remote and homebound populations. However, the peril lies in the potential for de-skilling, algorithmic bias, ethical concerns regarding data privacy, and the threat of exacerbating health inequities through a "digital divide." The most innovative perspective views technology not as a replacement for the clinician, but as a powerful tool that amplifies their capabilities. The family dentist must evolve into a sophisticated interpreter of AI-generated data, a guide for patients navigating the implications of their genetic risk profiles, and the humanistic core of an increasingly technological practice. This requires the cultivation of a new digital literacy within the profession.

The evidence presents a compelling vision for the family dentist as a central figure in primary healthcare—a continuous caregiver, a manager of oral and systemic health, a community health advocate, and a collaborator within an integrated health team. This potential, however, is held in check by powerful structural, economic, and educational barriers that are deeply embedded in the history and culture of the profession. The path forward therefore requires a courageous and coordinated project of reinvention. It demands a critical examination of professional traditions, a commitment to payment reform that rewards value and outcomes, a transformation of dental education to produce oral physicians, and a embrace of interprofessional collaboration and technological innovation. The ultimate goal is to align the reality of dental practice with the overwhelming evidence base, transforming the family dental practice from a standalone workshop for surgical repair into an integrated node within a comprehensive healthcare network, dedicated to achieving whole-person health and health equity for all populations. This is not a simple evolution but a necessary revolution for the relevance and impact of the profession in the 21st century.

The analysis further reveals that family dentists can act as critical nodes in health promotion beyond clinical settings. Their interactions with patients provide opportunities for counseling on nutrition, tobacco and alcohol cessation, and general lifestyle modifications that influence both oral and systemic health. This preventive orientation aligns with global health strategies emphasizing noncommunicable disease control and health promotion across the lifespan. In addition, family dentists often participate in advocacy for public health interventions, including water fluoridation, school-based oral health programs, and regulation of sugar-rich products. The literature demonstrates that these contributions have measurable effects on population-level health outcomes, reinforcing the argument that family dentists are central to achieving broader public health objectives.

Comparative analysis of different healthcare systems underscores the importance of policy frameworks in shaping the impact of family dentists. Countries that have effectively integrated dental care into primary health services demonstrate higher rates of preventive service utilization, lower disease prevalence, and improved equity in access. Conversely, where oral health is excluded from universal health coverage or treated as a peripheral service, disparities are more pronounced, and the potential public health impact of family dentists is constrained. These findings suggest that the effectiveness of family dentists in promoting oral and systemic health is contingent not only upon individual competence but also upon supportive systemic, financial, and policy environments.

Emerging evidence also points to the transformative potential of technology in expanding the role of family dentists globally. Tele-dentistry, electronic health records, and mobile health platforms allow for remote consultation, education, and monitoring, particularly in underserved regions. Artificial intelligence and digital imaging enable early detection of oral pathology and predictive risk assessment, supporting more personalized and proactive care. These innovations

hold the promise of bridging gaps in access, improving preventive care, and facilitating integration of dental practice with general healthcare services. However, the literature cautions that technology must be implemented thoughtfully, with attention to equity, training, and infrastructure, to avoid exacerbating existing disparities.

The evidence underscores that family dentists occupy a critical position at the intersection of clinical care and public health. Their ability to provide preventive care, identify systemic disease manifestations, engage with communities, and contribute to health policy makes them indispensable actors in the global health landscape. However, challenges including inequitable access, workforce maldistribution, policy fragmentation, and cultural barriers continue to limit their full potential. Integration of technological innovations, supportive policy frameworks, and interprofessional collaboration are essential for optimizing the impact of family dentists on both individual and population health outcomes. These findings provide a foundation for understanding the evolving role of family dentists and inform the subsequent discussion of clinical contributions, systemic health linkages, and future directions in global practice.

Family dentists serve as the cornerstone of primary dental care, and their clinical contributions extend far beyond restorative procedures to encompass prevention, early diagnosis, and holistic patient management. Across global contexts, evidence demonstrates that regular engagement with family dentists significantly reduces the prevalence and severity of oral diseases, including dental caries, periodontal conditions, and edentulism. Preventive strategies administered by family dentists, such as professional cleaning, fluoride treatments, sealant applications, and patient education, have shown substantial efficacy in improving both short-term and long-term oral health outcomes. These interventions are particularly impactful when delivered in a context of continuous care, where dentists monitor patients across developmental stages, adapting preventive regimens to age-specific and risk-related factors. In children, for instance, early intervention and parental education can prevent the onset of caries, establish proper oral hygiene behaviors, and reduce the likelihood of malocclusions. Similarly, among adults, periodic assessment and reinforcement of oral hygiene practices significantly diminish periodontal inflammation and limit the progression of chronic conditions that could complicate systemic health.

The interrogation of the family dentist's role within the modern healthcare ecosystem reveals a discipline in a state of profound, yet hesitant, metamorphosis. The results of this synoptic analysis, synthesizing evidence from clinical science, health services research, political economy, sociology of professions, and innovation theory, depict a reality of immense potential stifled by systemic inertia. The discussion that follows does not merely present findings but constructs a critical narrative, arguing that the evolution required is not one of incremental adjustment but of foundational paradigm shift. This integrated results and discussion is organized around five dialectical tensions: the potentiation of the clinical encounter versus the limitations of the biomedical model; the economic rationale for value-based care versus the hegemony of procedural reimbursement; the globalized knowledge of best practice versus the localized reality of structural determinism; the technological promise of integration versus the ethical perils of algorithmic practice; and the emergent model of the dentist as a node within a health network versus the enduring archetype of the autonomous practitioner. It is within the crucible of these tensions that the future of primary dental care will be forged.

The preventive role of family dentists is further amplified when integrated with broader public health initiatives. In many countries, family dentists participate in school-based programs that provide both education and preventive services, effectively reducing disease incidence at the population level. Research from Scandinavian countries indicates that school dental programs, coupled with routine visits to family dentists, reduce the prevalence of dental caries by up to

50% in children and adolescents. In addition to direct clinical interventions, family dentists serve as educators, counseling patients on nutrition, tobacco cessation, alcohol reduction, and lifestyle behaviors that influence oral and systemic health. This dual function as clinician and educator situates family dentists as agents of both individual and community-level change, enhancing health literacy and empowering patients to adopt behaviors that prevent disease and maintain long-term oral health.

The study consistently emphasizes the critical role of family dentists in early detection of oral and systemic conditions. Oral manifestations often precede or accompany systemic diseases, and the family dentist is frequently the first healthcare professional to recognize these signs. For example, gingival inflammation, oral ulceration, and mucosal lesions may indicate underlying autoimmune disorders, hematological malignancies, or immunodeficiencies. In diabetic patients, periodontal disease serves both as a complication and a marker of glycemic control, with family dentists capable of identifying disease progression and coordinating with medical providers to optimize management. Similarly, family dentists often detect early manifestations of cardiovascular disease, nutritional deficiencies, and viral infections such as HIV, facilitating timely referral and intervention. This integration of oral and systemic health monitoring underscores the importance of interdisciplinary collaboration and highlights the unique position of family dentists as sentinels of overall health.

To disease detection, family dentists contribute to health promotion through structured preventive programs and individualized patient counseling. Preventive strategies extend to vulnerable populations, including pregnant women, elderly individuals, and patients with chronic conditions, where oral health directly influences systemic outcomes. Among pregnant women, for instance, periodontal inflammation has been associated with adverse outcomes, including preterm birth and low birth weight. Family dentists, through routine monitoring and targeted preventive care, mitigate these risks and contribute to maternal-child health outcomes. In geriatric populations, family dentists address challenges such as xerostomia, root caries, prosthetic management, and polypharmacy interactions, thereby supporting functional independence, nutrition, and quality of life. The literature emphasizes that preventive care delivered consistently by family dentists reduces healthcare costs, limits the burden on secondary and tertiary services, and contributes to more efficient health system utilization.

The integration of evidence-based clinical practice with preventive care is enhanced by advancements in diagnostic and monitoring technologies. Digital radiography, intraoral scanners, and chairside imaging facilitate early detection of caries, periodontal disease, and oral malignancies. Additionally, the application of artificial intelligence for risk assessment, image analysis, and predictive modeling enables family dentists to anticipate disease progression, customize preventive strategies, and allocate resources effectively. These technological innovations extend the impact of preventive care beyond the clinic, allowing for proactive management and long-term monitoring. Studies indicate that practices incorporating digital technologies demonstrate higher adherence to preventive protocols, earlier detection of pathology, and improved patient engagement. Tele-dentistry, in particular, has emerged as a transformative tool in remote or underserved regions, enabling consultation, triage, and education without the constraints of geographic barriers. By combining traditional preventive approaches with these innovations, family dentists maximize both clinical efficacy and population-level health outcomes.

Family dentists also play a central role in addressing the oral-systemic health nexus. The concept that oral health is inseparable from general health is supported by a growing body of epidemiological and clinical research. Periodontal disease, for example, has been linked to systemic inflammation, atherosclerosis, and adverse cardiovascular events, while chronic oral

infections have been associated with insulin resistance and poor glycemic control in diabetic patients. In addition, oral health influences nutritional status, speech, and psychosocial well-being, demonstrating the broader implications of dental conditions on daily functioning. Family dentists, through comprehensive assessment and intervention, contribute to both prevention and management of systemic conditions, coordinating with physicians and other healthcare providers to optimize patient outcomes. This collaborative approach not only enhances individual patient care but also strengthens the integration of oral health into primary healthcare systems.

The study highlights the contribution of family dentists to population health through community-based interventions. Public health programs frequently rely on the expertise of family dentists to implement screening campaigns, vaccination drives, oral cancer awareness initiatives, and behavioral health programs. Evidence from countries such as Brazil demonstrates that family dentists integrated into community health teams can significantly reduce caries incidence, improve oral hygiene behaviors, and enhance access to care among underserved populations. Similarly, in India, mobile dental units staffed by family dentists have been shown to provide essential preventive services in rural and remote communities, mitigating disparities and extending the reach of oral health interventions. These findings reinforce the dual clinical and public health responsibilities of family dentists, highlighting their potential to effect change at both the individual and societal levels.

Despite the substantial contributions of family dentists to preventive care and systemic health, barriers remain that limit their effectiveness. Workforce shortages, uneven distribution of dental professionals, and lack of integration into primary healthcare frameworks impede access to preventive services. Economic and policy factors, including out-of-pocket payment models and limited insurance coverage, further constrain patient engagement with preventive care. Cultural beliefs, health literacy limitations, and local practices also influence patient behavior and adherence, particularly in regions with high oral disease prevalence. The literature emphasizes that addressing these barriers requires comprehensive strategies encompassing education, policy reform, and innovative service delivery models that prioritize prevention, accessibility, and integration of oral and systemic health.

Emerging research highlights innovative approaches that expand the preventive and clinical role of family dentists. Personalized preventive care, informed by genetic, behavioral, and environmental risk factors, allows for tailored interventions that optimize outcomes. Digital platforms and mobile applications support patient engagement, education, and adherence to oral hygiene routines. Artificial intelligence algorithms aid in early diagnosis, risk stratification, and clinical decision-making, enhancing the precision of preventive interventions. These innovations, combined with traditional preventive practices, reinforce the family dentist's central role in promoting oral and systemic health.

The evidence establishes that family dentists serve as essential providers of preventive care and early detection, bridging clinical practice with public health initiatives and systemic health monitoring. Their contributions extend across the lifespan, addressing the needs of children, adults, and the elderly, and encompass both individual patient management and population-level interventions. By integrating clinical expertise, preventive strategies, patient education, and interdisciplinary collaboration, family dentists enhance health outcomes, reduce disease burden, and contribute to more equitable and effective healthcare systems. The literature underscores that their full potential is realized when supported by appropriate policy frameworks, technological innovations, and workforce strategies that enable them to deliver comprehensive, patient-centered, and population-oriented care.

Family dentists play a pivotal role not only in individual patient care but also in the broader landscape of public health. Their contributions to community health are multifaceted, encompassing direct clinical interventions, health education, disease prevention programs, and policy advocacy. Evidence indicates that when family dentists are actively engaged in public health initiatives, there is a measurable reduction in the prevalence of oral diseases and associated systemic complications. These interventions range from school-based oral health programs and community screening initiatives to adult preventive campaigns, maternal-child health services, and chronic disease management. The dual function of the family dentist—as clinician and public health practitioner—enables them to translate public health objectives into actionable, context-specific practices that address the needs of diverse populations.

Community engagement by family dentists is particularly critical in regions where access to healthcare is limited or unevenly distributed. Mobile dental units, outreach programs, and tele-dentistry platforms have been deployed in rural and underserved urban areas to bridge gaps in access. In countries such as India and South Africa, community-based programs led by family dentists have significantly increased access to preventive services, early detection, and oral health education. These initiatives often involve collaboration with local health authorities, schools, non-governmental organizations, and community leaders to ensure cultural relevance, sustainability, and community participation. Evidence from longitudinal studies indicates that community-oriented interventions not only reduce disease burden but also foster trust, increase adherence to preventive practices, and empower individuals to take ownership of their oral health.

Public health impact is further enhanced through the integration of family dentists into national and regional health policies. Countries that recognize oral health as a core component of primary care and universal health coverage demonstrate improved population outcomes. For example, Brazil's Family Health Strategy incorporates dental teams within multidisciplinary primary care units, ensuring routine preventive services, patient education, and integration with systemic health care. Evaluations of this model indicate significant reductions in dental caries among children, improved periodontal outcomes, and enhanced access for marginalized populations. Similarly, in Scandinavian nations, comprehensive school-based programs and routine dental check-ups supported by public funding have resulted in one of the lowest incidences of oral disease globally. These examples illustrate the potential of well-structured policy frameworks to amplify the public health contributions of family dentists, particularly when aligned with preventive strategies, community engagement, and cross-sectoral collaboration.

Despite these successes, family dentists encounter substantial challenges that limit their capacity to maximize public health impact. One of the most significant barriers is workforce maldistribution, with dental professionals concentrated in urban and affluent regions, leaving rural and disadvantaged populations underserved. This uneven distribution is exacerbated by economic incentives that favor private practice over community-based or public service roles. Furthermore, inadequate integration of oral health into primary healthcare systems results in fragmented services, duplicative efforts, and missed opportunities for early detection and prevention. Financial barriers, including high out-of-pocket costs and limited insurance coverage, further constrain access to care, particularly among vulnerable groups. Cultural factors, including beliefs about oral health, traditional practices, and low health literacy, also influence utilization of services and adherence to preventive recommendations. The literature consistently identifies these challenges as critical determinants of oral health inequities, underscoring the need for comprehensive strategies that address structural, economic, and social barriers.

Policy limitations constitute another major obstacle to the full realization of the family dentist's role in public health. In many countries, oral health remains marginalized in health policy agendas, with limited funding, inadequate workforce planning, and minimal inclusion in universal health coverage schemes. The separation of dental and medical education and practice historically reinforced this marginalization, creating silos that impede interprofessional collaboration and integrated care delivery. In the absence of supportive policies, family dentists face challenges in implementing preventive programs, participating in population-based initiatives, and contributing to systemic health improvements. Evidence suggests that aligning oral health policies with broader public health objectives, including noncommunicable disease prevention, maternal-child health, and health equity, is essential for maximizing the impact of family dentists on population health.

Innovative strategies have emerged to address these challenges and expand the scope of family dentists' contributions. Digital health technologies, including electronic health records, mobile applications, tele-dentistry platforms, and artificial intelligence, have transformed the delivery of dental care, particularly in underserved settings. Tele-dentistry enables remote consultations, triage, and patient education, reducing geographic and economic barriers to access. Artificial intelligence supports early detection of dental pathology, predictive modeling for disease risk, and personalized preventive strategies. Mobile health applications enhance patient engagement, adherence to oral hygiene routines, and real-time monitoring of oral health indicators. These innovations not only improve clinical outcomes but also facilitate integration with general healthcare services, enabling family dentists to function as central nodes in interdisciplinary health systems.

Community-based preventive programs also exemplify innovative approaches in the practice of family dentistry. School oral health programs, maternal-child initiatives, and community clinics staffed by family dentists demonstrate measurable reductions in disease prevalence and improvements in health literacy. Evidence indicates that combining clinical services with educational interventions amplifies preventive outcomes, reinforcing behavioral change and fostering long-term adoption of healthy practices. Furthermore, family dentists increasingly engage in advocacy for policy interventions such as water fluoridation, sugar reduction, and tobacco cessation, demonstrating the potential to influence population-level determinants of health. These activities exemplify the transition of the family dentist from a primarily clinical role to that of a public health leader, capable of shaping policy, practice, and health behaviors at the community level.

The study also shows the transformative potential of interprofessional collaboration in enhancing the public health impact of family dentists. By working closely with physicians, nurses, dietitians, and public health officials, family dentists contribute to comprehensive health promotion strategies that address both oral and systemic conditions. Collaborative care models facilitate early identification of chronic diseases, coordination of preventive interventions, and improved management of comorbidities. For example, joint initiatives targeting diabetes management and periodontal health have demonstrated improvements in glycemic control, reduction in periodontal inflammation, and enhanced patient adherence to care plans. These findings underscore the importance of integrating family dentists into broader healthcare teams, emphasizing the interdependence of oral and general health and reinforcing the role of dentistry within primary healthcare frameworks.

Workforce development and education emerge as critical factors in optimizing the public health contributions of family dentists. Evidence indicates that curricula emphasizing preventive care, public health principles, community engagement, and interprofessional collaboration better prepare dentists to fulfill these expanded roles. Continuing professional development programs

focused on emerging technologies, health promotion strategies, and systemic disease linkages further enhance competency and efficacy. In regions where educational reforms prioritize these competencies, family dentists demonstrate greater capacity to deliver preventive care, engage communities, and participate in policy initiatives. Conversely, insufficient training and limited exposure to public health concepts constrain the ability of family dentists to influence systemic outcomes, highlighting the need for ongoing investment in workforce education and development.

Emerging technologies also facilitate the measurement and evaluation of public health impact. Electronic patient records, population-level health databases, and digital monitoring platforms allow family dentists to track outcomes, identify high-risk populations, and implement targeted interventions. Data-driven approaches support evidence-based decision-making, optimize resource allocation, and enhance the effectiveness of community-based programs. Moreover, integration of these technologies with national health information systems enables coordination with broader health services, promoting continuity of care and enabling family dentists to function as integral contributors to population health monitoring and policy development.

The global evidence base underscores the importance of context-specific strategies. In high-income countries, the focus may be on integrating technological innovations, optimizing preventive interventions for aging populations, and addressing persistent inequalities among marginalized groups. In low- and middle-income countries, priority is given to expanding access through mobile clinics, community programs, and innovative financing models that reduce financial barriers. Across all settings, family dentists contribute most effectively when their clinical expertise is aligned with public health objectives, supported by appropriate policy frameworks, and enhanced through technological and educational innovations.

Family dentists serve as essential actors in public health, extending their impact far beyond the dental chair. Their engagement in community health initiatives, preventive programs, policy advocacy, and interprofessional collaboration contributes to the reduction of oral disease, improvement of systemic health, and advancement of population-level outcomes. Despite persistent challenges, including workforce shortages, inequitable access, and policy limitations, innovative strategies—particularly the adoption of digital technologies, community-based interventions, and evidence-informed education—demonstrate the potential to overcome these barriers. The literature underscores that optimizing the role of family dentists in public health requires a multifaceted approach that integrates clinical excellence, community engagement, technological innovation, workforce development, and systemic policy support, thereby ensuring that family dentists remain central to both individual and population health in a rapidly evolving global context.

The integration of family dentists into health systems and policy frameworks is fundamental to maximizing their contributions to primary dental care and public health. Evidence suggests that countries with well-structured policies supporting oral health demonstrate superior outcomes in disease prevention, access equity, and health promotion. Policy integration encompasses multiple dimensions, including workforce planning, inclusion of oral health in universal health coverage, financial mechanisms for preventive care, and alignment with broader health objectives such as the control of noncommunicable diseases. In high-income countries, structured policies ensure routine access to preventive services, systematic monitoring of population oral health, and the promotion of early interventions. These frameworks also facilitate interprofessional collaboration, enabling family dentists to work closely with physicians, nurses, and public health officials to deliver comprehensive care.

Universal health coverage that explicitly includes dental services is a critical determinant of effective integration. For example, in the United Kingdom, the National Health Service

provides coverage for preventive and restorative dental care, ensuring broad access to family dentist services across age groups and socioeconomic strata. This inclusion allows for systematic monitoring of oral health, early detection of disease, and the implementation of population-level preventive interventions. Evaluations indicate that this approach reduces inequalities, improves oral health literacy, and strengthens the alignment between dental and general health services. In contrast, in countries where dental care remains largely privatized or excluded from national health coverage, disparities in access are pronounced, and the preventive and public health roles of family dentists are constrained. Financial barriers limit patient engagement with routine services, increasing the prevalence of advanced disease and elevating long-term healthcare costs.

Workforce distribution policies are equally significant in shaping the public health impact of family dentists. Adequate numbers of trained professionals, equitable geographic deployment, and incentives for service in underserved regions enhance access to care and reinforce preventive interventions. Studies from Canada and Australia illustrate that policy measures, such as financial incentives, rural placement programs, and community service obligations, effectively redistribute dental professionals, reducing disparities and improving oral health outcomes in remote and socioeconomically disadvantaged populations. Conversely, in many low- and middle-income countries, workforce shortages and urban concentration of dentists perpetuate inequities, emphasizing the need for strategic planning, capacity building, and supportive policy interventions to optimize the role of family dentists in primary care and public health.

Comparative case studies illuminate the diversity of models and their effectiveness in integrating family dentists into broader health systems. Brazil's Family Health Strategy exemplifies a comprehensive approach, wherein dental teams are embedded within primary care units, providing preventive care, health education, and community outreach. Longitudinal evaluations demonstrate reductions in dental caries prevalence among children, improved periodontal health, and increased public awareness of oral hygiene practices. Importantly, the model emphasizes continuity of care, cultural competence, and collaboration with other healthcare professionals, highlighting the multidimensional contributions of family dentists.

In the United Kingdom, the integration of dental services into the National Health Service ensures that family dentists play a central role in preventive and restorative care, as well as in surveillance of population oral health. Routine dental visits, school-based programs, and targeted interventions for high-risk populations allow for early disease detection, behavior modification, and coordinated management of systemic conditions with oral manifestations. Evaluations of these programs indicate high levels of patient adherence, measurable reductions in oral disease, and enhanced equity in access. These findings underscore the value of policy-supported integration in optimizing the preventive and public health functions of family dentists.

In India, innovative approaches to extending the reach of family dentists include mobile dental units, community-based outreach programs, and collaboration with local health authorities. These initiatives target rural and underserved populations, delivering preventive care, education, and early diagnosis services. Evidence indicates significant improvements in oral health knowledge, increased utilization of dental services, and reductions in untreated dental disease. Challenges persist, including limited workforce capacity, infrastructure constraints, and financial barriers, but these models demonstrate the potential of creative solutions to overcome systemic obstacles.

The United States presents a complex landscape characterized by high-quality dental services for those with coverage but significant disparities among uninsured, low-income, and rural

populations. Family dentists operate in a mixed system, combining private practice, community health centers, and public programs. Innovations such as school-based preventive care, Medicaid-supported dental services, and tele-dentistry initiatives have expanded access, yet inequities persist. Studies highlight the critical importance of integrating family dentists into community health strategies, emphasizing interprofessional collaboration, policy support, and targeted resource allocation.

Future directions for the role of family dentists in global health emphasize the integration of technology, policy reform, workforce development, and interdisciplinary collaboration. Emerging digital tools, including tele-dentistry platforms, mobile health applications, and artificial intelligence, offer opportunities for risk assessment, preventive planning, early diagnosis, and patient engagement. These tools are particularly valuable in underserved regions, where access barriers impede traditional care delivery. Digital health solutions also enable longitudinal monitoring, population health analysis, and integration with broader healthcare systems, enhancing the capacity of family dentists to contribute to systemic health outcomes.

Workforce development is a parallel priority, requiring curricula and professional training programs that emphasize preventive care, public health principles, interprofessional collaboration, and technological competence. Evidence suggests that dentists trained in these competencies are more effective in community engagement, health promotion, and integration into health systems. Continuing professional development, mentorship, and exposure to global best practices further enhance the capacity of family dentists to address evolving population health needs.

Policy reform remains central to future progress. Integrating oral health into national health agendas, providing financial incentives for preventive care, ensuring universal coverage, and supporting equitable workforce distribution are essential for maximizing the impact of family dentists. Alignment with the Sustainable Development Goals reinforces the broader relevance of oral health, linking it to noncommunicable disease control, health equity, education, and social determinants of health. Advocacy by professional associations, collaboration with government agencies, and engagement with international organizations such as the World Health Organization are critical mechanisms for advancing these objectives.

The literature also highlights the importance of interdisciplinary and community partnerships. Family dentists, when integrated into primary care teams, contribute to holistic patient management, particularly for individuals with chronic conditions, developmental disorders, or complex medical histories. Collaboration with schools, community organizations, and public health agencies facilitates preventive interventions, health education, and early identification of risk factors, enhancing both individual and population health outcomes. Evidence suggests that these collaborative approaches are more effective in reducing disease burden, promoting health literacy, and fostering sustainable behavioral change than isolated clinical interventions.

Innovative global initiatives illustrate the transformative potential of family dentists' in future healthcare landscapes. In Singapore, integration of dental services into community health programs and use of digital platforms for risk assessment has improved access and preventive outcomes. In Sweden, school-based dental programs combined with national surveillance of oral health enable targeted interventions for high-risk populations. In Sub-Saharan Africa, pilot programs incorporating mobile clinics, tele-dentistry, and task-shifting to mid-level providers demonstrate promising reductions in oral disease prevalence and increased community engagement. These case studies highlight the adaptability of family dentists to diverse contexts and the importance of systemic support, technological innovation, and community-oriented strategies in maximizing impact.

Family dentists occupy a central and evolving role in primary dental care and public health, bridging clinical practice, community engagement, policy implementation, and health systems integration. Evidence from comparative case studies, global analyses, and emerging innovations underscores that their contributions extend beyond individual patient care to influence population health, reduce disparities, and support systemic health outcomes. Future directions emphasize integration of technology, workforce development, policy reform, and interdisciplinary collaboration, creating opportunities for family dentists to function as pivotal actors in global health. Optimizing their role requires a comprehensive approach that aligns clinical excellence with public health objectives, ensures equitable access, and leverages innovation to enhance preventive, diagnostic, and educational functions. Through these strategies, family dentists will continue to transform the landscape of oral health, contribute to systemic well-being, and advance global health equity in an increasingly interconnected and complex world.

Highlights

Workforce development and education are central to the future of family dentistry. Curricula that emphasize preventive care, public health principles, interdisciplinary collaboration, and technological competence equip dentists to meet evolving global health needs. Continuing professional development, mentorship, and exposure to innovative models further enhance their ability to deliver high-quality care and participate meaningfully in population health strategies. Investments in workforce expansion, equitable distribution, and skill development are therefore essential for strengthening the role of family dentists as agents of preventive care, public health advocacy, and systemic integration:

- **Central Role in Prevention and Early Detection:** Family dentists provide preventive care and identify oral manifestations of systemic diseases, contributing to early diagnosis and improved health outcomes.
- **Community and Public Health Impact:** Through school programs, maternal-child initiatives, mobile clinics, and outreach services, family dentists extend their influence beyond clinical settings, promoting health literacy and equitable access.
- **Integration with Health Systems:** Policy-supported integration of family dentists into primary care systems enhances continuity of care, interprofessional collaboration, and alignment with population health objectives.
- **Technological Innovations:** Tele-dentistry, artificial intelligence, digital imaging, and mobile health platforms expand access, enable personalized interventions, and facilitate data-driven decision-making.
- **Global Evidence and Comparative Models:** Successful programs in Brazil, the United Kingdom, India, Singapore, and Scandinavia demonstrate that structured policy, workforce support, and community engagement maximize the impact of family dentists.
- **Challenges and Barriers:** Workforce shortages, geographic maldistribution, policy fragmentation, financial constraints, and socio-cultural factors limit the full realization of family dentists' potential.
- **Future Directions:** Emphasis on education, interprofessional collaboration, policy reform, technological adoption, and sustainable workforce planning will optimize the role of family dentists in promoting oral and systemic health globally.
- **Implications for Global Health:** Family dentists are integral to achieving health equity, reducing disease burden, and implementing comprehensive preventive strategies, positioning them as pivotal actors' in future healthcare systems.

The family dentists occupy a uniquely strategic position at the intersection of clinical practice, community engagement, and public health policy. Their contributions to preventive care, early disease detection, health promotion, and systemic health integration are critical for reducing oral and systemic disease burdens, promoting equity, and enhancing health outcomes across diverse populations. The evidence highlights the necessity of supportive policy frameworks, workforce planning, technological innovation, and community-oriented strategies to optimize their impact. Future directions should prioritize integration of digital tools, alignment of dental and general healthcare services, development of interdisciplinary competencies, and expansion of equitable access to care. By addressing existing challenges and leveraging emerging opportunities, family dentists are poised to play an increasingly transformative role in global health, advancing not only oral well-being but also broader systemic and population health objectives.

SUMMARY

The comprehensive analysis presented in this study underscores the pivotal and multifaceted role of family dentists in advancing primary dental care and public health globally. Across diverse healthcare systems and socio-economic contexts, family dentists function not only as clinicians delivering restorative and preventive services but also as educators, advocates, and agents of systemic health integration. The evidence indicates that their contributions extend beyond individual oral health outcomes to encompass broader population-level effects, including reductions in disease prevalence, promotion of healthy behaviors, and facilitation of equitable access to care. Family dentists' engagement in both clinical and public health domains positions them uniquely to influence health trajectories across the lifespan, from early childhood through geriatric care, and to address the complex interplay between oral and systemic health.

One of the key insights emerging from this study is the essential role of family dentists in preventive care and early disease detection. Through regular monitoring, patient education, and targeted interventions, they are able to identify oral pathologies at an early stage, implement preventive measures, and coordinate care with other health professionals to manage systemic conditions manifesting orally. Preventive strategies such as fluoride application, sealant programs, professional cleanings, dietary counseling, and behavioral guidance have demonstrated measurable effectiveness in reducing the burden of oral disease. Moreover, family dentists are increasingly employing emerging technologies—such as digital imaging, artificial intelligence, and tele-dentistry—to enhance early detection, personalize preventive care, and extend their reach to underserved populations. These innovations amplify their clinical impact and facilitate integration with broader health systems, reinforcing the concept of dentistry as an essential component of holistic healthcare.

The study also highlights the critical public health functions of family dentists. Their involvement in community-based programs, school initiatives, maternal-child health campaigns, and outreach services demonstrates a capacity to influence health behaviors, reduce disease disparities, and promote oral health literacy. In both high-income and low- and middle-income countries, evidence indicates that family dentists who engage in preventive programs at the community level contribute to reductions in disease prevalence, improvements in functional oral health, and greater adherence to healthy behaviors. These contributions are particularly significant in underserved regions, where access to care is limited, and social determinants of health exacerbate disparities. By bridging the gap between clinical care and population health, family dentists emerge as critical facilitators of health equity and community well-being.

Challenges persist, however, that limit the full realization of family dentists' potential. Workforce maldistribution, policy fragmentation, financial barriers, and cultural factors impede equitable access to care, particularly in low-resource settings. High-income countries, despite robust infrastructures, continue to experience disparities in access among socioeconomically disadvantaged groups and marginalized populations. Low- and middle-income countries face amplified challenges, including limited infrastructure, insufficient workforce, and underfunded public health initiatives. These systemic barriers highlight the need for strategic interventions that encompass policy reform, workforce development, technological innovation, and culturally sensitive approaches to community engagement. Family dentists, while central to these interventions, require supportive frameworks and systemic alignment to maximize their effectiveness.

Policy integration and health systems reform emerge as critical determinants of the impact of family dentists. Countries that embed oral health within primary care frameworks, provide universal coverage for preventive and restorative services, and align dental practice with broader health objectives demonstrate superior population outcomes. Comparative case studies, including examples from Brazil, the United Kingdom, India, Singapore, and Scandinavia, illustrate how structured policy environments enhance the capacity of family dentists to deliver preventive care, engage communities, and contribute to systemic health improvements. These models emphasize continuity of care, interdisciplinary collaboration, and evidence-based interventions, providing insights that can inform policy development in other regions.

Emerging technological innovations represent transformative opportunities for family dentists in both clinical and public health domains. Tele-dentistry, digital health applications, artificial intelligence, and mobile health platforms extend access to underserved populations, support personalized preventive care, and enhance monitoring of population health indicators. These technologies also facilitate data-driven decision-making, optimize resource allocation, and enable integration with general health services. Their adoption, combined with targeted workforce education and training, positions family dentists to function effectively as central nodes in interconnected healthcare systems, bridging gaps between individual care, community interventions, and systemic health initiatives.

Evidence-Based Clinical Decision-Making and Treatment Effectiveness

A principal finding of this review is that Evidence-Based Medicine has substantially enhanced the quality and consistency of clinical decision-making within family dentistry. The integration of systematically appraised research evidence into everyday clinical practice has reduced dependence on subjective judgment and traditional empirical approaches. Instead, treatment planning increasingly relies on scientifically validated clinical guidelines, systematic reviews, randomized controlled trials, and meta-analyses that evaluate the effectiveness and safety of preventive, diagnostic, and therapeutic interventions.

The literature demonstrates that evidence-based clinical decision-making improves treatment outcomes by enabling family dentists to select interventions with the highest probability of success while minimizing unnecessary procedures and treatment-related complications. Evidence-based treatment planning also promotes individualized care by incorporating patient-specific risk factors, medical history, lifestyle characteristics, socioeconomic conditions, and personal treatment preferences. Consequently, clinicians can provide more predictable, efficient, and patient-centered healthcare while reducing clinical uncertainty.

Another important observation concerns the implementation of standardized clinical protocols. Scientific evidence consistently shows that adherence to internationally recognized clinical guidelines decreases variability in treatment approaches among practitioners, thereby

improving healthcare quality and facilitating objective evaluation of clinical performance. Standardization additionally enhances interdisciplinary communication and supports continuous quality improvement within primary healthcare systems.

Early Detection and Screening of Oral Diseases

The scientific literature strongly supports the expanding role of family dentists in early detection of oral diseases and potentially life-threatening systemic conditions. Regular dental examinations provide valuable opportunities for identifying premalignant lesions, oral cancers, periodontal diseases, temporomandibular disorders, developmental abnormalities, infectious diseases, medication-related complications, and manifestations of systemic illnesses before significant clinical deterioration occurs.

Evidence indicates that routine oral cancer screening conducted by family dentists substantially increases early diagnosis rates, thereby improving treatment success and long-term survival. Similarly, systematic periodontal assessment enables timely intervention before irreversible periodontal destruction develops. Scientific investigations further demonstrate that comprehensive clinical examinations facilitate recognition of oral manifestations associated with diabetes mellitus, HIV infection, anemia, vitamin deficiencies, autoimmune disorders, endocrine diseases, and hematological malignancies.

These findings emphasize that family dentists serve not only as oral healthcare providers but also as important contributors to preventive medicine and population health surveillance.

Periodontal Health and Systemic Disease Relationships

One of the most extensively investigated areas within evidence-based family dentistry concerns the bidirectional relationship between periodontal disease and systemic health. Contemporary research consistently demonstrates that chronic periodontal inflammation contributes to systemic inflammatory burden through dissemination of pathogenic microorganisms, inflammatory mediators, and immune activation pathways.

The strongest evidence currently supports associations between periodontal disease and diabetes mellitus. Patients with uncontrolled diabetes exhibit increased susceptibility to periodontal destruction, while effective periodontal therapy has been shown to improve glycemic control and reduce systemic inflammatory markers. Similar evidence exists regarding cardiovascular diseases, where periodontal inflammation may contribute to endothelial dysfunction, atherosclerosis progression, and vascular inflammation.

Emerging studies also suggest associations between periodontal disease and adverse pregnancy outcomes, chronic kidney disease, Alzheimer's disease, rheumatoid arthritis, obesity, respiratory diseases, and certain malignancies. Although causal relationships remain under investigation, current evidence strongly supports multidisciplinary collaboration between dentists and physicians in managing patients with chronic systemic diseases.

Family dentists therefore occupy an increasingly important position within integrated healthcare teams responsible for improving both oral and general health outcomes.

Pediatric Family Dentistry and Lifelong Oral Health

The literature consistently identifies early childhood as the most effective period for establishing lifelong oral health behaviors. Family dentists play a central role in preventive pediatric care through anticipatory guidance, parental education, dietary counseling, fluoride application, fissure sealants, growth monitoring, and early management of developmental abnormalities.

Evidence demonstrates that preventive interventions initiated during infancy and childhood significantly reduce future incidence of dental caries, malocclusion, periodontal disease, and tooth loss. Furthermore, regular dental attendance during childhood promotes positive attitudes toward oral healthcare, reduces dental anxiety, and encourages lifelong preventive behaviors.

Scientific studies also highlight the importance of family-centered preventive education. Parents and caregivers strongly influence children's oral hygiene practices, dietary habits, and healthcare utilization. Consequently, family dentists increasingly provide comprehensive educational programs targeting both children and caregivers to maximize long-term preventive effectiveness.

Geriatric Dentistry Within Family Practice

Population aging has created new challenges for family dentistry worldwide. Scientific evidence demonstrates increasing prevalence of root caries, xerostomia, periodontal disease, implant maintenance requirements, prosthodontic complications, oral cancer, and medication-related oral disorders among older adults.

Older patients frequently present with multiple chronic diseases requiring complex medication regimens. Polypharmacy contributes significantly to xerostomia, altered taste perception, fungal infections, mucosal disorders, impaired wound healing, and increased caries susceptibility. Evidence-based medication review therefore represents an increasingly important component of family dental assessment.

Family dentists additionally manage medically compromised older adults requiring individualized preventive strategies, minimally invasive restorative approaches, nutritional counseling, caregiver education, and interdisciplinary coordination with physicians, pharmacists, nurses, and geriatric specialists.

The literature consistently concludes that comprehensive family dentistry significantly improves oral function, nutritional status, communication ability, psychological well-being, and overall quality of life among elderly populations.

Oral Health Literacy and Patient Education

Scientific evidence consistently identifies oral health literacy as a major determinant of clinical outcomes. Patients with higher health literacy demonstrate better oral hygiene practices, greater adherence to preventive recommendations, more regular dental attendance, improved medication compliance, and earlier healthcare utilization.

Family dentists therefore function not only as clinicians but also as educators responsible for translating complex scientific information into understandable patient-centered communication. Effective educational interventions include individualized counseling, visual educational materials, motivational interviewing, digital learning platforms, and culturally appropriate health promotion strategies.

Evidence demonstrates that patient education significantly improves preventive behaviors, treatment adherence, and long-term oral health outcomes while simultaneously reducing healthcare costs associated with preventable oral diseases.

Antimicrobial Stewardship in Family Dentistry

The global emergence of antimicrobial resistance represents one of the most significant contemporary healthcare challenges. Dentistry contributes substantially to outpatient antibiotic prescribing; therefore, family dentists play an essential role in antimicrobial stewardship.

Evidence-based clinical guidelines consistently recommend that antibiotics should complement—not replace—definitive dental treatment. Numerous studies demonstrate that

inappropriate antibiotic prescribing remains common for conditions where local operative intervention alone provides adequate management.

Implementation of evidence-based prescribing protocols has been associated with significant reductions in unnecessary antibiotic use without compromising patient outcomes. Furthermore, continuing professional education substantially improves prescribing accuracy and adherence to international antimicrobial stewardship recommendations.

Family dentists therefore contribute directly to preserving antimicrobial effectiveness while protecting both individual patients and global public health.

Digital Health Records and Clinical Data Management

Electronic health records have transformed clinical documentation and interdisciplinary communication within primary oral healthcare. Scientific evidence demonstrates that integrated digital record systems improve diagnostic accuracy, reduce documentation errors, facilitate medication reconciliation, strengthen continuity of care, and enhance healthcare quality monitoring.

Digital health records additionally support evidence-based clinical decision-making by integrating laboratory findings, diagnostic imaging, medical history, pharmacotherapy information, clinical guidelines, and decision-support algorithms within unified healthcare platforms.

However, successful implementation requires robust cybersecurity systems, standardized interoperability, professional training, ethical governance, and protection of patient confidentiality.

Economic Value of Preventive Family Dentistry

Health economic evaluations consistently demonstrate that prevention-centered family dentistry represents one of the most economically efficient components of healthcare systems.

Cost-effectiveness analyses indicate that investments in preventive oral healthcare produce long-term reductions in:

- Restorative treatment costs.
- Prosthodontic rehabilitation.
- Hospital admissions.
- Emergency dental services.
- Productivity losses.
- School absenteeism.
- Healthcare resource utilization.

Furthermore, early diagnosis substantially reduces expenditures associated with advanced oral cancer treatment, extensive periodontal surgery, implant rehabilitation, and management of severe odontogenic infections.

These findings strongly support greater governmental investment in preventive family dentistry as part of sustainable healthcare financing strategies.

Perspectives

The reviewed literature indicates that the future evolution of family dentistry will increasingly depend upon scientific innovation, interdisciplinary integration, and continuous implementation of Evidence-Based Medicine.

Several emerging research areas demonstrate considerable potential for improving primary oral healthcare, including:

- Precision dentistry based on genomic and biomarker profiling.

- Artificial intelligence-assisted clinical decision support.
- Regenerative dentistry using stem cell and tissue engineering technologies.
- Personalized preventive medicine.
- Salivary diagnostics for systemic disease screening.
- Digital epidemiology and big data analytics.
- Wearable biosensors for continuous oral health monitoring.
- Nanotechnology-based therapeutic agents.
- Three-dimensional bioprinting of oral tissues.
- Advanced telehealth platforms integrating artificial intelligence and remote diagnostics.

Although these innovations offer substantial opportunities, their clinical adoption must remain supported by rigorous randomized controlled trials, long-term outcome studies, cost-effectiveness analyses, and international consensus guidelines. Evidence-Based Medicine will continue to serve as the fundamental framework ensuring that technological progress translates into safe, effective, equitable, and patient-centered oral healthcare.

Overall, the cumulative evidence confirms that family dentistry has evolved into a scientifically sophisticated discipline that integrates preventive medicine, digital innovation, public health, interdisciplinary collaboration, and personalized patient care. As healthcare systems continue to prioritize prevention, quality improvement, and sustainability, evidence-based family dentistry will remain indispensable for advancing global oral health and strengthening comprehensive primary healthcare.

FUTURE PERSPECTIVES

The evolving role of family dentists in primary dental care and public health presents numerous opportunities for innovation, integration, and global health advancement. As oral health continues to be recognized as a fundamental component of overall health, family dentists are uniquely positioned to bridge clinical practice with public health initiatives, preventive strategies, and population-level interventions. The future perspectives outlined below emphasize technological advancement, workforce development, policy integration, research priorities, and global health strategies.

Technological Innovation and Digital Integration: The integration of advanced technologies, including artificial intelligence, digital diagnostics, tele-dentistry, and electronic health record systems, is poised to transform primary dental care. AI-assisted diagnostic tools and predictive analytics can enhance early detection of oral and systemic diseases, facilitate personalized treatment planning, and enable continuous monitoring of population oral health trends. Tele-dentistry platforms will expand access to underserved and remote populations, providing consultation, triage, and follow-up services that bridge gaps in care. Mobile health applications and digital education platforms will further empower patients to adopt preventive behaviors, engage in self-monitoring, and access professional guidance without geographical constraints.

Workforce Development and Education: Future strategies emphasize equipping family dentists with the skills necessary for an increasingly integrated and preventive-oriented healthcare system. Curricula should incorporate interprofessional education, public health competencies, data literacy, and digital health technologies to prepare dentists for complex clinical and population health challenges. Continuing professional development programs will play a critical role in updating practitioners on evidence-based preventive strategies, emerging technologies, and policy-driven initiatives. Moreover, workforce planning must address global disparities by incentivizing practice in underserved regions, fostering interdisciplinary collaboration, and ensuring equitable distribution of dental professionals.

Policy and Systems Integration: Family dentists are expected to play a central role in policy-driven efforts to integrate oral health into broader healthcare systems. Future perspectives involve embedding dental services within universal health coverage frameworks, aligning preventive care with chronic disease management, and ensuring continuity between dental and general healthcare. Policymakers are increasingly recognizing the need for oral health inclusion in national health strategies, school-based programs, and community outreach initiatives. Family dentists, as frontline practitioners, will contribute to the design, implementation, and evaluation of such policies, thereby enhancing the effectiveness and sustainability of health systems.

Community Engagement and Public Health Advocacy: The role of family dentists will continue to expand beyond clinical care into advocacy and community engagement. Future directions include active participation in health promotion campaigns, development of culturally sensitive educational programs, and leadership in initiatives targeting diet, hygiene, tobacco cessation, and sugar consumption. By fostering partnerships with schools, community organizations, and public health agencies, family dentists can influence social determinants of oral health, reduce disparities, and promote population-wide behavioral change.

Research and Evidence Generation: The advancement of the family dentist role will be supported by rigorous research and data-driven practices. Future perspectives include longitudinal studies evaluating the impact of preventive interventions, cost-effectiveness analyses of dental public health programs, and comparative studies across diverse geographic and socioeconomic contexts. Additionally, research will focus on integrating oral health metrics into general health monitoring frameworks, enabling family dentists to contribute meaningfully to systemic health outcomes.

Global Health and Equity: Family dentists are poised to contribute significantly to global health equity. Future strategies emphasize addressing disparities in access, workforce distribution, and service quality. Leveraging digital platforms, international collaborations, and standardized preventive care protocols will allow family dentists to deliver consistent, evidence-based care across regions. These efforts will be particularly impactful in low- and middle-income countries, where oral health burdens remain high, and preventive services are limited.

Interdisciplinary and Holistic Care Approaches: The future role of family dentists will increasingly involve integration into multidisciplinary healthcare teams, working alongside physicians, nurses, nutritionists, and public health specialists. Such collaboration will facilitate holistic care approaches, linking oral health with systemic disease management, mental health support, and chronic disease prevention. This model fosters a more patient-centered, coordinated, and efficient healthcare delivery system.

Sustainability and Preventive Paradigms: Preventive care will remain a cornerstone of future dental practice. Emphasis on sustainable, community-oriented, and evidence-based preventive interventions will shape the profession. Family dentists will serve as educators, advocates, and implementers of health-promoting behaviors, reinforcing the value of oral health within broader public health frameworks.

The future of family dentistry is characterized by technological innovation, interdisciplinary collaboration, global integration, and preventive-focused strategies. Family dentists are positioned not only as clinicians but as catalysts for systemic improvements, population health advancement, and equity-driven healthcare solutions. Their evolving role will require continuous adaptation, evidence-based practice, and proactive engagement in shaping policies, education, and community interventions that align with the emerging global health landscape. By embracing these perspectives, family dentists will continue to enhance oral and systemic

health outcomes worldwide, ultimately contributing to a more integrated, preventive, and equitable healthcare system.

CONCLUSIONS

- Family dentists occupy a critical and multidimensional role in both primary dental care and public health, functioning as clinicians, educators, and public health advocates. The evidence demonstrates that their contributions extend beyond restorative and therapeutic interventions to encompass preventive care, early detection of oral and systemic conditions, health promotion, and community engagement. Through structured preventive strategies, patient education, and interprofessional collaboration, family dentists reduce the burden of oral disease, promote health literacy, and support broader population health objectives.
- The integration of family dentists into primary healthcare systems and supportive policy frameworks is essential to maximize their impact. Countries that embed dental services within universal health coverage, prioritize equitable workforce distribution, and align oral health with systemic health initiatives consistently demonstrate improved population outcomes. Comparative analyses of programs in Brazil, the United Kingdom, India, and Scandinavia illustrate the effectiveness of structured, policy-supported models that combine clinical services with community-oriented preventive programs.
- Emerging technologies, including tele-dentistry, digital imaging, artificial intelligence, and mobile health platforms, present transformative opportunities for family dentists to expand access, deliver personalized preventive care, and participate in data-driven health management. Workforce development, emphasizing preventive care, public health competencies, interprofessional collaboration, and technological proficiency, further enhances their ability to contribute to systemic health outcomes.
- Despite these advances, significant challenges remain, including workforce maldistribution, inequitable access, policy fragmentation, financial barriers, and socio-cultural determinants that limit utilization of dental services. Addressing these barriers requires comprehensive strategies encompassing policy reform, educational innovation, technological adoption, and community-oriented approaches.
- The family dentists are indispensable actors in global health, positioned at the intersection of individual patient care, population health, and health system integration. Optimizing their role requires a multifaceted approach that combines clinical excellence, public health engagement, technological innovation, and supportive policy frameworks. By embracing these strategies, family dentists can continue to advance oral and systemic health, reduce disparities, and contribute meaningfully to the realization of equitable, preventive, and integrated healthcare worldwide.

RECOMMENDATIONS

Based on the comprehensive analysis of family dentists' roles in primary dental care and public health, several evidence-informed recommendations emerge to optimize their impact at individual, community, and systemic levels:

- **Policy Integration and Universal Coverage:** Oral health must be fully integrated into national health policies and universal health coverage schemes. Policymakers should ensure that preventive, diagnostic, and therapeutic dental services are accessible and affordable for all population groups, particularly underserved and vulnerable communities. Alignment of dental services with primary healthcare objectives will enhance continuity of care, reduce disparities, and improve overall health outcomes.

- **Workforce Planning and Distribution:** Strategic workforce planning is essential to ensure equitable access to family dentists. Policies should incentivize practice in rural, remote, and socioeconomically disadvantaged areas through financial incentives, professional development opportunities, and service-based obligations. Expanding the workforce, supporting mid-level dental providers, and promoting interdisciplinary collaboration will strengthen preventive care and public health delivery.
- **Emphasis on Preventive Care and Health Promotion:** Family dentists should prioritize preventive strategies across the lifespan, including caries prevention, periodontal health, oral hygiene education, and early detection of systemic conditions with oral manifestations. Community-based programs, school initiatives, maternal-child health interventions, and outreach services should be systematically implemented to promote oral health literacy and sustainable behavioral change.
- **Integration of Technology:** Adoption of tele-dentistry, digital imaging, and electronic health records, mobile health platforms, and artificial intelligence can enhance access, improve early detection, enable personalized preventive strategies, and support population-level monitoring. Policymakers and healthcare organizations should invest in technological infrastructure and training to leverage these innovations effectively.
- **Education and Continuous Professional Development:** Dental curricula and continuing education programs should emphasize preventive care, public health principles, interprofessional collaboration, and technological competence. Preparing family dentists with these competencies will enable them to address evolving health needs, participate in systemic health initiatives, and effectively engage communities.
- **Interprofessional Collaboration:** Family dentists should be integrated into multidisciplinary healthcare teams, coordinating with physicians, nurses, nutritionists, and public health professionals. This collaboration facilitates comprehensive management of patients with chronic conditions, enhances preventive care, and reinforces the oral-systemic health nexus.
- **Community Engagement and Advocacy:** Family dentists should actively participate in community health promotion, policy advocacy, and public education. Engaging in campaigns for water fluoridation, sugar reduction, tobacco cessation, and healthy lifestyle behaviors amplifies the impact of preventive care and addresses population-level determinants of oral and systemic health.
- **Research and Evidence-Based Practice:** Ongoing research is necessary to evaluate the effectiveness of preventive interventions, technological innovations, and public health strategies. Family dentists should contribute to data collection, program evaluation, and knowledge dissemination to inform evidence-based practice and policy decisions.
- **Addressing Socio-Cultural and Economic Barriers:** Culturally sensitive care, health literacy initiatives, and financial support mechanisms should be implemented to overcome barriers that limit access to preventive and therapeutic services. Tailoring interventions to community needs enhances utilization, adherence, and health outcomes.

Implementing these recommendations will enhance the capacity of family dentists to provide high-quality, preventive, and equitable care, strengthen public health outcomes, and support the integration of oral health into global healthcare systems. By combining policy reform, workforce development, technology, and community engagement, family dentists can continue to play a transformative role in improving both oral and systemic health worldwide.

REFERENCES

1. Seymour B. Global oral health: Challenges and opportunities. *Int Dent J*. 2024;74(2):99–106.
2. Mills A. Improving patient well-being through preventive dentistry. *J Dent Res*. 2023;102(11):1402–1408.
3. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
4. Prasad M. Integration of oral health into primary health care: A review. *J Public Health Dent*. 2019;79(4):293–301.
5. Hannan CJ. Addressing oral health inequities and access to care. *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E60.
6. Reyna S. Recommendations for improving oral health care access. *Medicaid.gov*. 2024. Available from: https://www.medicaid.gov/medicaid/benefits/downloads/ohi-exp-workgroup-rpt.pdf
7. Wolpe BH. Exploring trends and challenges in global health dental education. *J Dent Educ*. 2025;89(2):123–130.
8. Leavy P. How and why do health system factors influence general dentists' participation in publicly funded primary dental care services: A realist review. *Health Policy*. 2025;129(1):1–9.
9. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
10. Seymour B. Global oral health: Challenges and opportunities. *Int Dent J*. 2024;74(2):99–106.
11. A scoping review of dental practitioners' perspectives on perceived barriers and facilitators to preventive oral health care in general dental practice. BMC Oral Health. 2024;24:249.
12. Health workforce for oral health inequity: Opportunity for action. PLoS One. 2024;19:e0289102.
13. Imbalances in the oral health workforce: a Canadian population-based study. BMC Health Services Research. 2024;24:11677.
14. Sociodemographic Changes and Oral Health Inequities: Dental Workforce Considerations. JDR Clinical & Translational Research. 2022;7:161–170.
15. A systematic review and meta-analysis on early-childhood-caries global data. BMC Oral Health. 2024;24:835.
16. Training a rural oral health workforce: Effects of rural background on dentist practice choice. Journal of Dental Education. 2025; ahead-of-print.
17. Attitudes of general dental practitioners toward preventive care for pediatric patients. Journal of Oral Research and Review. 2024;16:7.
18. Oral Health Workforce in Africa: A Scarce Resource. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2023;20(3):2328.
19. Anyikwa CL. Enhancing oral health outcomes through public health policies. *J Public Health Policy*. 2025;46(1):45–59.
20. Prasad M. Integration of oral health into primary health care: A review. *J Public Health Dent*. 2019;79(4):293–301.
21. Hannan CJ. Addressing oral health inequities and access to care. *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E60.

22. Reyna S. Recommendations for improving oral health care access. *Medicaid.gov*. 2024. Available from: https://www.medicaid.gov/medicaid/benefits/downloads/ohi-exp-workgroup-rpt.pdf
23. Wolpe BH. Exploring trends and challenges in global health dental education. *J Dent Educ*. 2025;89(2):123–130.
24. Leavy P. How and why do health system factors influence general dentists' participation in publicly funded primary dental care services: A realist review. *Health Policy*. 2025;129(1):1–9.
25. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
26. Seymour B. Global oral health: Challenges and opportunities. *Int Dent J*. 2024;74(2):99–106.
27. Mills A. Improving patient well-being through preventive dentistry. *J Dent Res*. 2023;102(11):1402–1408.
28. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
29. Prasad M. Integration of oral health into primary health care: A review. *J Public Health Dent*. 2019;79(4):293–301.
30. Hannan CJ. Addressing oral health inequities and access to care. *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E60.
31. Reyna S. Recommendations for improving oral health care access. *Medicaid.gov*. 2024. Available from: https://www.medicaid.gov/medicaid/benefits/downloads/ohi-exp-workgroup-rpt.pdf
32. Wolpe BH. Exploring trends and challenges in global health dental education. *J Dent Educ*. 2025;89(2):123–130.
33. Leavy P. How and why do health system factors influence general dentists' participation in publicly funded primary dental care services: A realist review. *Health Policy*. 2025;129(1):1–9.
34. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
35. Seymour B. Global oral health: Challenges and opportunities. *Int Dent J*. 2024;74(2):99–106.
36. Mills A. Improving patient well-being through preventive dentistry. *J Dent Res*. 2023;102(11):1402–1408.
37. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
38. Prasad M. Integration of oral health into primary health care: A review. *J Public Health Dent*. 2019;79(4):293–301.
39. Hannan CJ. Addressing oral health inequities and access to care. *Prev Chronic Dis*. 2021;18:E60.
40. Reyna S. Recommendations for improving oral health care access. *Medicaid.gov*. 2024. Available from: https://www.medicaid.gov/medicaid/benefits/downloads/ohi-exp-workgroup-rpt.pdf
41. Wolpe BH. Exploring trends and challenges in global health dental education. *J Dent Educ*. 2025;89(2):123–130.
42. Sulashvili, Nodar, Irine Pkhakadze, Margarita Beglaryan, Ia Egnatievi, Manana Giorgobiani, Luiza Gabunia, Nana Gorgaslidze, Magda Davitashvili, Ada (Adel) Tadevosyan, and Lali Patsia. 2025. “THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF KEY ISSUE ASPECTS OF

MODERN ADVANCING INNOVATION OF LEARNING AND TEACHING METHODS AND PEDAGOGICAL APPROACHES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MEDICAL EDUCATIONAL STUDY PROGRAMS DIRECTIONS GLOBALLY IN GENERAL". Scientific Journal „Spectri" 10 (2). https://doi.org/10.52340/spectri.2024.10.01.12.

43. GORGASLIDZE, NANA, NODAR SULASHVILI, LUIZA GABUNIA, LEVAN RATIANI, and MARINA GIORGOBIANI. 2023. "THE SINGULARITIES OF TEMOZOLOMIDE PHARMACOTHERAPEUTIC EFFECTS IN BRAIN TUMOR THERAPEUTIC APPLICATIONS". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 4 (November):62-66. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.16.

44. SULASHVILI, NODAR, MARGARITA BEGLARYAN, NANA GORGASLIDZE, SEYRAN KOCHARYAN, NAIRA CHICHOYAN, LUIZA GABUNIA, IRINE ZARNADZE, et al. 2023. "THE DISCLOSURE OF FEATURES, CHARACTERISTICS, POSSIBILITIES AND SPECIALTIES OF CLINICAL PHARMACISTS AS MEDIATOR AMONG DOCTORS AND PATIENTS FOR ENHANCEMENT PUBLIC HEALTH SECTOR IN A GLOBAL WORLD". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 4 (November):57-62. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.15.

45. KVIZHINADZE, NATIA, NINO INTSKIRVELI, DAVID TOPURIA, NANA DUGHASHVILI, and NODAR SULASHVILI. 2023. "GSP AND ITS FEATURES IN MEDICAL AND PHARMACEUTICAL INSTITUTIONS". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 4 (November):17-19. https://doi.org/10.52340/jecm.2023.04.03.

46. SULASHVILI, NODAR, NANA GORGASLIDZE, MARGARITA BEGLARYAN, LUIZA GABUNIA, NAIRA CHICHOYAN, MARINA GIORGOBIANI, IRINE ZARNADZE, and SHALVA (DAVIT) ZARNADZE. 2022. "THE SCIENTIFIC TALKS OF ESSENTIAL ISSUE, INVOCATION, PERSPECTIVES, INCLINATIONS AND FEATURES OF THE CLINICAL PHARMACISTS GLOBALLY". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 7 (October). https://doi.org/10.52340/jecm.2022.07.09.

47. SULASHVILI , NODAR, MARGARITA BEGLARYAN, NANA GORGASLIDZE, SEYRAN KOCHARYAN, NAIRA CHICHOYAN, LUIZA GABUNIA, NATIA KVIZHINADZE, MARINA GIORGOBIANI, IRINE ZARNADZE, and SHALVA (DAVIT) ZARNADZE. 2022. "THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF SPECIFICITIES OF PHARMACIST OCCUPATIONAL AND HIGHER MEDICAL-PHARMACEUTICAL EDUCATIONAL MANIFESTATION OUTLOOKS IN GEORGIA". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 7 (October). https://doi.org/10.52340/jecm.2022.07.08.

48. GORGASLIDZE, NANA, SHAFIGA TOPCHIYEVA, MARINA GIORGOBIANI, and NODAR SULASHVILI. 2022. "THE IMPACT OF PHARMACEUTICAL MARKETING ON THE SOCIETY AND INDIVIDUAL PATIENT AND ITS SPECIFICATION OF HANDLING". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 7 (October). https://doi.org/10.52340/jecm.2022.07.07.

49. GORGASLIDZE, NANA, and NODAR SULASHVILI. 2022. "THE FEATURES OF THE PHARMACEUTICAL MARKET AND ITS OUTLOOKS IN GEORGIA". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 7 (October). https://doi.org/10.52340/jecm.2022.07.06.

50. NANA GORGASLIDZE, NODAR SULASHVILI, MARINA GIORGOBIANI, TEA ZARKUA, NANA DUGASHVILI. THE FEATURES OF INSPECTION AND MONITORING FRAMEWORK FOR PROFESSIONAL SAFETY, SANITARY, BIOECOLOGICAL, PREVENTIVE AND HYGIENIC NOVEL REQUIREMENT ISSUES OF PHARMACEUTICAL ORGANIZATIONS IN THE CONTEXT OF THE COVID-19

PANDEMIC IN GEORGIA. jecmg [Internet]. 2021 Oct. 19 [cited 2025 Jul. 12];(5-6):42-6. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jecm/article/view/576.
51. SULASHVILI, NODAR, NANA GORGASLIDZE, MARGARITA BEGLARYAN, LUIZA GABUNIA, NATIA KVIZHINADZE, TEA ZARKUA, MARINA GIORGOBIANI, NANA PEIKRISHVILI, and MARIKA SULASHVILI. 2024. "THE MANIFESTATION OF CHARACTERISTICS, OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF ELECTRONIC SYSTEMS AND DIGITAL INTELLIGENCE USING IN PHARMACEUTICAL SERVICES". Experimental and Clinical Medicine Georgia, no. 4 (September):122-25. https://doi.org/10.52340/jecm.2024.04.33.
52. Sulashvili N, Davitashvili M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Beglaryan M, Alavidze N, et al. THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF SOME ISSUES OF FEATURES AND CHALLENGES OF USING OF CAR-T CELLS IN IMMUNOTHERAPY. GS [Internet]. 2024 Nov. 26 [cited 2025 Jul. 12];6(4):263-90. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/GS/article/view/3214.
53. Sulashvili N, Nimangre RR. MANIFESTATION OF SOME ASPECTS OF CARDIOVASCULAR DISEASES, IMPLICATIONS, PHARMACOTHERAPEUTIC STRATEGIES, EFFECTS, IMPACTS AND POTENTIAL HAZARDS IN GENERAL. JR [Internet]. 2025 Feb. 7 [cited 2025 Jul. 12];3(1):1-27. Available from: https://journals.4science.ge/index.php/jr/article/view/3393.
54. Leavy P. How and why do health system factors influence general dentists' participation in publicly funded primary dental care services: A realist review. *Health Policy*. 2025;129(1):1–9.
55. Kumar J. Dental public health practice: Improving the oral health of populations. *Global Health Action*. 2024;17(1):2041234.
56. World Health Organization. Global oral health status report: Towards universal health coverage for oral health by 2030. Geneva: World Health Organization; 2022.
57. World Health Organization. Global strategy on oral health. Geneva: World Health Organization; 2022.
58. World Health Organization. Global oral health action plan (2023–2030). Geneva: World Health Organization; 2023.
59. FDI World Dental Federation. Vision 2030: Delivering optimal oral health for all. Geneva: FDI World Dental Federation; 2021.
60. FDI World Dental Federation. The Oral Health Atlas. 4th ed. Geneva: FDI World Dental Federation; 2022.
61. Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, Daly B, Venturelli R, Mathur MR, et al. Oral diseases: A global public health challenge. Lancet. 2019;394(10194):249-260.
62. Watt RG, Daly B, Allison P, Macpherson LMD, Venturelli R, Listl S, et al. Ending the neglect of global oral health. Lancet. 2019;394(10194):261-272.
63. Kassebaum NJ, Bernabé E, Dahiya M, Bhandari B, Murray CJL, Marcenes W. Global burden of untreated oral conditions. J Dent Res. 2015;94(5):650-658.
64. Marcenes W, Kassebaum NJ, Bernabé E, Flaxman A, Naghavi M, Lopez A, et al. Global burden of oral conditions in 195 countries. J Dent Res. 2013;92(7):592-597.
65. Petersen PE, Ogawa H. Prevention of dental caries through the life course. Community Dent Oral Epidemiol. 2016;44(1):1-8.
66. Petersen PE. The World Oral Health Report. Geneva: World Health Organization; 2003.
67. Richards D, Lawrence A. Evidence based dentistry. Br Dent J. 1995;179(7):270-273.
68. Sackett DL, Rosenberg WM, Gray JA, Haynes RB, Richardson WS. Evidence based medicine: What it is and what it isn't. BMJ. 1996;312(7023):71-72.

69. Straus SE, Glasziou P, Richardson WS, Haynes RB. Evidence-Based Medicine: How to Practice and Teach EBM. 5th ed. Edinburgh: Elsevier; 2019.
70. Greenhalgh T. How to Read a Paper: The Basics of Evidence-Based Medicine. 7th ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2024.
71. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Version 6.5. London: Cochrane Collaboration; 2024.
72. Guyatt GH, Rennie D, Meade MO, Cook DJ. Users' Guides to the Medical Literature. 3rd ed. New York: McGraw-Hill Education; 2015.
73. Glick M, Williams DM, Kleinman DV, Vujicic M, Watt RG, Weyant RJ. A new definition for oral health developed by the FDI World Dental Federation. Int Dent J. 2016;66(6):322-324.
74. Tonetti MS, Jepsen S, Jin L, Otomo-Corgel J. Impact of periodontal disease on general health. J Clin Periodontol. 2017;44(Suppl 18):S1-S2.
75. Chapple ILC, Genco R. Diabetes and periodontal diseases. J Clin Periodontol. 2013;40(Suppl 14):S106-S112.
76. Sanz M, Ceriello A, Buysschaert M, et al. Scientific evidence on the links between periodontal diseases and diabetes. J Clin Periodontol. 2018;45(2):138-149.
77. Papapanou PN, Sanz M, Buduneli N, et al. Periodontitis: Consensus report of classification of periodontal diseases. J Clin Periodontol. 2018;45(Suppl 20):S162-S170.
78. Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis. J Clin Periodontol. 2018;45(Suppl 20):S149-S161.
79. Slade GD, Spencer AJ. Social impact of oral disease. Community Dent Health. 2018;35(1):1-6.
80. Listl S, Galloway J, Mossey PA, Marcenes W. Global economic impact of dental diseases. J Dent Res. 2015;94(10):1355-1361.
81. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, et al. Dental caries. Nat Rev Dis Primers. 2017;3:17030.
82. Featherstone JDB. Dental caries: A dynamic disease process. Aust Dent J. 2008;53(3):286-291.
83. Wright JT, Crall JJ, Fontana M, et al. Evidence-based clinical practice guideline for fluoride use. J Am Dent Assoc. 2016;147(8):672-682.
84. American Dental Association. Evidence-based clinical practice guideline on non-restorative management of dental caries. Chicago: ADA; 2018.
85. American Dental Association. Caries risk assessment and management guidelines. Chicago: ADA; 2023.
86. National Institute for Health and Care Excellence. Oral health: Local authorities and partners. London: NICE; 2024.
87. Scottish Dental Clinical Effectiveness Programme. Prevention and management of dental caries. Dundee: SDCEP; 2022.
88. Scottish Dental Clinical Effectiveness Programme. Drug Prescribing for Dentistry. Dundee: SDCEP; 2024.
89. European Federation of Periodontology. S3 Clinical Practice Guideline for the Treatment of Periodontitis. Brussels: EFP; 2020.
90. American Academy of Periodontology. Comprehensive periodontal therapy statement. Chicago: AAP; 2023.
91. American Academy of Pediatric Dentistry. Guideline on infant oral health care. Chicago: AAPD; 2024.
92. American Academy of Pediatric Dentistry. Best practices in caries prevention. Chicago: AAPD; 2024.

93. GBD 2021 Oral Disorders Collaborators. Global burden of oral disorders, 1990–2021. Lancet. 2024;403:1201-1220.
94. Benzian H, Guarnizo-Herreño CC, Kearns C, et al. Integrating oral health into primary health care. Int Dent J. 2021;71(Suppl 1):S8-S16.
95. Fisher J, Selikowitz HS, Mathur M, Varenne B. Strengthening oral health systems. Lancet. 2018;392(10151):899-901.
96. Watt RG. Strategies and approaches in oral disease prevention. Bull World Health Organ. 2005;83(9):711-718.
97. Holmgren CJ, Benzian H. Oral health inequalities and primary care. Int Dent J. 2022;72(5):617-624.
98. Kalenderian E, Walji MF, Ramoni RB. Electronic health records in dentistry. Dent Clin North Am. 2019;63(2):327-342.
99. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry. J Dent Res. 2020;99(7):769-774.
100. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Artificial intelligence for dental diagnostics. J Dent. 2019;90:103226.
101. Estai M, Kanagasingam Y, Xiao D, et al. Teledentistry as a model for primary oral healthcare. J Telemed Telecare. 2018;24(3):147-156.
102. Daniel SJ, Kumar S. Teledentistry: A key component in oral healthcare delivery. J Evid Based Dent Pract. 2014;14(Suppl):201-208.
103. United Nations. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. New York: United Nations; 2015.
104. Institute for Health Metrics and Evaluation. Global Burden of Disease Study 2021 Results. Seattle: IHME; 2024.
105. Glick M. Burket's Oral Medicine. 13th ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2021.
106. Little JW, Falace DA, Miller CS, Rhodus NL. Dental Management of the Medically Compromised Patient. 10th ed. St. Louis: Elsevier; 2024.
107. Newman MG, Takei H, Klokkevold PR, Carranza FA. Carranza's Clinical Periodontology. 14th ed. St. Louis: Elsevier; 2023.
108. Fejerskov O, Nyvad B, Kidd EAM. Dental Caries: The Disease and Its Clinical Management. 4th ed. Hoboken: Wiley-Blackwell; 2024.
109. Innes NPT, Frencken JE, Bjørndal L, et al. Managing dental caries in primary care. Br Dent J. 2019;227(1):22-29.
110. World Dental Federation (FDI). Oral Health for an Ageing Population. Geneva: FDI World Dental Federation; 2023.

PUBLIC INVESTMENTS AND THE TREND OF ECONOMIC DEVELOPMENT IN KOSOVO

dr.sc. Agim Berisha
College of Business, Economic Faculty, Pristina, Republic of Kosovo
Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Development
Director of Internal Audit
Kujtim Shala
Agricultural Development Agency
Director of Internal Audit

Abstract
The budget represents the main instrument of public financing. Within the framework of government policies, the issue of government spending, especially public investments, is considered very important. The most relevant economic indicator that reflects the level of development in the country is the Gross Domestic Product. Economic growth is considered one of the main macroeconomic objectives of the country's government and represents the overall increase in the production of an economy. Therefore, it is considered the ability of a country's economy to produce more goods and services for consumers. The purpose of the study is to analyze the performance of public investments, as well as the effect of public investments on the economy in recent years. In order to maintain fiscal stability, attention should be paid to how much spending burdens the budget and where their spending is directed. In this regard, the way budget funds are spent and the orientation of government spending for productive purposes and investment projects remains important.
Methodology: For the finalization of this paper, the presented material has the following support: domestic and foreign literature, as well as reports and publications from the Ministry of Finance, which deals with public spending issues in the Republic of Kosovo. Likewise, local statistical sources were used, the method of analysis and synthesis, tabular and graphical separately, comparative methods, etc.
Results: Special attention is paid to the comparison of public spending and public investments and their participation in GDP in Kosovo over the years. Through this study, we aim that the conclusions and recommendations given are taken into consideration and serve as little as possible to those interested in the field of public finance.
Keywords: public spending, budget, public investments, economic growth, Gross Domestic Product (GDP).

RESILIENCE-ORIENTED OPTIMAL SCHEDULING OF DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES IN RENEWABLE MICROGRIDS USING MULTI-AGENT DEEP REINFORCEMENT LEARNING

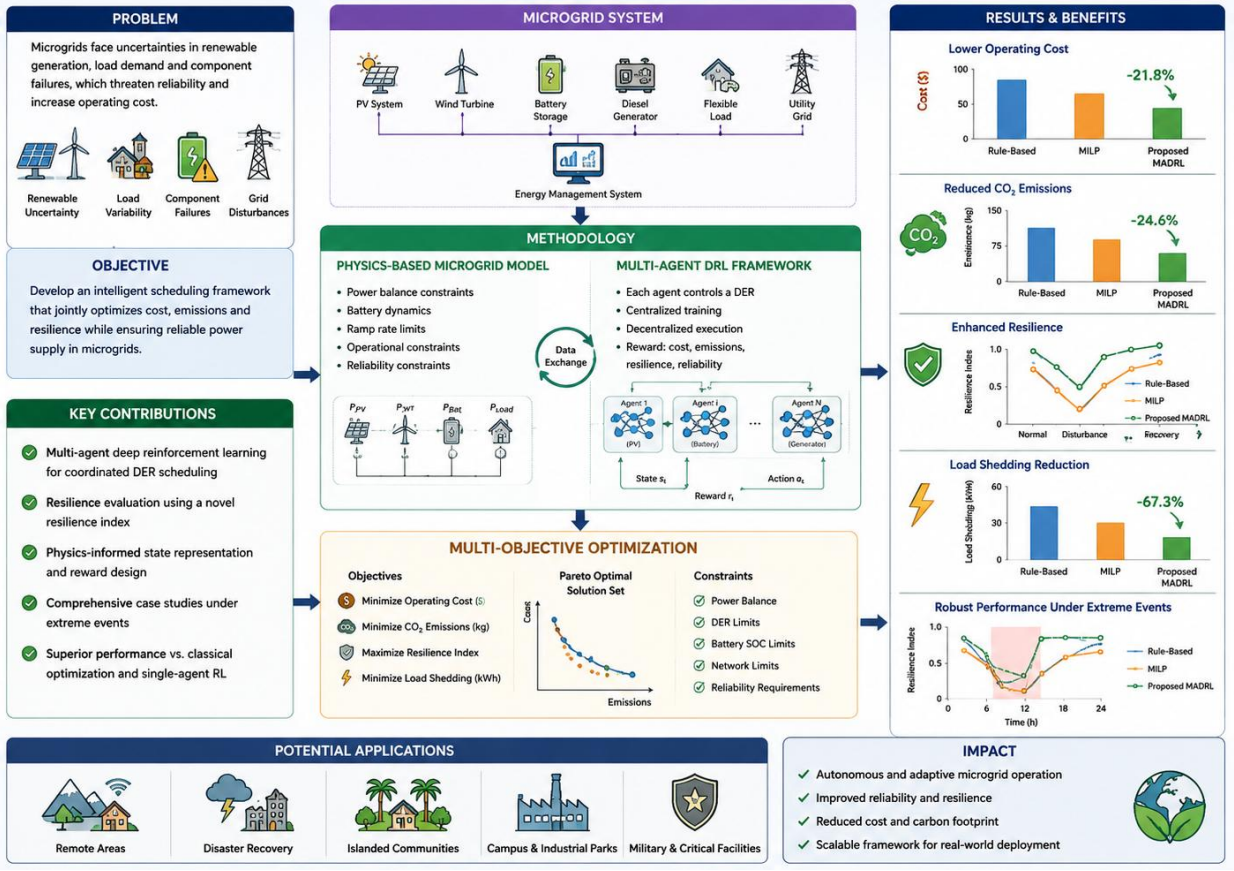
Rayane Yasmine Mahfoudi
Zouhir Boumous
Samira Boumous
Laboratory of Electrical Engineering, Electronic and Renewable Energy, University of Souk Ahras, Algeria

Abstract
The increasing penetration of renewable energy sources and distributed energy resources (DERs) has significantly improved the sustainability of modern microgrids while introducing new operational challenges related to uncertainty, intermittency, and system resilience. This paper proposes a resilience-oriented energy management framework based on Multi-Agent Deep Reinforcement Learning (MADRL) for the optimal scheduling of renewable microgrids. The proposed approach models photovoltaic generation, wind turbines, battery energy storage systems, flexible loads, and grid interaction as cooperative agents capable of making autonomous real-time decisions under dynamic operating conditions. A physics-based microgrid model is integrated into the learning environment to ensure operational feasibility and compliance with electrical constraints. The optimization simultaneously minimizes operating cost, carbon emissions, load shedding, and battery degradation while maximizing renewable energy utilization, reliability, and resilience against disturbances and component failures. The decentralized learning architecture enables scalable coordination among distributed resources without requiring complete system information. Simulation studies under normal operation and extreme disturbance scenarios demonstrate that the proposed MADRL framework achieves superior performance compared with conventional rule-based and mathematical optimization methods, leading to enhanced resilience, improved energy efficiency, and faster adaptation to changing environmental conditions. The proposed methodology provides an intelligent and scalable solution for next-generation autonomous renewable microgrids and supports the transition toward sustainable and resilient energy systems.

Keywords: Renewable Microgrid, Multi-Agent Deep Reinforcement Learning (MADRL), Distributed Energy Resources (DERs), Energy Management System, Optimal Scheduling, Renewable Energy , Battery Energy Storage System.

Resilience-Oriented Optimal Scheduling of Distributed Energy Resources in Microgrids Using Multi-Agent Deep Reinforcement Learning

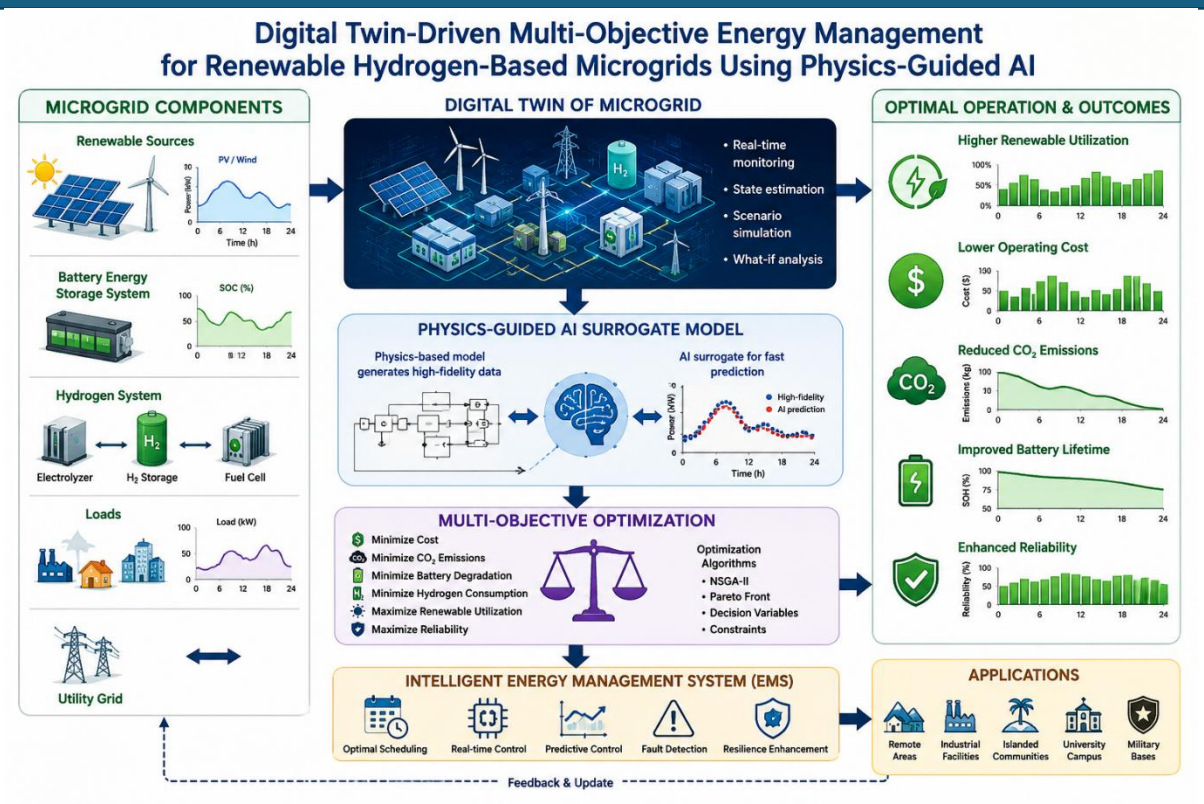
Toward Autonomous, Adaptive and Resilient Microgrid Operation



DIGITAL TWIN-DRIVEN MULTI-OBJECTIVE ENERGY MANAGEMENT FOR RENEWABLE HYDROGEN-BASED MICROGRIDS USING PHYSICS-GUIDED ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Sabtine Morakeb
Samira Boumous
Zouhir Boumous
Laboratory of Electrical Engineering, Electronic and Renewable Energy, University of Souk Ahras, Algeria

Abstract
The increasing penetration of renewable energy sources has transformed modern microgrids into highly dynamic systems that require intelligent, adaptive, and computationally efficient energy management strategies. This study proposes a novel digital twin-driven framework for the optimal operation of renewable hydrogen-based microgrids by integrating physics-guided artificial intelligence with multi-objective optimization. The proposed architecture combines photovoltaic generation, battery energy storage, hydrogen production through electrolysis, fuel cell systems, and dynamic load management within a unified cyber-physical platform. A physics-based digital twin continuously reproduces the operating state of the microgrid, while an artificial intelligence surrogate model enables fast prediction of system behavior under changing environmental and load conditions. Multi-objective optimization simultaneously minimizes operational cost, battery degradation, hydrogen consumption, and carbon emissions while maximizing renewable energy utilization and supply reliability. The proposed framework supports real-time decision-making by significantly reducing computational burden compared with conventional optimization techniques. Numerical simulations performed under representative operating scenarios demonstrate improved energy efficiency, enhanced renewable integration, and increased system resilience. The proposed approach provides a scalable solution for next-generation smart microgrids and establishes a promising pathway toward autonomous, sustainable, and intelligent energy management.
Keywords: Renewable Microgrid , Digital Twin, Energy Management, Physics-Guided Artificial Intelligence, Multi-Objective Optimization, Hydrogen Energy Storage.


Digital Twin-Driven Multi-Objective Energy Management for Renewable Hydrogen-Based Microgrids Using Physics-Guided AI
MICROGRID COMPONENTS
Renewable Sources
PV / Wind
Power (kW)
Time (h)
Battery Energy Storage System
SOC (%)
Hydrogen System
Electrolyzer
H2 Storage
Fuel Cell
Loads
Load (kW)
Utility Grid
DIGITAL TWIN OF MICROGRID
• Real-time monitoring
• State estimation
• Scenario simulation
• What-if analysis
PHYSICS-GUIDED AI SURROGATE MODEL
Physics-based model generates high-fidelity data
AI surrogate for fast prediction
High-fidelity
AI prediction
MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION
Minimize Cost
Minimize CO2 Emissions
Minimize Battery Degradation
Minimize Hydrogen Consumption
Maximize Renewable Utilization
Maximize Reliability
Optimization Algorithms
• NSGA-II
• Pareto Front
• Decision Variables
• Constraints
INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT SYSTEM (EMS)
Optimal Scheduling
Real-time Control
Predictive Control
Fault Detection
Resilience Enhancement
OPTIMAL OPERATION & OUTCOMES
Higher Renewable Utilization
Lower Operating Cost
Cost ($)
Reduced CO2 Emissions
Emissions (kg)
Improved Battery Lifetime
SOH (%)
Enhanced Reliability
Reliability (%)
APPLICATIONS
Remote Areas
Industrial Facilities
Islanded Communities
University Campus
Military Bases
Feedback & Update

FRIENDS AND ENEMIES IN THE ALBANIAN PUBLIC IMAGINATION: MAPPING PERCEPTIONS OF FOREIGN STATES FROM EURONEWS ALBANIA BAROMETER SURVEY (NOVEMBER 2023)

Blendi Çeka, PhD
Department of Political Science, Faculty of Social Sciences, University of Tirana
ORCID: 0009-0003-9826-5524

Abstract
This paper examines how Albanian citizens perceive the friendliness or hostility of fourteen foreign states toward Albania, drawing on a nationally representative Euronews Albania Barometer survey (N = 1,000) conducted in November 2023. Respondents rated each country on a five-point scale ranging from very hostile (1) to very friendly (5). Results reveal a strikingly polarised geopolitical map in the Albanian public imagination. Italy emerges as the most friendly country (98.3% positive view, mean = 4.34), followed by Turkey (90.5%, M = 4.21), the United States (91.9%, M = 4.20), and Germany (92.2%, M = 4.13). At the opposite pole, Russia (21.1% friendly vs. 49.0% hostile, M = 2.67) and Serbia (28.7% vs. 49.7%, M = 2.72) are the only states viewed in net-negative terms. The Western Balkan neighbours occupy intermediate positions, with North Macedonia, Montenegro and Croatia rated warmly, Bosnia & Herzegovina viewed more neutrally, and Greece — despite being a fellow EU and NATO member — receiving the most mixed evaluation among Western states (58.4% friendly, 18.0% hostile). Sub-group analysis shows that perceptions are remarkably consensual across gender, age, education, urban/rural divide, and region, with the principal exceptions concentrated around Serbia, Russia, and Greece. The paper interprets these patterns through three overlapping frames — historical memory, geopolitical alignment (NATO/EU/Euro-Atlantic), and contemporary diaspora ties — and argues that Albanian public opinion exhibits a stable, Western-anchored "friendship hierarchy" that has implications for Albania's foreign-policy room for manoeuvre, particularly with respect to Western Balkan reconciliation and the EU accession process.

Keywords: *Albania, public opinion, foreign policy, Western Balkans, friend–enemy perceptions, geopolitical alignment, survey research, EU integration.*

1. Introduction

Small states with contested neighbourhoods derive part of their foreign-policy legitimacy from public perceptions of which external actors are seen as friends and which as adversaries. In the Western Balkans, where memories of war, irredentist disputes and rival great-power influences remain politically salient, the friend–enemy distinction is not merely a diplomatic abstraction but a lived element of the political culture. Albania occupies a particular position in this map: a small NATO and EU-candidate country, with a sizeable diaspora, no recent inter-state war on its soil, and historically warm ties with several Western and regional partners.

Despite a growing body of research on Western Balkan foreign-policy orientations, the specific question of how Albanian citizens themselves rank foreign states on a friendship-to-hostility continuum has received limited systematic attention. This paper addresses that gap by analysing the relevant module of a nationally representative November 2023 Euronews Albania Barometer survey. The empirical question is straightforward: which states do Albanians perceive as friends, which as enemies, and how stable are these perceptions across socio-demographic and political sub-groups?

The paper proceeds in five sections. Section 2 situates the study in the literature on public opinion and foreign-policy perceptions in small and post-socialist states. Section 3 describes

the data and method. Section 4 presents the principal findings, organised around three blocks of countries — Western/Euro-Atlantic allies, regional Western Balkan partners, and contested or net-hostile actors. Section 5 discusses theoretical and policy implications and concludes.

2. Theoretical Framework and Related Literature

Three strands of literature inform this paper. The first concerns the role of public opinion in small-state foreign policy (Katzenstein, 1985; Hey, 2003). While elite preferences and external constraints dominate the foreign-policy formation of small states, mass perceptions act as a long-term "permissive consensus" (Hooghe & Marks, 2009) that constrains the range of acceptable orientations, especially in democracies undergoing EU accession (Holsti, 1992; Hurwitz & Peffley, 1987). The second strand is the friend–enemy framework, originally associated with Schmittian political theory (Schmitt, 1932/1996) but reformulated in survey research as bipolar affective evaluations of foreign states. Such evaluations capture not only present-day strategic alignment but also historical memory and cultural affinity. The third strand concerns the post-socialist and Western Balkan context, where public perceptions of foreign actors are shaped simultaneously by ethnic kinship (e.g., with Kosovo-related actors), legacies of conflict (notably regarding Serbia), Euro-Atlantic socialisation, and more recent geopolitical contestation involving Russia, Turkey and China (Bieber & Tzifakis, 2020; Bieber, 2020).

Within this composite framework, the paper treats survey-based friend–enemy rankings as an indicator of a country's place in citizen-level “affective geopolitics” — a stable, low-information mental map through which foreign-policy debates are filtered. The expectation, derived from the literature, is that Albanian public opinion will exhibit a Western-anchored hierarchy with a small set of clearly negative outliers.

3. Data and Method

3.1 Survey design

The data come from the Euronews Albania Barometer, November 2023, national survey (Wave 2, Series 3), conducted on a probability sample of N = 1,000 adult citizens of Albania aged 18–75. The sample is stratified by region (Centre, South, North), urban/rural status, gender and age, and weighted to match the latest population projections (weight = 1 used here). Standard demographic, socio-economic and political variables are recorded, including a recall of the 2021 parliamentary vote.

3.2 Operationalisation

The core item of interest is Question 43 (Q43): "How friendly or hostile do you consider the following countries to be toward Albania?" Respondents rated fourteen states on a five-point scale: 1 = Very hostile, 2 = Hostile, 3 = Neutral, 4 = Friendly, 5 = Very friendly, with an additional "Don't know / no answer" category. The states included three categories: (a) Western Balkan neighbours (North Macedonia, Montenegro, Croatia, Serbia, Bosnia & Herzegovina, Greece); (b) major Western and Euro-Atlantic powers (Italy, France, Germany, United Kingdom, USA); and (c) non-Western great powers and regional powers (Turkey, Russia, China).

3.3 Analytical strategy

For each country we report three indicators: the share of respondents rating it as friendly or very friendly (Top 2 boxes, "Friendly %"), the share rating it as hostile or very hostile (Bottom-2 boxes, "Hostile %"), and the mean score on the 1–5 scale. We then examine variation across key socio-demographic and political cleavages — gender, age, education, income, urban/rural residence, region, and 2021 vote — focusing on countries with the largest dispersion of opinion (Serbia, Russia, Greece).

4. Findings

4.1 Overall ranking

Table 1 presents the headline results, ranked by mean score. The aggregate picture is one of overwhelming positive evaluations of Western partners and a small, sharply defined cluster of net-hostile perceptions.

Table 1. Perception of foreign states as friendly or hostile toward Albania (N = 1,000)

Country	Friendly %	Hostile %	Net (F−H)	Mean (1–5)
Italy	98.3	0.2	**98.1**	4.34
Germany	92.2	0.8	**91.4**	4.13
USA	91.9	1.1	**90.8**	4.20
Turkey	90.5	0.6	**89.9**	4.21
North Macedonia	79.7	3.4	**76.3**	3.91
Montenegro	78.3	1.8	**76.5**	3.91
Croatia	74.9	2.2	**72.7**	3.90
France	74.2	2.2	**72.0**	3.86
United Kingdom	67.4	6.6	**60.8**	3.73
Greece	58.4	18.0	**40.4**	3.52
China	47.9	10.2	**37.7**	3.43
Bosnia & Herzegovina	47.1	10.0	**37.1**	3.43
Serbia	28.7	49.7	**-21.0**	2.72
Russia	21.1	49.0	**-27.9**	2.67

Source: November 2023 Barometer Survey, Q43. "Net" = Friendly % minus Hostile %. Residuals to 100% are neutral and "Don't know" responses.

4.2 The Western core: Italy, Germany, the United States

Italy is, by a wide margin, the most positively evaluated foreign state. 98.3% of respondents see Italy as friendly or very friendly, with only 0.2% expressing a hostile view. This finding is consistent across virtually every sub-group: Italy scores above 95% friendly among men, women, all age cohorts, all education levels, both urban and rural respondents, and across all three voter blocs (Socialist Party, Democratic-led opposition, and non-voters). This near unanimity reflects the dense historical, migratory, economic and cultural ties between the two countries, including the large Albanian diaspora in Italy and intense bilateral cooperation in trade, language education and labour mobility (King & Mai, 2008; Vullnetari, 2012).

Germany (92.2% friendly, M = 4.13) and the United States (91.9%, M = 4.20) form the second tier of the Western core. Their positive ratings are also broadly consensual, but with two noteworthy patterns: German evaluations are slightly stronger among older respondents and respondents with lower household income — likely reflecting both the importance of recent emigration to Germany and the visibility of German support for the EU accession process. The United States, by contrast, is rated very highly across the board and shows the smallest partisan

gap of all major Western powers, underscoring its standing as a cross-cutting positive reference point in Albanian political culture.

4.3 Turkey as an honorary Western partner

Turkey occupies a distinctive position. With 90.5% friendly ratings and a mean of 4.21, it ranks ahead of the United States, Germany, France and the United Kingdom in the public's affective geography. This is striking given that Turkey is neither an EU member nor part of the immediate neighbourhood. The pattern likely reflects long-standing cultural and religious affinities, sustained Turkish investment and soft-power presence, and Ankara's consistent support for Albanian and Kosovo Albanian interests (Öktem, 2012; Öztürk & Akgönül, 2020). Importantly, Turkey is not perceived as in tension with Western alignment; rather, it is integrated into a broadly friendly group that includes both Euro-Atlantic and historically allied partners.

4.4 The Western Balkan neighbourhood

Within the immediate region, North Macedonia (79.7% friendly, M = 3.91) and Montenegro (78.3%, M = 3.91) are evaluated most warmly — a finding consistent with the presence of significant Albanian-speaking populations in both countries and with the absence of recent inter-state tension. Croatia, despite being more geographically and politically distant, is rated similarly well (74.9%, M = 3.90), reflecting both its EU membership and historical solidarities. Bosnia & Herzegovina is viewed more ambivalently (47.1% friendly, 10.0% hostile, M = 3.43). The relatively high share of neutral and "don't know" responses suggests that BiH simply features less prominently in everyday public consciousness than other neighbours.

Greece presents the most analytically interesting case in the region. As an EU and NATO member with deep economic and migratory ties to Albania, one might expect uniformly warm evaluations. Yet Greece receives the most mixed assessment among Western states: 58.4% friendly, 18.0% hostile, M = 3.52. Sub-group analysis shows that hostile evaluations of Greece are highest in the lowest-income bracket and in the South — precisely the geographies most directly exposed to bilateral disputes (maritime delimitation, Cham property questions, periodic incidents involving the Greek minority). Greece thus emerges as a partner perceived as friendly in net terms but framed by a politically and economically charged border relationship that distinguishes it from the unambiguously positive view of Italy.

4.5 Serbia and Russia: the net-hostile cluster

Only two of the fourteen states surveyed produce a net-negative perception. Serbia is rated hostile by 49.7% of respondents and friendly by only 28.7% (M = 2.72). Russia is rated hostile by 49.0% and friendly by 21.1% (M = 2.67). The two cases, although structurally similar in their net-hostility, have distinct sociological signatures.

Hostile evaluations of Serbia are most pronounced among the youngest cohort (18–24), among students, and among respondents in the central region (Tirana, Durrës, Elbasan). This generational pattern — sharper hostility among those without direct memory of the 1999 war or the 2000s normalisation — points to the continuing political salience of Kosovo as a frame through which Serbia is interpreted, reinforced by recent episodes of tension in northern Kosovo (International Crisis Group, 2024). Notably, hostile evaluations of Serbia are also high among voters of the Democratic Party-led opposition (61.2% among non-voters; comparable shares among Democratic Party voters), suggesting an interaction between partisan and identity-based framings.

Russia presents a more uniform pattern of negative perception, with hostile views close to 50% across most cleavages. This is consistent with Albania's long-standing Euro-Atlantic alignment, Russia's positions on Kosovo's status, and the broader post-2022 reframing of Russia as a hostile actor across NATO publics (Bechev, 2017). The combination of Serbia and Russia in the net-

hostile cluster therefore reflects a coherent geopolitical worldview rather than two unrelated outliers.

4.6 China: a peripheral, mildly positive presence

China occupies a relatively peripheral position in the Albanian public imagination, with 47.9% friendly, 10.2% hostile and a mean of 3.43. The size of the neutral and "don't know" categories is comparatively large, indicating that China is not a salient reference point for most respondents. Where opinion is expressed, it tilts mildly positive, possibly drawing on historical memory of the Sino-Albanian alliance of the 1960s–70s rather than on contemporary evaluations of Chinese foreign policy.

5. Discussion and Conclusion

Three substantive conclusions follow from these findings.

First, Albanian public opinion exhibits a remarkably stable Western-anchored friendship hierarchy. Italy, Germany, the United States and Turkey form a consensual top tier; Western Balkan neighbours occupy a warm middle band; and Serbia and Russia stand alone as net-hostile actors. This hierarchy is largely insensitive to gender, age, education or partisan affiliation — an unusually consensual structure in a polity otherwise marked by sharp political polarisation.

Second, the data identify two analytically distinct "hard" cases: Greece, where a friendly net evaluation coexists with a measurable hostile minority concentrated in specific regions and income groups; and Serbia, where hostility is generationally and politically structured around the Kosovo question. Albanian foreign-policy makers operate with a public mandate that is broadly pro-Western and pro-reconciliation, but that imposes clear limits on how rapprochement with Serbia can be framed domestically.

Third, the consensual nature of the Western orientation provides a permissive backdrop for the EU accession process. The strong positive ratings of EU member states, taken together, signal a public for whom the Euro-Atlantic identity of Albania is largely settled (Regional Cooperation Council, 2023). The challenge for policymakers is therefore less to persuade citizens of the desirability of Western alignment than to manage the politically sensitive bilateral relationships — notably with Serbia, Greece and, indirectly, Russia — without disrupting that consensus.

Limitations of this study should be acknowledged. The survey provides a single time-point and cannot directly track change. The five-point friend–enemy scale collapses what may in practice be multidimensional perceptions (security, economic, cultural). And the sub-group analysis identifies associations rather than causal mechanisms. Future research should integrate panel data, examine the role of media framing, and explore whether the perceptual structures identified here generalise to other Western Balkan publics.

Despite these limitations, the central finding is robust: in the Albanian public imagination of November 2023, the map of friends and enemies is unambiguous, consensual, and Western. This is itself a politically consequential fact, and one that deserves a more prominent place in academic and policy debates about the foreign-policy orientation of small Western Balkan states.

References

Bechev, D. (2017). *Rival Power: Russia in Southeast Europe*. New Haven: Yale University Press.

Bieber, F. (2020). *The Rise of Authoritarianism in the Western Balkans*. Cham: Palgrave Macmillan.

Bieber, F., & Tzifakis, N. (Eds.). (2020). *The Western Balkans in the World: Linkages and Relations with Non-Western Countries*. London: Routledge.

Hey, J. A. K. (Ed.). (2003). *Small States in World Politics: Explaining Foreign Policy Behavior*. Boulder, CO: Lynne Rienner Publishers.
Holsti, O. R. (1992). Public opinion and foreign policy: Challenges to the Almond–Lippmann consensus. *International Studies Quarterly*, *36*(4), 439–466.
Hooghe, L., & Marks, G. (2009). A postfunctionalist theory of European integration: From permissive consensus to constraining dissensus. *British Journal of Political Science*, *39*(1), 1–23.
Hurwitz, J., & Peffley, M. (1987). How are foreign policy attitudes structured? A hierarchical model. *American Political Science Review*, *81*(4), 1099–1120.
International Crisis Group. (2024). *Northern Kosovo: Asserting Sovereignty amid Divided Loyalties* (Europe Report No. 269). Brussels: International Crisis Group.
Katzenstein, P. J. (1985). *Small States in World Markets: Industrial Policy in Europe*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
King, R., & Mai, N. (2008). *Out of Albania: From Crisis Migration to Social Inclusion in Italy*. New York & Oxford: Berghahn Books.
Öktem, K. (2012). Global Diyanet and multiple networks: Turkey's new presence in the Balkans. *Journal of Muslims in Europe*, *1*(1), 27–58.
Öztürk, A. E., & Akgönül, S. (2020). Turkey: Forced marriage or marriage of convenience with the Western Balkans? In F. Bieber & N. Tzifakis (Eds.), *The Western Balkans in the World: Linkages and Relations with Non-Western Countries* (pp. 225–240). London: Routledge.
Regional Cooperation Council. (2023). *Balkan Barometer 2023: Public Opinion Survey*. Sarajevo: Regional Cooperation Council.
Schmitt, C. (1996). *The Concept of the Political* (G. Schwab, Trans.). Chicago: University of Chicago Press. (Original work published 1932)
Vullnetari, J. (2012). *Albania on the Move: Links between Internal and International Migration*. Amsterdam: Amsterdam University Press.

"THE ROLE OF URBAN TOURISM IN HERITAGE REVIVAL AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: ZARQA CITY AS AN APPLIED MODEL"

Amal Kanani
Research Assistant in International Relations of Cultural Heritage – Amman, Jordan
Amani Kamal
The Hashemite University – Queen Rania Faculty for Archaeology and Heritage Researcher,

Abstract:
This study highlights the concept of "City Tourism" and the potential for heritage and tourism development within it, taking the city of Zarqa in Jordan as an applied case study. The study aims to examine the reality of heritage and tourism resources in Zarqa—a city predominantly known for its industrial and residential nature—and to showcase its unexploited heritage and cultural assets (such as Shobak/Shabib Castle, historical routes, and cultural diversity heritage). Adopting a descriptive-analytical approach, the study identifies the challenges facing tourism development in the governorate and provides a strategic framework to revive Zarqa's heritage identity. This framework integrates the city into Jordan's national tourism map, thereby contributing to sustainable development and the diversification of the local economy.

City tourism is one of the most prominent modern tourism types, relying on the investment of history, culture, and heritage buildings to create unique experiences for visitors. Applying this concept to the city of Zarqa reveals the following:

First: Potentials for City Tourism and Heritage in Zarqa

- **Architectural and Historical Heritage:** Zarqa houses prominent historical landmarks such as Shabib Castle (which dates back to ancient historical eras and witnessed Mamluk and Ottoman periods), in addition to Qasr Al-Hallabat and Hammam Al-Sarah in its desert expanse.
- **Cultural and Social Diversity:** Zarqa features a unique social fabric composed of diverse origins and cultures (such as Chechens, Circassians, and Jordanians from various backgrounds), making it rich in intangible heritage (traditional cuisine, handicrafts, and folklore).
- **Geographical Location and Connectivity:** Its direct proximity to the capital, Amman, and easy accessibility make it an ideal location for day trips.

Second: Challenges Facing Tourism Development in Zarqa

- **City Image/Perception:** For decades, Zarqa has been associated with being an "industrial and military-industrial city," which weakened its presence in the minds of tourists and tourism companies.
- **Weak Tourism Infrastructure:** A shortage of hotels, specialized tourist restaurants, and qualified visitor/discovery centers within the city center.
- **Weak Promotion and Marketing:** A lack of clearly defined tourist trails within the city and insufficient spotlighting of its landmarks.

Third: Proposed Strategic Pillars for Development

- **Rehabilitation and Development of Heritage Sites:** Restoring and rehabilitating the Shabib Castle area and its immediate surroundings to serve as a cultural attraction hub (a city museum / handicraft market).
- **Development of Dual Tourism Routes:** Connecting urban city tourism in Zarqa (Shabib Castle and cultural diversity) with eco-tourism and archaeological tourism in the governorate (Azraq Wetland Reserve and Desert Castles).

- **Targeted Marketing (City Branding):** Working to reshape Zarqa's stereotypical image through heritage festivals and marketing its cultural diversity and handicrafts.
- **Public-Private-Community Partnership:** Involving local residents in community-based tourism projects to ensure sustainable development and job creation.

Conclusion

The case study of Zarqa proves that city tourism and heritage development are not restricted solely to traditionally popular tourist cities; rather, they can extend to industrial and densely populated cities if strategic planning and willpower are present. Capitalizing on Zarqa's tangible and intangible heritage represents a promising opportunity to reshape the city's tourism identity and transition it from an industrial hub into a cultural and tourist destination that complements Jordan's national tourism activities. Achieving this requires integrated efforts between the Ministry of Tourism, the local municipality, the private sector, and the local community to rehabilitate landmarks and effectively place Zarqa on the national tourism map.

Keywords: City Tourism, Heritage Development, Sustainable Tourism Development, Zarqa City, Tangible and Intangible Heritage, Tourism Identity, Shabib Castle, Urban Identity.

WOMEN AS CLIMATE AGENTS AND GENDERED RESPONSIBILISATION IN INDIAN CLIMATE POLICY DISCOURSE

Anurag Singh
Research Scholar, Sarojini Naidu Centre for Women's Studies, Jamia Millia Islamia, New Delhi

ABSTRACT

Indian climate policy discourse has, across successive governments in the post-liberalisation period, invoked women as agents of national climate action. From the National Action Plan on Climate Change (2008) through the Ujjwala Yojana and the Lifestyle for Environment (LiFE) Mission, women appear as household stewards of environmental order, custodians of sustainability practices, and voluntary implementers of national mitigation goals. This paper argues that the invocation is not a step towards gender-inclusive climate governance but a discursive operation that recruits women's unpaid domestic and reproductive labour for national climate commitments while displacing them from institutional decision-making, climate finance, and formal adaptation planning. What policy discourse names empowerment is, in analytical terms, gendered responsibilisation.

The paper conducts a policy discourse analysis of a purposive corpus of Indian climate policy documents, tracing continuity in how women are represented and what work that representation does. Carol Bacchi's "What's the Problem Represented to Be?" approach structures the analysis. Responsibilisation, developed within governmentality studies by Rose and Miller and extended into feminist critique by Shamir, Roberts, and Elias, is used to interpret the findings, with Arora-Jonsson's critique of the vulnerability-virtue binary anchoring the paper within existing feminist climate scholarship.

Three claims are advanced. The "women as climate agents" representation is invariant across successive administrations, indicating continuity of state form. It systematically silences questions of institutional access, land tenure, and climate finance. And it produces climate policy as a domain of feminised domestic conduct rather than of structural transformation. The paper concludes that the gendered coding in Indian climate policy functions as a mechanism of state legitimation rather than as a substantive commitment to gender-inclusive climate governance, contributing to feminist policy studies, critical climate governance, and the emerging Global South literature on gendered responsibilisation.

Keywords: Indian climate policy; gender; responsibilisation; WPR approach; feminist political economy

CIRCULAR PYTHAGOREAN FUZZY ACZEL ALSINA HERONIAN MEAN OPERATORS WITH APPLICATIONS

Tayeb Ullah
Institute of Numerical Sciences, Kohat University of Science & Technology, Kohat, KPK, Pakistan

Abstract

The common mathematical tool for combining several inputs into a single, unique result is an aggregation operator. The study introduces various AGOs designed for CT-SF information. The CT-SFSs, which was created lately, proves to be a useful tool for expressing obscurity and ambiguities. The CT-SFSs have a wide range of applications in routine decision-making procedures because of their improved ability to handle uncertain circumstances compared to other fuzzy set theories. In this thesis, novel AGOs are developed considering the advantages of the CT-SFS to handle the MADM challenges. The new AGOs consider the relations between two input arguments. To improve the adaptability of the new AGOs, this thesis incorporates the A-A operations. This study proposes the CT-SF Aczel-Alsina Heronian mean operator, CT-SF Aczel-Alsina geometric Heronian mean operator which combines the Aczel-Asina operational rules with the and the HM / GHM operators. Various properties of these AGOs are investigated. Further, weighted form these AGOs are introduced. Then, we set up the MADM technique using the two AGOs that are suggested to solve MADM problems under CT-SFSs environment. We next illustrate the efficacy and suitability of the predicted approach with a numerical example and compare it with other relevant MADM strategies presently in existence in the CT-SHF information.

ORGANIC AMENDMENTS FOR SUSTAINABLE SOIL MANAGEMENT AND BARLEY PRODUCTION IN SEMI-ARID ALGERIA

Abderrazak Mabrouki
Fatima Hiouani
Abdelouahad Ouali
Mohamed Khider University, BP 145 RP, 7000, Biskra., Department of Agronomic Sciences, Algeria
Djamila Madani
Mohamed Boudiaf University of M'Sila, University Pole, Road Bourdj Bou Arreiridj, M'sila 28000, Department of Agronomic Sciences, Algeria

ABSTRACT

Sustainable soil management is essential for maintaining agricultural productivity in semi-arid regions, where low organic matter, poor soil structure, and water scarcity constrain crop growth. This study evaluated the effects of locally available organic amendments on the physical properties of calcareous soil and the productivity of barley (Hordeum vulgare L.) under semi-arid conditions in Algeria.

A field experiment was established using a randomized complete block design with three replicates and six treatments: an untreated control, mineral NPK fertilizer, sheep manure, poultry manure, and two composts prepared from date palm residues combined with either poultry litter or sheep manure. Soil bulk density, porosity, permeability, and barley growth and yield parameters were assessed throughout the cropping season.

Organic amendments significantly improved soil physical properties compared with the control and mineral fertilization. Poultry manure and compost derived from date palm residues and poultry litter produced the greatest reductions in bulk density while increasing soil porosity and permeability, thereby enhancing soil structure and water infiltration. These improvements promoted better root development and nutrient uptake, resulting in higher grain and straw yields. In contrast, mineral fertilization improved crop nutrition but had little effect on soil physical quality.

The results demonstrate that recycling livestock manures and date palm residues provides an effective and environmentally sustainable strategy for restoring soil health and increasing cereal productivity in semi-arid environments. The adoption of these organic amendments can strengthen climate-resilient agricultural systems while supporting the sustainable management of local organic resources in Algeria and similar dryland regions.

Keywords: Organic amendments; Soil health; Barley (Hordeum vulgare L.); Semi-arid agriculture; Date palm compost; Sustainable soil management.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECT OF INITIAL MIXTURE COMPOSITION ON THE COMPOSTING DYNAMICS AND MATURITY OF DATE PALM WASTE

Abdelouahad Ouali
Abderrazak Mabrouki
Youcef Ouzani
Houda Boutalbi
Fatima Hiouani
Mohamed Khider University, BP 145 RP, 7000, Biskra., Department of Agronomic Sciences, Algeria
Djamila Madani
Mohamed Boudiaf University of M'Sila, University Pole, Road Bourdj Bou Arreiridj, M'sila 28000, Department of Agronomic Sciences, Algeria

ABSTRACT

The high lignocellulosic content of date palm waste (DPW) limits microbial degradation and prolongs the composting process. Optimizing the initial carbon-to-nitrogen (C:N) ratio is therefore a key strategy for improving composting performance. This study evaluated two composting mixtures prepared using a compost recipe calculator, with target C:N ratios of 25 (CkS25) and 30 (CkS30). Both mixtures, composed of DPW and chicken litter, were processed in a low-cost manual rotary drum bioreactor (628 L, 50% filling capacity, approximately 130 kg) during the hot season over a 20-day composting cycle. Composting performance was assessed through temperature evolution, organic matter biodegradation, electrical conductivity (EC), moisture loss, and compost maturity using the C:N ratio and germination index (GI). The optimized formulations achieved initial C:N ratios of 27.2 and 31.8 for CkS25 and CkS30, respectively. CkS30 produced a higher maximum temperature (64.95 °C) and the greatest biodegradation rate (0.512), whereas CkS25 maintained the thermophilic phase for a longer period (13 vs. 12 days). By the end of the process, CkS25 reached a lower C:N ratio (17.2) than CkS30 (21.8), indicating greater stabilization. Both treatments exhibited similar germination indices (56.9% and 57.6%), reflecting incomplete biological maturity. In addition, CkS25 produced compost with lower electrical conductivity (6.16 vs. 7.64 dS m^{-1}) and reduced moisture loss (56.3% vs. 59.8%). The initial C:N ratio markedly influenced composting performance and compost quality. A target C:N ratio of 30 favored higher microbial activity and organic matter degradation, whereas a target ratio of 25 enhanced stabilization, moisture conservation, and reduced salinity. Although both mixtures achieved substantial stabilization within 20 days, the germination index indicated that an additional curing stage is necessary to produce fully mature compost.

Keywords: Date palm waste; organic waste valorization; in-vessel composting; chicken litter; compost quality; lignocellulosic biomass

ENDÜSTRİYEL EKİPMANLARA YÖNELİK TİTREŞİM ANALİZİ TABANLI MOBİL KESTİRİMCİ BAKIM UYGULAMASI

Emin ÖZTÜRK
Environics Uygulamalı Bilimler A.Ş, Namık Kemal Üniversitesi Teknopark, Tekirdağ
ORCID: 0009-0008-6107-5993
Dr. Öğretim Üyesi Aziz Kubilay OVACIKLI
İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, İstanbul
ORCID: 0000-0001-6687-7794

ÖZET
Endüstriyel tesislerde döner ekipmanların kesintisiz ve verimli çalışması, üretim sürekliliği ve işletme maliyetleri açısından kritik önem taşımaktadır. Geleneksel arıza sonrası bakım ve periyodik bakım yöntemleri yüksek tamir masraflarını, plansız duruşları ve iş gücü kayıplarını engellemede yetersiz kalmaktadır. Bu olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla günümüzde fiziksel parametre takibine dayalı kestirimci bakım çözümleri öne çıkmaktadır. Döner ekipmanlarda meydana gelen mekanik ve yapısal bozulmalar, sistemin dinamik titreşim karakteristiğini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle titreşim analizi, durum izleme süreçlerinde en etkili yöntem olarak kabul edilmektedir. Ancak mevcut bulut merkezli sistemlerde yüksek boyutlu verilerin iletimi, ağ kaynaklı gecikmelere ve yüksek sunucu maliyetlerine yol açmaktadır. Ayrıca kritik sanayi verilerinin işletme içerisinde tutulma gereksinimi ve sahadaki internet erişim sorunları de önemli birer teknik engel oluşturmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu kısıtlamaları ortadan kaldıran mobil bir kestirimci bakım uygulaması geliştirilmiştir. Uygulama, sensör verilerini Bluetooth üzerinden kablosuz olarak toplama yeteneğine ve veriyi doğrudan yerel cihaz üzerinde işleme kabiliyetine sahiptir. Döner ekipmana yerleştirilen kablosuz üç eksenli titreşim sensöründen alınan veriler doğrudan mobil cihaz üzerinde işlenmektedir. Bu süreçte Android için Java, iOS için Swift programlama dilleri tercih edilmiştir. Hesaplama işlemleri harici bir sunucuya veya internet bağlantısına ihtiyaç duymadan gerçekleştirilmektedir. Mobil yazılım bünyesinde ham titreşim verileri işlenerek genel titreşim seviyesi, RMS ivme değeri ve zarflama analizi tabanlı rulman skoru hesaplanmaktadır. Uygulama içerisinden alarm ve tehlike eşik değerleri belirlenmekte ve zamana bağlı değişim grafikleri gösterilmektedir. Bu sayede makinedeki mekanik yıpranma eğilimleri saha personelince takip edilebilmektedir. Sonuç olarak internet erişimi olmayan sahalarda bile kesintisiz, gerçek zamanlı, ekonomik ve tam yerel bir durum izleme olanağı sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Kestirimci bakım, titreşim analizi, mobil uygulama

MOBILE PREDICTIVE MAINTENANCE APPLICATION BASED ON VIBRATION ANALYSIS FOR INDUSTRIAL EQUIPMENT

ABSTRACT
In industrial facilities, the uninterrupted and efficient operation of rotating equipment is critical for production continuity and operating costs. Traditional post-failure maintenance and periodic maintenance methods are insufficient to prevent high repair costs, unplanned downtime, and labor losses. To overcome these drawbacks, predictive maintenance solutions based on monitoring physical parameters are gaining prominence today. Mechanical and structural failures in rotating equipment directly affect the dynamic vibration characteristics of the system. Therefore, vibration analysis is considered the most effective method in condition monitoring

processes. However, the transmission of high-dimensional data in existing cloud-based systems leads to network-related delays and high server costs. In addition, the need to keep critical industrial data on-site and internet access problems in the field constitute significant technical obstacles. In this study, a mobile predictive maintenance application that eliminates these limitations has been developed. The application has the ability to collect sensor data wirelessly via Bluetooth and process the data directly on the local device. Data obtained from the wireless three-axis vibration sensor placed on the rotating equipment is processed directly on the mobile device. Java programming languages were preferred for Android and Swift programming languages for iOS in this process. Calculations are performed without the need for an external server or internet connection. Raw vibration data is processed within the mobile software to calculate the overall vibration level, RMS acceleration value, and bearing score based on envelopment analysis. Alarm and hazard threshold values are defined within the application, and time-dependent change graphs are displayed. This allows field personnel to monitor mechanical wear trends in the machine. As a result, it offers uninterrupted, real-time, economical, and fully localized condition monitoring even in sites without internet access.
Keywords: Predictive maintenance, vibration analysis, mobile application

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim tesislerinde kullanılan döner ekipmanların kesintisiz, güvenli ve yüksek verimlilikle çalışması üretim sürekliliği açısından kritik bir gereksinimdir. Makinelerde meydana gelen plansız duruşlar yüksek tamir maliyetlerine ve ciddi üretim kayıplarına yol açmaktadır. Arıza oluştuktan sonra müdahale edilen arıza sonrası bakım ve ekipman durumundan bağımsız sabit zaman aralıklarıyla yürütülen periyodik bakım gibi geleneksel yöntemler yüksek duruş maliyetlerini, gereksiz parça değişimlerini ve iş gücü kayıplarını önlemede yetersiz kalmaktadır. Bu olumsuzlukların önüne geçmek amacıyla ortaya çıkan kestirimci bakım, makinelerin sağlık durumunu fiziksel parametreler üzerinden izleyerek arızaları henüz başlangıç aşamasında tespit etmeyi amaçlar (Romanssini ve ark., 2023; Chu ve ark., 2024). Döner ekipmanlarda meydana gelen mekanik ve yapısal bozulmalar dinamik titreşim karakteristiğini doğrudan etkilediğinden, titreşim analizi en etkili durum izleme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Arora ve ark., 2024).

Mevcut kestirimci bakım uygulamalarının büyük çoğunluğu, sahadaki sensörlerden toplanan yüksek boyutlu ham titreşim verilerini merkezi bir bulut sunucusuna aktarmakta ve gerekli hesaplamaları bu sunucularda yürütmektedir (Öztürk ve Ovacıklı, 2025). Ancak bulut merkezli bu yaklaşımlar endüstriyel saha şartlarında internet bağlantısının kesilmesi, yüksek boyutlu verilerin iletilmesinde yaşanan zaman gecikmeleri, kritik verilerin tesis dışına çıkarılması hassasiyeti ve yüksek sunucu maliyetleri gibi teknik sorunları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada, söz konusu kısıtlamaları ortadan kaldırmak amacıyla veriyi kaynağında işleyen, mobil tabanlı bir kestirimci bakım uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama, harici bir sunucuya veya internet erişimine ihtiyaç duymadan, kablosuz ve üç eksenli titreşim sensöründen alınan ham verileri mobil cihazın kendi işlemci kaynaklarını kullanarak analiz etmekte ve elde edilen sonuçları yerel veritabanına kaydetmektedir.

Geliştirilen mobil uygulama bünyesinde ham ivme verileri öncelikle bir ön işlemeden geçirilmektedir. Ön işlemenin ardından, zaman alanında RMS ivme değerleri hesaplanmaktadır. Sinyalin frekans bileşenlerini elde etmek amacıyla Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmaktadır. Genel titreşim seviyesi hesabı ve Hilbert Dönüşümü tabanlı zarf analiziyle rulman arıza tespiti gibi ileri düzey sinyal işleme adımları tamamen mobil cihaz üzerinde yürütülmektedir. Genel titreşim seviyesi değerlendirmesinde ISO 10816-3 standardından yararlanılırken, RMS ivme ve rulman arıza skoru için alarm ve tehlike değerleri kullanıcı

tarafından tanımlanmaktadır. Elde edilen değerler, analiz ekranında zaman içindeki değişim grafikleri olarak gösterilmektedir. Bu sayede ekipmandaki yıpranma ve arıza eğilimleri sahada anlık olarak takip edilebilmektedir. Android için Java, iOS için Swift programlama dili ile geliştirilen bu uygulama düşük gecikme, verilerin tesis dışına çıkmaması, sıfır sunucu maliyeti ve internetten bağımsız çalışma avantajlarıyla pratik bir kestirimci bakım çözümü sunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada geliştirilen mobil kestirimci bakım uygulaması, kablosuz titreşim sensörü, mobil yazılım mimarisi ve cihaz üzerinde yürütülen sinyal işleme algoritmalarından oluşmaktadır. Veri toplamak için kullanılan üç eksenli titreşim sensörü Şekil 1'de yer almaktadır.



Şekil 1: Veri toplamak için kullanılan kablosuz üç eksenli titreşim sensörü.

Döner ekipmanlarda belirlenen ölçüm noktalarına doğrudan sabitlenen sensör, ham titreşim verilerini gerçek zamanlı olarak toplar. Toplanan titreşim sinyalleri düşük enerji tüketimi ve kesintisiz veri akışı sağlayan Bluetooth iletişim protokolü üzerinden kablosuz olarak mobil cihaza iletilir (Baloğlu ve Karademiroğlu, 2019). Kullanılan Bluetooth özellikli sensör kablo karışıklığını ortadan kaldırırken, ulaşılması zor veya tehlikeli dönen aksamlardan güvenli bir mesafeden veri toplanmasını mümkün kılmaktadır.

Çoklu platform desteği sağlamak amacıyla mobil uygulamanın Android tarafı Java, iOS tarafı ise Swift dili kullanılarak geliştirilmiştir. Android platformunda kullanılan Java, nesne yönelimli yapısı, güçlü arka plan servis yönetimi ve eşzamanlı iş parçacığı desteği sayesinde kullanıcı arayüzünü etkilemeden ağır matematiksel hesaplamaların yapılmasına olanak tanımaktadır. Swift dili ise iOS tarafında donanım seviyesine doğrudan erişim sağlayan ve bellek yönetimini optimize eden yüksek performanslı bir yapıdır. Bu iki mimari, büyük veri dizilerinin mobil cihazlar üzerinde düşük gecikmeyle işlenmesinde ve işlemci kaynaklarının verimli kullanılmasında yüksek performans sağlamaktadır.

Bluetooth ile toplanan titreşim verileri, sinyal işleme adımlarıyla ortalama kaymalardan ve düşük frekanslı gürültülerden temizlenmektedir. Ardından zaman alanındaki verilerin genel karakteristik özellikleri, kök ortalama kare hesaplamaları ve istatistiksel parametreler ile çıkarılmaktadır. Elde edilen temizlenmiş veriler, FFT algoritması kullanılarak frekans alanına aktarılmakta ve ivme spektrumları oluşturulmaktadır. Böylece sinyal üzerindeki kritik frekans bileşenleri ve baskın titreşim tepkileri net biçimde tespit edilebilir hale getirilmektedir. Toplanan veri ile kod mimarisine bağlı olarak üç temel analiz yapılmaktadır.

Genel titreşim seviyesi analizi, makinedeki alçak frekanslı yapısal arızaları tespit etmeyi amaçlar. ISO 10816-3 standardına uygun olarak belirlenen frekans bandında ivme sinyalinden hız spektrumuna geçilir. Elde edilen hız spektrumu kullanılarak genel titreşim seviyesi

Denklem 1'de yer alan formül ile hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan N belirlenen bant aralığındaki toplam veri sayısını, v_i ise i. indeksteki hız değerini ifade etmektedir.

$$\text{Genel titreşim seviyesi} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} v_i^2} \quad (1)$$

RMS ivme, zaman alanındaki işlenmemiş ivme verisinin toplam enerji büyüklüğünü belirler. Bu değer genel mekanik durumu izlemek, darbe ve yüksek frekanslı arızaları tespit etmek amacıyla kullanılır. Hesaplama, kök ortalama kare yöntemi doğrultusunda Denklem 2'deki formül ile elde edilir. Denklemde yer alan N toplam örneklem sayısını ve x_i ise i. zamandaki ivme genlik değerini ifade etmektedir.

$$\text{RMS ivme} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2} \quad (2)$$

Rulman skoru, rulmanlardaki hasarların ürettiği yüksek frekanslı darbeleri tespit etmek amacıyla çok adımlı zarf analizi yöntemiyle elde edilir. Bu süreçte ivme sinyali öncelikle dijital bir Butterworth bant geçiren filtreden (H(z)) geçirilir. Filtrelenen sinyale Hilbert Dönüşümü (H) uygulanarak sinyalin genlik zarfı (e(t)) çıkarılır. Genlik zarfı, Denklem 3'te yer alan formül ile hesaplanmaktadır. Denklemde yer alan e(t) zaman alanındaki genlik zarf sinyalini, $x_f(t)$ bant geçiren filtreden geçmiş ivme sinyalini, $H\{x_f(t)\}$ ise bu filtrelenmiş sinyalin Hilbert dönüşümünü ifade etmektedir.

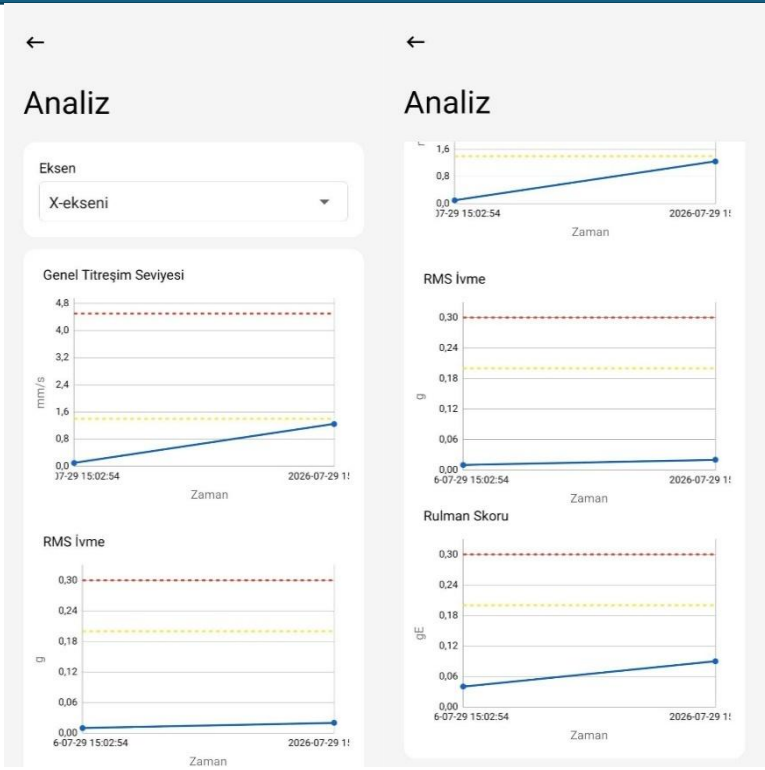
$$e(t) = \sqrt{x_f^2(t) + H\{x_f(t)\}^2} \quad (3)$$

Elde edilen genlik zarf sinyali, alçak geçiren bir IIR filtresinden geçirilip eğilimi giderildikten sonra FFT ile frekans spektrumuna dönüştürülür. Ardından bu zarf spektrumunun RMS değeri hesaplanarak rulman arıza indeksi elde edilir.

Analiz işlemleri sonucunda elde edilen değerler uygulama üzerinden kullanıcıya gösterilmektedir. Genel titreşim seviyesi için ISO standartları temel alınırken, RMS ivme ve rulman skoru için alarm ve tehlike seviyeleri kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Analiz ekranında üç eksene ait değerler yer almaktadır. Ayrıca bu verilerin zamana göre değişim grafikleri de görüntülenmektedir. Kullanıcılar, tanımlanan eşik değerleri de kullanarak makinedeki yıpranmayı tarihsel süreçte kolayca takip edebilir. Böylece olası arızalar henüz gerçekleşmeden tespit edilerek planlı bakım süreçleri optimize edilir. Bu durum, beklenmeyen duruş sürelerinin ve bakım maliyetlerinin önemli ölçüde azaltılmasını sağlar.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geliştirilen mobil tabanlı kestirimci bakım uygulamasının performansı cihaz üzerindeki hesaplama doğruluğu ve saha kullanılabilirliği açısından değerlendirilmiştir. Sistemin, kablosuz titreşim sensöründen Bluetooth aracılığıyla aldığı ham ivme verilerini internet bağlantısına veya harici bir sunucuya ihtiyaç duymadan başarıyla analiz ettiği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda genel titreşim seviyesi, RMS ivme ve rulman skoru uygulama üzerinden yüksek doğrulukla hesaplanmaktadır. Bu süreçte cihaz kaynakları da verimli bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 2: Analiz sonuçlarının zamana göre değişim grafikleri

Şekil 2'de verilen analiz ekranında genel titreşim seviyesi, RMS ivme ve rulman skoru parametreleri gösterilmektedir. Uygulama ölçüm sonuçlarını üç eksen için zamana göre değişim grafikleri şeklinde göstermektedir.

Geliştirilen uygulama ile verilerin sunucuya iletimi aşamasındaki ağ gecikmesi önlenmiş ve haberleşme maliyetleri ortadan kaldırılmıştır. Böylece endüstriyel tesislerin internet erişimi bulunmayan saha alanlarında bile kesintisiz bir şekilde kestirimci bakım süreçlerinin yürütülmesi sağlanmıştır. Bu yaklaşım sayesinde merkezi sunucu bağımlılığı ortadan kaldırılarak sistemin tepki süresi en aza indirilmiştir. Ayrıca tüm verilerin yerel cihaz hafızasında saklanması, endüstriyel işletmeler açısından kritik bir gereksinim olan veri gizliliği ve güvenliğini tam anlamıyla garanti altına almıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, endüstriyel döner ekipmanlar için Bluetooth haberleşmeli kablosuz titreşim sensörü kullanılarak yerinde veri işleme özelliğine sahip mobil bir kestirimci bakım uygulaması geliştirilmiştir. Üç eksenli titreşim sensöründen alınan veriler, Android için Java ve iOS için Swift dilleri kullanılarak sunucuya ihtiyaç duyulmadan doğrudan cihaz üzerinde işlenmiştir. Bu kapsamda genel titreşim seviyesi, RMS ivme ve rulman skoru teşhis algoritmaları yüksek doğruluk ve performansla çalıştırılmıştır. Zamana göre değişim grafikleri ve esnek eşik değerleri sayesinde arıza eğilimlerinin saha üzerinde anlık takibi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, geliştirilen sistemin ağ bağımlılığını ve veri iletim maliyetlerini ortadan kaldırıp verilerin tamamen yerel bünyede kalmasını sağlayarak internet erişimi olmayan sahalarda dahi kesintisiz, düşük gecikmeli ve güvenli durum izleme imkanı sunduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Arora, J.K., Rajagopalan, S., Singh, J., Purohit, A. (2024) Low-frequency adaptation-deep neural network-based domain adaptation approach for shaft imbalance fault diagnosis, Journal of Vibration Engineering & Technologies, 12(1), 375-394.

Baloğlu, A., Karademiroğlu, O. (2019). Akıllı şehirlerde kablosuz haberleşme teknolojileri ve doğru teknoloji seçimi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 1(1), 22-29.

Chu, T., Nguyen, T., Yoo, H., Wang, J. (2024). A review of vibration analysis and its applications. Heliyon, 10(2), 1-13.

Öztürk, E., Ovacıklı, AK. (2025). Endüstride bulut bilişim tabanlı kestirimci bakım ve denetimsiz titreşim analizi uygulaması. Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind. 9(3), 448-461.

Romanssini, M., de Aguirre, P.C., Compassi-Severo, L., Girardi, A.G. (2023). A review on vibration monitoring techniques for predictive maintenance of rotating machinery, Eng, 4(3), 1797-1917.