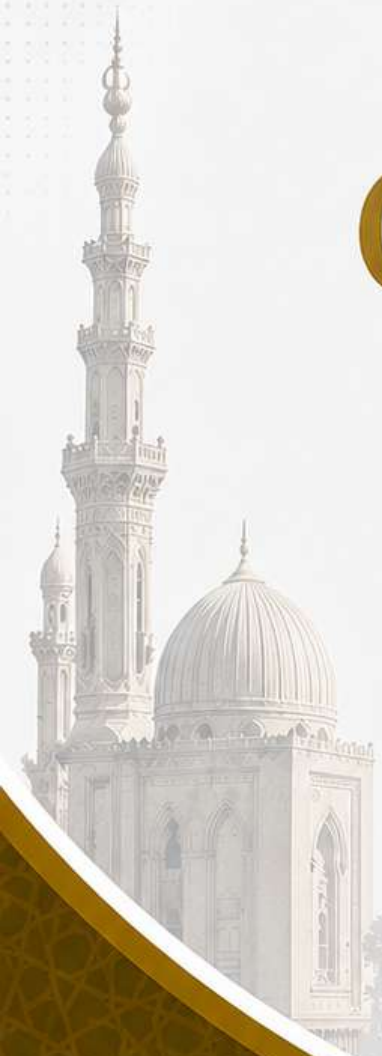
SCIENCE EGYPT
by IKSAD Institute

INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION

April 16-19, 2026 - Cairo





THE PROCEEDINGS BOOK

scienceegypt.org

Copyright © Liberty

THE PROCEEDINGS BOOK

INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION

April 16-19, 2026 – Cairo, Egypt

EDITOR

Prof. Dr. Arzu AL

Prof. Violla MAKHZOUM

Date: 05.05.2026

Liberty Publishing House

Water Street Corridor New York, NY 10038

www.libertyacademicbooks.com

+1 (314) 597-0372

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

© Liberty Academic Publishers 2026

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

adopted by Mariam Rasulan

ISBN: 979-8-89695-404-0

ORGANIZING INSTITUTIONS

INSTITUTE OF ECONOMIC DEVELOPMENT AND SOCIAL RESEARCHES (IKSAD)

LONDON SOVEREIGN SCHOOL

PARTICIPANT COUNTRIES (26)

Albania, Algeria, Australia, Bangladesh, Brunei, Bulgaria, Cambodia, China, Ethiopia, Georgia, Hungary, India, Indonesia, Iraq, Italy, Jordan, Kazakhstan, Kenya, Malaysia, Mexico, Moldova, Morocco, Nigeria, Oman, Pakistan, Romania, Russia, Saudi Arabia, Serbia, Türkiye, Ukraine, USA, Vietnam

TOTAL ACCEPTED PAPERS: 126
TOTAL REJECTED PAPERS: 19

TOTAL NUMBER OF PAPERS FROM TÜRKİYE: 57
TOTAL NUMBER OF INTERNATIONAL PARTICIPANTS: 69

EVALUATION PROCESS

All applications have undergone a double-blind peer review process

PRESENTATION

Oral Presentations

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE
INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION

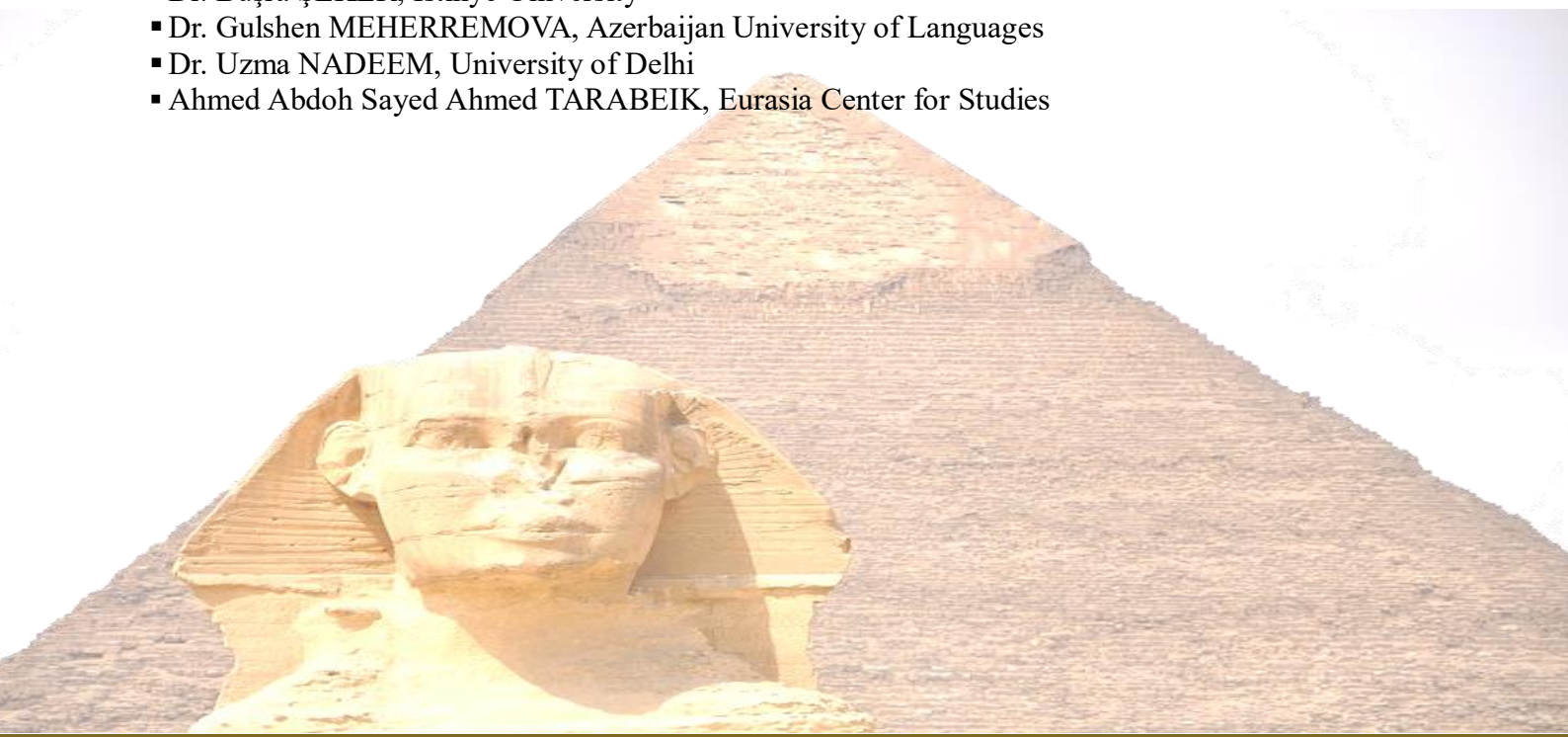
DATE AND PLACE
April 16-19, 2026 – Cairo, Egypt

ORGANIZING COMMITTEE
Prof. Dr. Arzu AL, Chairwoman

- Prof. Viollа MAKHZOUM, Member
- Prof. Dr. Mohamed Abdallah Ksouda, Member
- Prof. Frank Amosai, Member
- Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN, Member
- Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER, Member
- Ahmed Abdoh Sayed Ahmed Tarabeik, Member

SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE

- Prof. Viollа MAKHZOUM, Chairwoman
- Prof. Dr. Arzu AL, Marmara University
- Prof. Dr. Mohamed Abdallah Ksouda, Tripoli University
- Prof. Dr. Hasan ÇİFTÇİ, Harran University
- Prof. Dr. Salih ÖZTÜRK, Tekirdag Namık Kemal University
- Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN, Siirt University
- Prof. Frank Amosai, University of Abomey Calavi
- Prof. Hazim Abed Mohammed AL-JEWAREE, Al Kitab University
- Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN, Adana Alparslan Turkeş Science & Technology University
- Assoc. Prof. Dr. Jule Eriç HORASANLI, Necmettin Erbakan University
- Dr. Ayman ELSABAGH, Siirt University
- Dr. Moussa TANKARI, University of Zinder
- Dr. Badel İNCE, Mersin University
- Dr. Büşra ŞEKER, İstinye University
- Dr. Gulshen MEHERREMOVA, Azerbaijan University of Languages
- Dr. Uzma NADEEM, University of Delhi
- Ahmed Abdoh Sayed Ahmed TARABEIK, Eurasia Center for Studies



INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS
ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION

April 16-19, 2026 – Cairo, Egypt

Meeting ID: 860 5266 6988
Zoom Passcode: 171717
https://us02web.zoom.us/j/86052666988?pwd=PUg88BM0FUG2mRsnlkaOY1GxBsLF7E.1

CONGRESS PROGRAM

PARTICIPANT COUNTRIES (26)

Albania, Algeria, Azerbaijan, Ecuador, Ethiopia, Hungary, India, Indonesia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Malaysia, Mexico, Morocco, Nigeria, Pakistan, Philippines, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Tanzania, Turkmenistan, Türkiye, Ukraine, United Kingdom, Vietnam

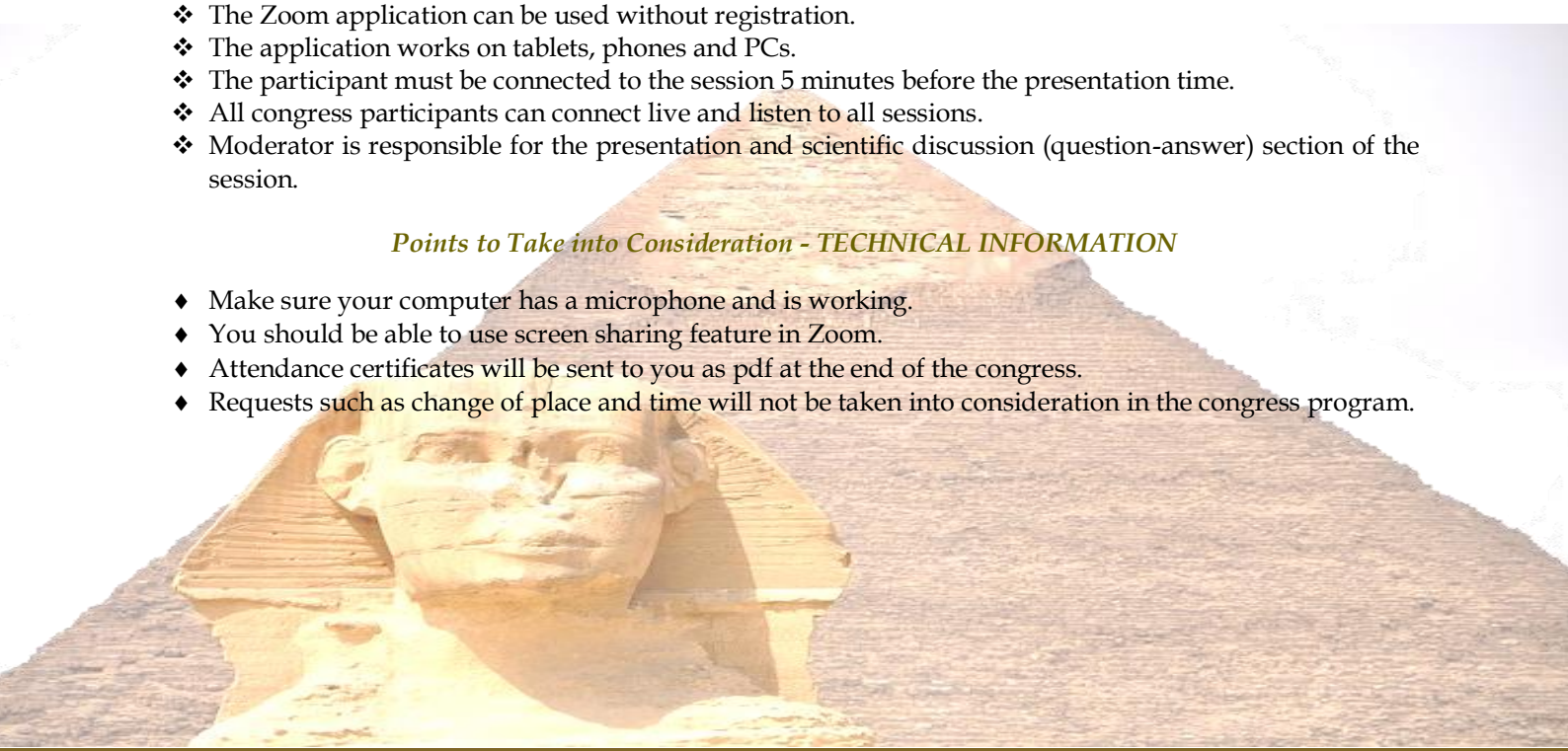
---

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

- To be able to attend a meeting online, login via **https://zoom.us/join** site, enter ID "Meeting ID or Personal Link Name" and solidify the session.
- 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.
- The participant must be connected to the session 5 minutes before the presentation time.
- All congress participants can connect live and listen to all sessions.
- Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

Points to Take into Consideration - 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.
- Requests such as change of place and time will not be taken into consideration in the congress program.



OPENING CEREMONY

Date: 17.04.2026, Friday
Cairo Local Time: 08:40
Ankara Local Time: 09:40

Prof. Dr. Arzu AL - Chairwoman of the Organizing Committee
Prof. Violla MAKHZOUM - Member of the Organizing Committee

Moderator: Samira KHADHRAOUI ONTUNC



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-1

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Dr. Indira PHUTKARADZE		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Mehmet Ali TEKİN	Istanbul Nişantaşı University, Türkiye	FROM HARD POWER TO SMART POWER: AN EXAMINATION OF TURKEY'S CYBERSECURITY AND ELECTRONIC WARFARE POLICIES
Emine KARSLİ	Istanbul Nişantaşı University, Türkiye	RUSSIA'S "NEAR ABROAD" DOCTRINE AND THE MIDDLE EASTERN EXCEPTION: A CASE STUDY OF SYRIA
Yusuf Girayalp ATAN	Marmara University, Türkiye	STRATEGIC AND ECONOMIC ANALYSIS OF A POTENTIAL TÜRKİYE-EGYPT MARITIME BOUNDARY AGREEMENT
Dr. Samet TUFAN	Independent Researcher, Türkiye	A COMPARISON OF THE STRATEGIC AND GEOPOLITICAL IMPORTANCE OF THE STRAIT fOF HORMUZ IN THE SUEZ CRISIS AND THE USA/ISRAEL-IRAN WAR WITHIN THE CONTEXT OF THE ECONOMIC VALUE OF INTERNATIONAL WATERWAYS
Res. Asst. Merve PEHLİVAN İLERİSOY	Doğuş University, Türkiye	QATAR'S HUMANITARIAN DIPLOMACY AS A TOOL FOR SMALL STATES
Prof. Dr. Meral BALCI Abdulla KHANAYEV Aylin KHUDAVERDİYEVA	Marmara University, Türkiye Istanbul University, Türkiye Independent Researcher, Azerbaijan	GREEN FINTECH IN SUSTAINABLE ENERGY FINANCING: THE CASE OF AZERBAIJAN
Prof. Dr. Meral BALCI Dr. Indira PHUTKARADZE	Marmara University, Türkiye Istanbul Nişantaşı University, Türkiye	RUSSIA'S "BACKYARD" POLICY: THE SEARCH FOR HEGEMONY IN THE SOUTH CAUCASUS



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-2

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Merve KOLCU		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Assoc. Prof. Dr. Merve KOLCU Prof. Dr. Selda ÇELİK	University of Health Sciences, Türkiye	THE ROLE OF PRIMARY CARE NURSING IN REDUCING HEALTH INEQUALITIES AMONG MIGRANT POPULATIONS
Assoc. Prof. Dr. Merve KOLCU Prof. Dr. Selda ÇELİK	University of Health Sciences, Türkiye	CURRENT APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF TYPE 2 DIABETES: A SYSTEMATIC REVIEW
Asst. Prof. Dr. Filiz SELEN Yaren GÜNER	Selçuk University, Türkiye Independent Researcher, Türkiye	DETERMINING THE FACTORS AFFECTING ADJUSTMENT TO THE DEFINED REGIMENS OF INDIVIDUALS IN HEMODIALYSIS PROGRAM: FOCUS GROUP INTERVIEW
Hüsniye ÇEKİÇ Assoc. Prof. Dr. Atiye KARAKUL Prof. Dr. Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA	Tarsus University, Türkiye	STOMAS AND NURSING CARE IN PEDIATRIC PATIENTS
Elif KARATEPE Asst. Prof. Dr. Hanım Eda SELVİ	Sivas Cumhuriyet University, Türkiye	THE EFFECTS OF REFORMER PILATES ON UPPER EXTREMITY FUNCTIONALITY IN INDIVIDUALS WITH A SEDENTARY LIFESTYLE: A REVIEW ARTICLE
Assoc. Prof. Dr. Nihat TELLİ Assoc. Prof. Dr. Arife Ezgi TELLİ Res. Asst. Dr. Gamze TURKAL	Konya Technical University, Türkiye	OMICS APPROACHES IN NUTRITIONAL SCIENCE AND INTEGRATED PERSONAL OMICS PROFILING (iPOP)
Lecturer Serkan BENTLİ Usame ELBIRHAVİ	Malatya Turgut Ozal University, Türkiye	NUTRITIONAL PLANNING IN CHRONIC KIDNEY DISEASE
Lecturer Serkan BENTLİ Nail CAN	Malatya Turgut Ozal University, Türkiye	METABOLIC EFFECTS OF MACRONUTRIENTS: THE ROLE OF CARBOHYDRATES AND CURRENT APPROACHES
Aytakin HASANOVA Naila MEMMEDOVA	Azerbaijan Medical University, Azerbaijan	RECURRENT PREGNANCY LOSS ASSOCIATED WITH ROBERTSONIAN TRANSLOCATION ROB(14;21): A CASE REPORT



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-3

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Dr. Rukiye KARADENİZ		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Sababa FATIMA Prof. Dr. İsmail BAYRAM	Afyon Kocatepe University, Türkiye	NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF LYSOZYME AS A NATURAL ANTIMICROBIAL ADDITIVE IN POULTRY PRODUCTION SYSTEMS
Sababa FATIMA Prof. Dr. İsmail BAYRAM	Afyon Kocatepe University, Türkiye	FEEDING FACTORS AS DRIVERS OF MICROBIAL DYNAMICS IN THE RUMINANT DIGESTIVE SYSTEM
Res. Asst. Muhammet AKIN Res. Asst. Şeyma Eda AKIN	Erzincan Binali Yıldırım University, Türkiye	REGENERATIVE TREATMENT OF THE SURGICAL BONE DEFECT USING CONCENTRATED GROWTH FACTOR (CGF) FOLLOWING RADICULAR CYST ENUCLEATION: 6-MONTH CLINICAL AND RADIOLOGICAL FOLLOW-UP
Asst. Prof. Dr. Hacer ALATAŞ Merve KURT	Malatya Turgut Ozal University, Türkiye	CURRENT APPROACHES TO POST-TRAUMATIC NUTRITION IN CHILDREN
Asst. Prof. Dr. Hacer ALATAŞ Nadide Nur ÖZKUL	Malatya Turgut Ozal University, Türkiye	THE FEMALE ATHLETE TRIAD
Res. Asst. Şeyma Eda AKIN Res. Asst. Muhammet AKIN	Erzincan Binali Yıldırım University, Türkiye	MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF AN ENDODONTIC-PERIODONTAL LESION PRESENTING WITH AN EXTRAORAL FISTULA: A CASE REPORT



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-4

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Quang Minh DINH		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Prof. Dr. Quang Minh DINH M.Sc. Tien Kieu Thi NGUYEN Lam Thi Thao VO	Can Tho University, Vietnam	TEACHERS' PERCEIVED ADVANTAGES AND SUPPORT NEEDS IN HIGH SCHOOL SCIENTIFIC RESEARCH: EVIDENCE FROM THE MEKONG DELTA, VIETNAM
M.A. Nguyen Chi NGUYEN Huynh Thi HOI Le Thi HANG Quach Tuyet MINH	Dong Thap University, Vietnam Can Tho University, Vietnam	ORGANIZING PROJECT-BASED LEARNING FOR TEACHING THE EPIC GENRE IN GRADE 10 LITERATURE TO DEVELOP STUDENTS' PROBLEM-SOLVING AND CREATIVITY COMPETENCIES
Agbefa Maria ABAH Anene Amaka ANULIKA Kamji Nendirmwa BLESSING	University of Jos, Nigeria	EFFECT OF THINK-PAIR-SHARE STRATEGY ON SENIOR SECONDARY ONE STUDENTS' ACHIEVEMENT IN CELL BIOLOGY IN JOS NORTH LOCAL GOVERNMENT AREA NIGERIA
Hanifah JAMBARI Sharifah OSMAN Jamilah AHMAD	Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia	ARDUINO–BLUETOOTH CONTROLLED CAR DEVELOPMENT THROUGH PROJECT-BASED LEARNING
Oumaïma HANTAT Malika RAFIQ Yassine SIBENALI	Hassan II University, Morocco	TEACHING/LEARNING FRENCH IN MOROCCO: WHAT IS THE LINK WITH EMOTION, MOTIVATION, AND NONVIOLENT COMMUNICATION?
Amansisa EMBABO Amanuel Ayde ERGADO Worku JIMMA	Jimma University, Ethiopia	REVIEW OF IMPACT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: IMPLICATIONS FOR ACADEMIC INTEGRITY AND STUDENTS CREATIVITY
Noor Hanim ISMAIL Nor Fathimah FATHIL Rosnida OTHMAN	Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Malaysia	STUDENTS' EMOTIONS AND PERFORMANCE IN OUTCOME BASED EDUCATION AT POLYTECHNIC



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-5

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Adrian IOANA		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Liubomyra ILIICHUK	Vasyl Stefanyk Carpathian National University, Ukraine	MECHANISMS FOR IMPLEMENTING THE UNIVERSITY'S INSTITUTIONAL CAPACITY IN QUALITY ASSURANCE OF EDUCATION
Anila ALIAJ KARANXHA	University of Tirana, Albania	TO INTEGRATE HELPING TEACHERS AND STUDENTS IN THE INTEGRATION OF ICT IN THEIR PEDAGOGICAL PRACTICES IN ALBANIA
Gulzat ANUARBEKOVA Raushan UNAIBAYEVA	Abai Kazakh National Pedagogical University, Kazakhstan Almaty Technological University, Kazakhstan	TEACHING ALGORITHMICS AND PROGRAMMING IN SCHOOLS THROUGH A SYSTEM OF TASKS CONSIDERING NATIONAL CHARACTERISTICS
Ionela Luminita CANUTA BUCUROIU Prof. Dr. Adrian IOANA Asst. Prof. Dr. Ileana-Mariana MATES Prof. Dr. Augustin SEMENESCU Prof. Dr. Massimo POLLIFRONI	National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Romania University of Turin, Italy	OPTIMIZED MODEL OF MANAGERIAL STRATEGY IN THE EDUCATION SYSTEM AND THE ROLE OF PUBLIC INVESTMENTS IN STIMULATING INNOVATION
Erica Via V. GASCON Alexa Raine T. PLACIBE Redem Paul M. YAP Georgie F. TABARANZA Vanessa Angelica D. ACOSTA Aldwin T. MIRANDA	Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology, Philippines	MATHEMATICAL HIGHER-ORDER THINKING ABILITY AND REASONING SKILLS OF FIRST-YEAR COLLEGE STUDENTS
Leyli SHAMMAYEVA	Oguz Han Engineering and Technology University, Turkmenistan	CONTEMPORARY EDUCATION AND SOCIAL DEVELOPMENT



17.04.2026, Friday, Online Session-1, Hall-6

Cairo Local Time: ***09:00-11:00***

Ankara Local Time: ***10:00-12:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Dr. Muhammad FAISAL		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Asst. Prof. Dr. Muhammad FAISAL Alquma NOOR	Allama Iqbal Open University, Pakistan	AI-DRIVEN FRAUD DETECTION AND PREDICTIVE ANOMALY ANALYTICS
Thumma RUSHIKESH M. SURESH Dr. Tawseef AHMAD Syeda Hafsa NAAZ	Bharat Institute of Engineering and Technology, India	SMART BLIND ASSISTANT GLASSES
M. YAMUNA Shivani R	VIT Vellore, India	A WEARABLE WIRELESS SOUND PATTERN DETECTION AND ALERT SYSTEM FOR HEARING-IMPAIRED INDIVIDUALS
A.V.S. ANUSHA M. SURESH Tawseef AHMED R. KANIMOZHI	Bharat Institute of Engineering and Technology, India	CONVERSATIONAL IMAGE RECOGNITION CHATBOT
Rukayya Ibrahim TUKUR	Hassan Usman Katsina Polytechnic, Nigeria	ETHICAL IMPLICATIONS OF AI ADOPTION IN QUANTITY SURVEYING PRACTICE: A CASE STUDY FROM NIGERIA
Lawal N. A. LAWAL Farinde M. O. FARINDE	Federal Polytechnic Ilaro, Nigeria	BIOBASED ADDITIVE EFFECTS IN CONCRETE USING SUGARCANE FIBER



17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-1

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Dr. Onur METİN		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Onur METİN Prof. Dr. Şeref TURHAN	Kastamonu University, Türkiye	DETERMINATION OF OXIDE AND HEAVY METAL CONTENTS OF SOME CEMENT SAMPLES USED AS BUILDING MATERIALS IN TÜRKİYE
Prof. Dr. Şeref TfURHAN Dr. Onur METİN	Kastamonu University, Türkiye	PRELIMINARY ENRICHMENT ASSESSMENT OF SOME RARE EARTH ELEMENTS IN SOILS SURROUNDING A CEMENT PRODUCTION PLANT
Yeliz GÖYÜK Dr. Mustafa YAVUZ Assoc. Prof. Dr. Beste TURANLI Assoc. Prof. Dr. Ceyhun BEREKETOĞLU	Marmara University, Türkiye	THE EFFECT OF DI(ISONONYL) CYCLOHEXANE-1,2-DICARBOXYLATE EXPOSURE ON THE EPIGENETIC MECHANISM IN ZEBRAFISH
İlahe OSMANOVA Munavvar Ajdar SAFAROVA	Odlar Yurdu University, Azerbaijan	THE DANGER WE BREATHE
İlahe OSMANOVA Munavvar Ajdar SAFAROVA	Odlar Yurdu University, Azerbaijan	WHISPER OF RADIATION - THE SILENT WORLD
Kübra YÜZBAŞIOĞLU Şirin DEMİRCAN YILDIZ	Etimesgut Science and Art Center, Türkiye	EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PLANT RESPONSES TO AGRICULTURAL FROST STRESS AND ALGORITHMIC DECISION MODELING



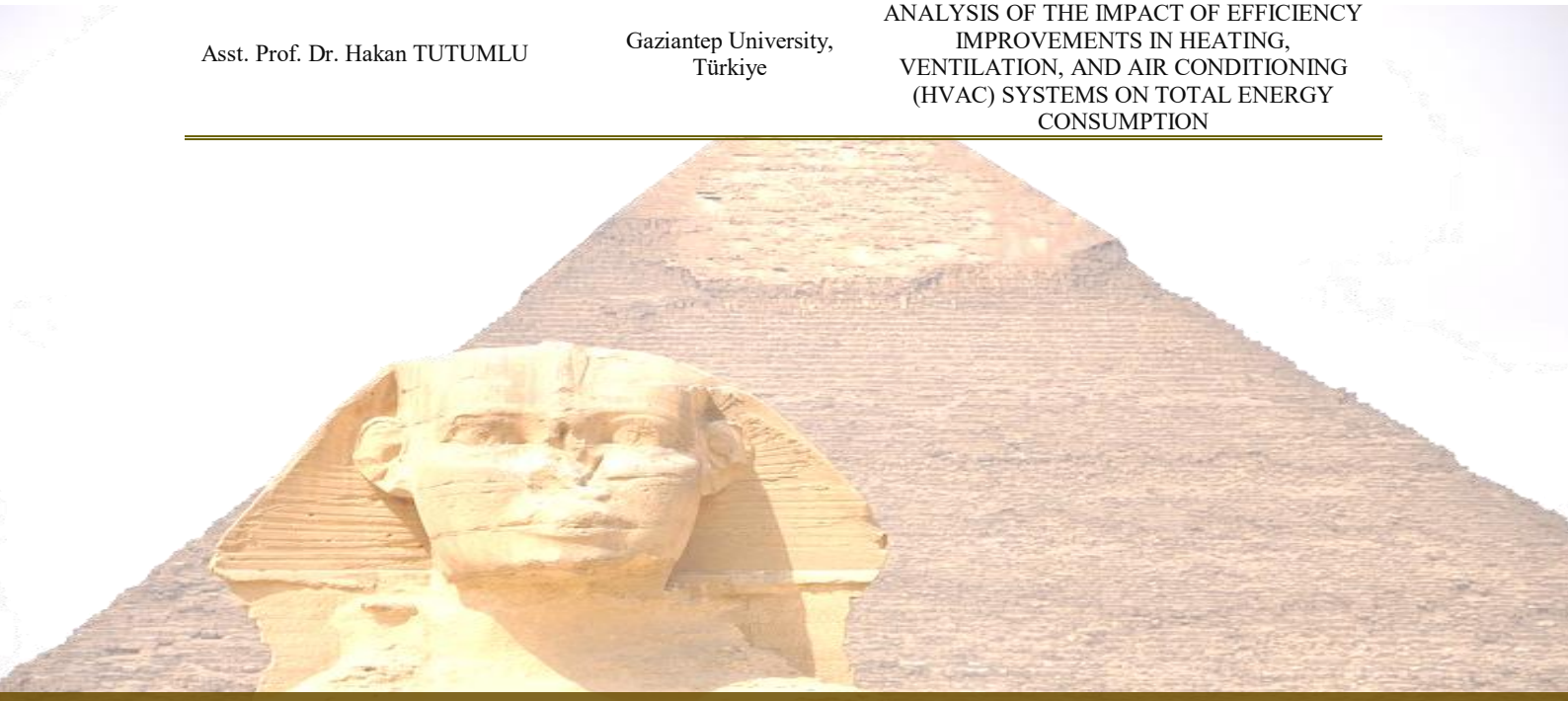
17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-2

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Dr. Hakan TUTUMLU		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Asst. Prof. Dr. Zeynep KEREM ÖZTÜRK Esra TOKUÇ	İstanbul Sabahattin Zaim University, Türkiye	THE MODERN RESURRECTION OF HERITAGE: THE TRANSFORMATION OF THE RICHARDSON OLMSTED CAMPUS INTO HOTEL HENRY
Caner BULUT Mustafa ÖCAL Tevfik Oğuzhan ERGÜDER	Iğdır University, Türkiye Türkiye	THE EFFECT OF DIFFERENT FILLING GEOMETRIES ON THE IMPACT WEAR BEHAVIOR OF ABS SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD
Alihan GÜRSOY Assoc. Prof. Dr. Serhat KILIÇARSLAN	Bandırma Onyedi Eylül University, Türkiye	CLASSIFICATION OF MIDDLE EAR DISEASES FROM OTOSCOPIC IMAGES USING TRANSFORMER-BASED DEEP LEARNING MODELS
Doston JURABOEV Dr. Yunus YALMAN	Ankara Yıldırım Beyazıt University, Türkiye Türkiye	COMPARATIVE PERFORMANCE AND TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF FIXED-TILT AND SOLAR TRACKING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A CASE STUDY OF KONYA, TÜRKİYE
AMNA MOHAMMED JUMAA JUMAA Prof. Dr. Aydın ÇETİN	Gazi University, Türkiye	AN ENSEMBLE LEARNING FRAMEWORK FOR SQL INJECTION DETECTION IN IOT APPLICATION LAYER RESTFUL API'S
Lec. Dr. Tuğba TAŞTAN	İstanbul Kültür University, Türkiye	ADAPTATION OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL SPATIAL FIXTURES IN RESIDENTIAL INTERIOR SPACES: AESTHETIC, ERGONOMIC AND FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS
Kamala MAMMADAZADA	Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan	APPLICATION OF MAMDANI FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR MODELING NONLINEAR DYNAMICS OF A WASTEWATER TREATMENT BIOREACTOR
Mete ARSLAN Prof. Dr. Aydın ÇETİN	Gazi University, Türkiye	SRGAN-ENHANCED LAND-COVER CLASSIFICATION OF SENTINEL-2 DATA
Asst. Prof. Dr. Hakan TUTUMLU	Gaziantep University, Türkiye	THEORETICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF EFFICIENCY IMPROVEMENTS IN HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING (HVAC) SYSTEMS ON TOTAL ENERGY CONSUMPTION



17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-3

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Alaeddin YALÇINKAYA		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Prof. Dr. Arzu AL Suraya BAZAROVA	Marmara University, Türkiye	MEASURING OVERLAPPING REGIONALISM: A MULTI-LAYER PANEL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL OVERLAP AND SELECTIVE POLICY CONVERGENCE IN APEC–ASEAN
Prof. Dr. Arzu AL Sadiye Tuğba Kendirli Horoz	Marmara University, Türkiye	THE IMPACT OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM WITHIN THE FRAMEWORK OF THE EUROPEAN GREEN DEAL ON EU ENERGY SECURITY: A POLITICAL ECONOMY PERSPECTIVE (CASE STUDY OF GERMANY AND FRANCE)
Prof. Dr. Alaeddin YALÇINKAYA Dr. Fatıma MİRZALİYEVA	Marmara University, Türkiye	RUSSIA'S CORE STRATEGY IN AN ISRAEL/US-IRAN WAR
Dr. Duygu KUTLU	Istanbul Medeniyet University, Türkiye	SECURITIZATION AND INTEGRATION: A COMPARATIVE DISCOURSE ANALYSIS OF REFUGEE GOVERNANCE IN UGANDA AND KENYA
Assoc. Prof. Dr. Erdem ÖZLÜK Assoc. Prof. Dr. Fazlı DOĞAN	Selçuk University, Türkiye	STRUCTURAL BOUNDARIES OF INTERNATIONAL COOPERATION: ANALYZING THE D-8'S CAPACITY FOR COLLECTIVE ACTION
Prof. Dr. Mehmet Emin ERENDOR Yağmur Berfin KAPTAN	Adana Alparslan Türkeş University of Science and Technology, Türkiye	REDEFINING SECURITY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
Asst. Prof. Erdal KILIÇ	National Defense University, Türkiye	CONVERSION OF MILITARY LOGISTICS INFRASTRUCTURE TO CIVIL ECONOMIC ACTIVITIES IN POST-CONFLICT AREAS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TURKEY AND THE MIDDLE EAST (2010-2025)
Asst. Prof. Erdal KILIÇ	National Defense University, Türkiye	SECURITY OF SUPPLY FOR CRITICAL MATERIALS IN THE PERIOD OF GEOPOLITICAL TENSIONS



17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-4

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Dr. Jai Gopal GUPTA		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Jai Gopal GUPTA	National Institute of Technology Sikkim, India	UNDERSTANDING AND MITIGATING EMISSIONS FROM INTERNAL COMBUSTION ENGINES FOR A CLEANER ENVIRONMENT
Asst. Lecturer S. SANTHOSH KUMAR	St. Joseph University in Tanzania, Tanzania	CHALLENGES AND POTENTIAL OF ENERGY TRANSITION OF BIOFUEL PRODUCTION
Srichentan BADUGU M. SURESH Tawseef AHMED Ch. D. SUNIL KUMAR	Bharat Institute of Engineering and Technology, India	BLOCKCHAIN ENABLED SECURE NOTE MANAGEMENT SYSTEM
Sankalp MOHITE Mayur MASKE Sabir SAYYED	Rajarambapu Institute of Technology, India	CRITICAL REVIEW OF FUNCTIONALLY GRADED POLYMER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL
Syed Alamdar Ul Hasnain NAQVI	Government College University Faisalabad, Pakistan	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IOT-BASED VISITOR GUIDANCE SYSTEM FOR LARGE INSTITUTES OR HISTORICAL MONUMENTS
Tenong Gortah ROBERT	Federal University of Technology Minna, Nigeria	APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY STRATEGIES IN DESIGN OF SHOPPING MALL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA
Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI Christopher Oluwatade IJAGBEMI	Federal Polytechnic Ekowe, Nigeria	CROWD CONTROL STRATEGIES FOR CRITICAL FACILITIES IN TERTIARY INSTITUTION: A CASE STUDY OF FUTA MAIN AUDITORIUM
Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI Olatoye Abiodun KOMOLAFE Oluwatoyosi ADEBAJO	Federal Polytechnic Ekowe, Nigeria Ministry of Physical Planning and Urban Development, Nigeria	CHALLENGES OF URBAN HOUSING AND FACILITY PLANNING: A FOCUS ON YENAGOA METROPOLIS OF BAYELSA STATE, NIGERIA



17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-5

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Mimoun BELHADI		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Mimoun BELHADI Mohammed CHAFI Hassane LGAZ Hanseung LEE Said TIGHADOUINI	University Hassan II of Casablanca, Morocco Hanyang University ERICA, South Korea Hassan II University, Morocco	MECHANISTIC INSIGHTS AND PERFORMANCE OF PYRAZOLE-BASED CORROSION INHIBITORS FOR CARBON STEEL IN ACIDIC MEDIA: EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES
Mohamed Amine MEKAOUI Hamid EZ-ZAHRAOUY	Mohammed V University in Rabat, Morocco	ENHANCING THE HYDROGEN STORAGE PROPERTIES OF ZRH_2 THROUGH LITHIUM SUBSTITUTION AND TRIAXIAL STRAIN: A DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY
Mimoun BELHADI Mohammed CHAFI	University Hassan II of Casablanca, Morocco	EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES OF PYRAZOLE DERIVATIVES AS CORROSION INHIBITORS FOR CARBON STEEL IN 1 M HYDROCHLORIC ACID MEDIUM
Usman S RILWAN Michael O ONI Mohamed S SHAGARI Ayuba Umar MUHAMMAD Kabir M TAFIDA	Ahmadu Bello University, Nigeria Federal University of Education, Nigeria	FRACTIONAL-ORDER MODELING AND STABILITY ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE DYNAMICS WITH TREATMENT INTERVENTION
Djellouli AMIR Berredjem YAMINA Yagoub MOHAMED Guesmia HADJER	Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions, Algeria	NITROPHENOL ADSORPTION USING FIXED-BED COLUMNS AND INEXPENSIVE ACTIVATED CARBON IN BATCHES



17.04.2026, Friday, Online Session-2, Hall-6

Cairo Local Time: ***11:30-13:30***

Ankara Local Time: ***12:30-14:30***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Dr. Zumaira SIDDIQUE		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
El.Majdi S. ZERRAF Said BELAAOUAD	Hassan II University of Casablanca, Morocco	CRYSTAL STRUCTURE, X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS, AND COMPUTATIONAL STUDY OF A NEW ORGANIC–INORGANIC COMPOUND: 2-ETHYL-N-PHENYLMETHANAMINIUM DIHYDROGEN PHOSPHITE
Roseline T. ABAH Ibrahim ALIYU	University of Abuja, Nigeria	MODELING MALARIA TRANSMISSION DYNAMICS INCORPORATING INSECTICIDE RESISTANCE IN MOSQUITO VECTORS
Ashaa Dr. Zumaira SIDDIQUE Dr. Fozia ANJUM	Government College University Faisalabad, Pakistan	SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC EXPLORATION OF HALIDE-BASED DOUBLE PEROVSKITE MATERIALS
Agbo Christiana Ene AGBO Abah Roseline Toyin ABAH	University of Abuja, Nigeria	SENSITIVITY ANALYSIS AND NUMERICAL SIMULATION OF SEIR MODEL FOR CARDIOVASCULAR DISEASE DYNAMICS
AbdulRahman Mohammed UMAR Saimah KHAN	Integral University, India	DESIGN AND BIOLOGICAL EVALUATION OF PYRAZOLE-DERIVED HETEROCYCLES AS ANTICANCER AND ANTI-INFLAMMATORY AGENTS
AissaoUI M'dala Dalal AISSAOUI	University of Batna 2, Algeria	FROM MOLECULE TO MEANING: A PHARMACIST-LED FRAMEWORK FOR GENERATIVE AI IN ONCOLOGY EDUCATION – BRIDGING MEDICINAL CHEMISTRY AND VISUAL STORYTELLING
Dr. Patrycja WIDŁAK Prof. (Assoc.) PhD. Anna KOPICZKO Dr. Marzena MALARA	Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Poland	ARE FUNCTIONAL TESTS ENOUGH? THE ROLE OF BIOCHEMICAL MARKERS IN ASSESSING THE CONDITION OF TEAM SPORT ATHLETES



17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-1

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Tülün MALKOÇ		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Prof. Dr. Abbas SEYİDOV Dr. Leyla RUSTAMOVA	Baku Engineering University, Azerbaijan State Pedagogical University, Azerbaijan	FROM OUR HISTORICAL AND ARCHAEOLOGICAL HERITAGE: TRACES OF THE PROPHET NOAH IN NAKHCHIVAN
Turkane Muqasif SHARBATOVA	Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan	CORPUS-BASED AI TOOLS FOR ACADEMIC ENGLISH DEVELOPMENT
Prof. Dr. Ali Günay BALIM Prof. Dr. Yasin ÖZARSLAN Ece ALTAY Betül ÖZTAŞ	Dokuz Eylül University, Yaşar University, Türkiye	FROM DESIGN TO SOFTWARE: THE PROCESS OF DEVELOPING VUFORIA-BASED AUGMENTED REALITY MATERIALS WITH SCIENCE TEACHER CANDIDATES WITHIN THE SCOPE OF THE TÜBİTAK 3005 PROJECT
Dr. Mehmet ARSLAN	Independent Researcher, Türkiye	TÜRKİYE'S POSITION IN WORLD WAR II: A CARTOON ANALYSIS OF THE 1943 CAIRO CONFERENCE
Dr. Mehmet ARSLAN	Independent Researcher, Türkiye	TÜRKİYE AND THE STRATEGY TO PREVENT A THIRD WORLD WAR IN 1949 U.S. STATE DEPARTMENT POLICY PAPERS
Dr. Tamer KIVILCIM Prof. Dr. Tülün MALKOÇ Asst. Prof. Dr. Serkan AYDIN	Air Force Band Command, Marmara University, Türkiye	THE EFFECT OF STEAM+E² BASED MUSIC ACTIVITIES PREPARED WITHIN THE CONTEXT OF VALUES EDUCATION ON CHILDREN'S PROBLEM-SOLVING SKILLS



17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-2

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Ceyda Aysuna TÜRKYILMAZ		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Dr. Devrim RODOP	Beykoz University, Türkiye	EFFECTS OF REENGINEERING APPLICATION ON BUSINESS RESULTS IN THE BANKING SECTOR
Asst. Prof. Dr. Sultan SALUR KÜÇÜK	Sinop University, Türkiye	WOMEN'S EMPLOYMENT IN A TRANSFORMING LABOR MARKET: THE CASE OF TÜRKİYE
Asst. Prof. Dr. Sultan SALUR KÜÇÜK	Sinop University, Türkiye	POTENTIAL EFFECTS OF INDUSTRY 5.0 ON ECONOMIC GROWTH: IMPLICATIONS FOR TURKEY
Bozkurt Oğuz DİJLE Prof. Dr. Ceyda Aysuna TÜRKYILMAZ Assoc. Prof. Abdullah BALLI Prof. Dr. Serdar PİRTİNİ	Üsküdar University, Marmara University, Ostim Technical University, Türkiye	A BIOMETRICALLY TRAINED AI FRAMEWORK FOR PL PACKAGING OPTIMIZATION: INVESTIGATING THE HALO EFFECT THROUGH A QUALITATIVE INQUIRY
Dr. Lecturer Bahar ARABACI	Kırklareli University, Türkiye	ALGORITHMIC MANAGEMENT AND EMPLOYEE VOICE: A CONCEPTUAL PERSPECTIVE
Shahad Yasir Mohsin AL BAKRI	Istanbul Aydın University, Türkiye	ACTIVATION OF THE TRIGGER MECHANISM AND ITS IMPACT ON THE IRANIAN ECONOMY



17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-3

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Aslıhan ZINDEREN		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Res. Asst. Dr. Merve ÖZTÜRK	Batman University, Türkiye	REGIONAL IMPACTS OF EU ARTIFICIAL INTELLIGENCE FUNDING: ÎLE-DE-FRANCE AND PODKARPACKIE
Res. Asst. Dr. Merve ÖZTÜRK	Batman University, Türkiye	THE NEW ROLE OF NUCLEAR ENERGY IN THE EUROPEAN UNION'S ENERGY SECURITY: THE CASE OF POLAND
Assoc. Prof. Dr. Aslıhan ZINDEREN	Atatürk University, Türkiye	GAZA IN DATA JOURNALISM REPORTS
Sara MOHAMMADIAN	Istanbul Nişantaşı University, Türkiye	FEMALE REPRESENTATION OF WOMEN AND CONSTRUCTION OF GENDER IN 2025 IRANIAN TELEVISION ADVERTISEMENTS: A SEMIOTIC ANALYSIS OF CLEANING PRODUCTS
Assoc. Prof. Selman Selim AKYÜZ	Selçuk University, Türkiye	PERCEIVED REALITY IN AI-GENERATED VIDEOS: AN ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA USER RESPONSES
Zafer Furkan ARSLAN	Marmara University, Türkiye	FROM DEMOCRACY TO ALGOCRACY: GOVERNANCE IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE



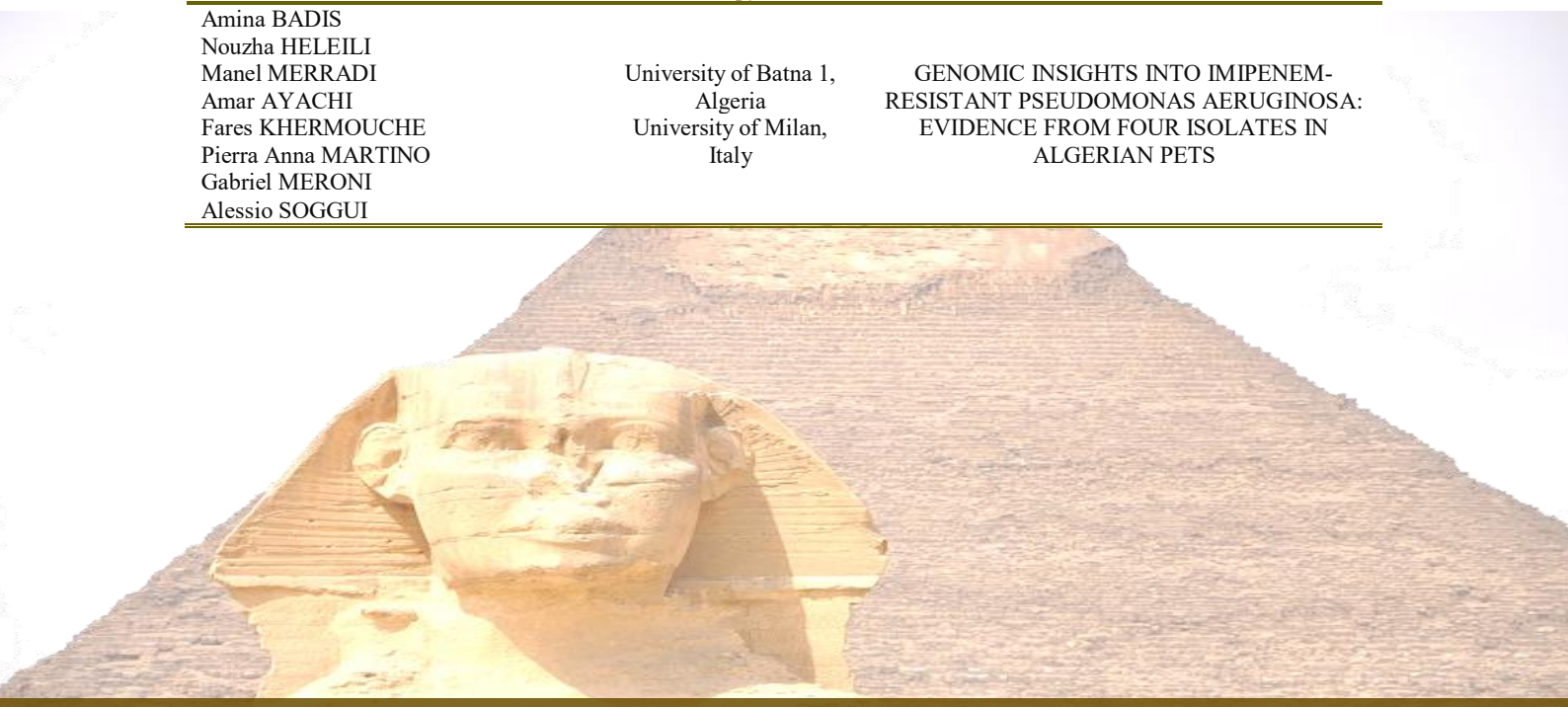
17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-4

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Marián AMBROZY		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Assoc. Prof. Dr. Marián AMBROZY	Institute of Technology and Business, Slovakia	PLANTINGA´S USE OF INDUCTIVE ARGUMENTS IN THE FIELD OF THEOLOGIA NATURALIS
Major Gheorghe GIURGIU Prof. Dr. Manole COJOCARU	Deniplant-Aide Sante Medical Center, Romania	NATURAL MODULATION OF THE GUT MICROBIOTA IN PATIENTS WITH FOOD ALLERGIES. IMPACT OF ALERGIPLANT
Mr David John WORTLEY	360in360 Immersive Experiences, United Kingdom	THE ROLE OF AI AND WEARABLE TECHNOLOGIES IN THE FUTURE OF PUBLIC HEALTH
Abubakar ABDULKADIR	Umaru Musa Yar'adua University, Nigeria	BETWEEN WAHM AND INHIBITION: IBN SĪNĀ'S TRIPARTITE ANTHROPOLOGY AND THE PSYCHOLOGY OF EXECUTIVE CONTROL
Amal AOUMRANI Ahlam ZARHOUTI Bouchra EL KHALFI Abdelaziz SOUKRI	Hassan II University of Casablanca, Morocco	EXPLORING THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF MEDICINAL PLANTS IN MALE REPRODUCTIVE FUNCTION
Rita FILES Ricardo OLIVEIRA Catarina NUNES Maria CARDOSO Luana MARTINS Gabriela MAIA Isabel PIRES	University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Portugal	THE DUAL ROLE OF MAST CELLS IN TUMORIGENESIS: IMPLICATIONS FOR VETERINARY ONCOLOGY
Rita FILES Isabel PIRES	University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Portugal	CITIZEN SCIENCE IN VETERINARY MEDICINE: ASSESSING DOG OWNERS' AWARENESS OF CANINE BLADDER TUMORS
Prof. Alexander PLAKIDA Svetlana TRAPEZNIKOVA Victoria CHERNYAK	Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Resort Therapy, Ukraine	USE OF INTERACTIVE DIGITAL SYSTEMS IN THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH CONSEQUENCES OF TRAUMATIC BRAIN INJURY
Amina BADIS Nouzha HELEILI Manel MERRADI Amar AYACHI Fares KHERMOUCHE Pierra Anna MARTINO Gabriel MERONI Alessio SOGGUI	University of Batna 1, Algeria University of Milan, Italy	GENOMIC INSIGHTS INTO IMIPENEM-RESISTANT PSEUDOMONAS AERUGINOSA: EVIDENCE FROM FOUR ISOLATES IN ALGERIAN PETS



17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-5

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Adriatik DERJAJ		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Lic. Karla Ivonne ALVARADO PADRÓN Dr. Yazmín Isolda ÁLVAREZ GARCÍA	Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Mexico	EVOLUTION OF PUBLIC OFFICIALS' ASSETS IN TABASCO: AN EXISTING LEGAL MECHANISM THAT IS RARELY APPLIED
Dr. Hanane RAHMOUNI	University of Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Algeria	UNDERSTANDING YOUR ENVIRONMENT, ENSURING THE FUTURE SUCCESS OF YOUR PROJECT
Flavian CLIPA Raluca Irina CLIPA	Ion Ionescu de la Brad University of Life Sciences, Romania Alexandru Ioan Cuza University of Iasi, Romania	PUBLIC EXTERNAL AUDIT IN IMPLEMENTING SDG 2 IN EU
Ines Kartika DEWI Chelsea Aulia ZAHRA Mercurius Broto LEGOWO	Perbanas Institute, Indonesia	THE STUDY OF THE NATIONAL PAYMENT ECOSYSTEM IN INDONESIA: DIGITAL TRANSFORMATION AND FINANCIAL INCLUSION PERSPECTIVE
Shakirullah Sabeeha HADI	Abasyn University, Pakistan	FOREGROUNDING THROUGH LEXICAL REPETITION: A STYLISTIC ANALYSIS OF A DREAM WITHIN A DREAM BY EDGAR ALLAN POE
Dr. Lamia HARROUCHE	University of Tizi Ouzou, Algeria	TURKEY'S SOFT POWER STRATEGY IN ALGERIA: TOOLS AND IMPACT
Assoc. Prof. Dr. Adriatik DERJAJ	Tirana University, Albania	A NEW PERSPECTIVE ON ORIENTAL STUDIES IN THE BALKANS
Dr. Anwesha GHOSH Dr. Moumita Rout MAJUMDAR	Amity University Mumbai, India	EMPOWERING ASIA'S RISE THROUGH GREEN ANTITRUST: INDIA'S PATH TO SUSTAINABLE AND FAIR MARKETS



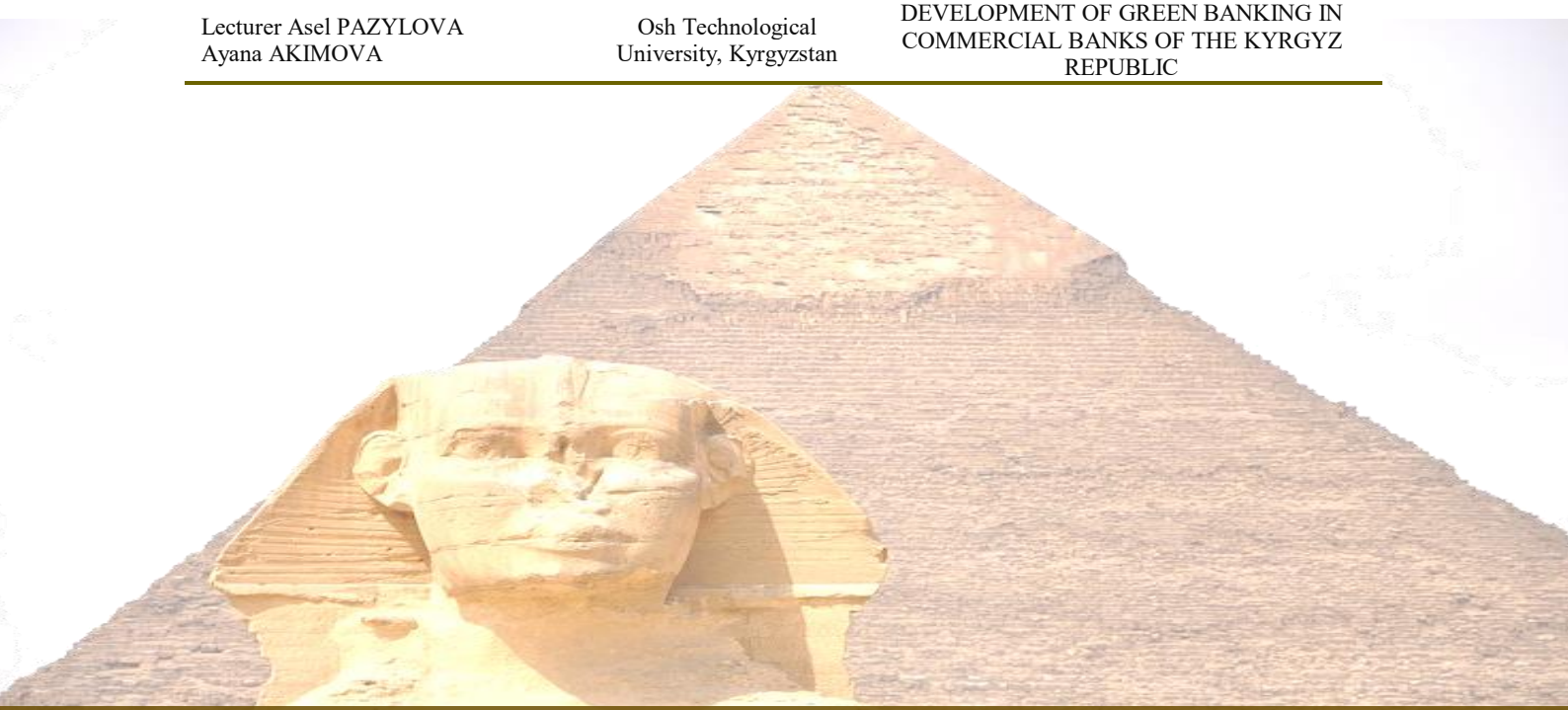
17.04.2026, Friday, Online Session-3, Hall-6

Cairo Local Time: ***14:00-16:00***

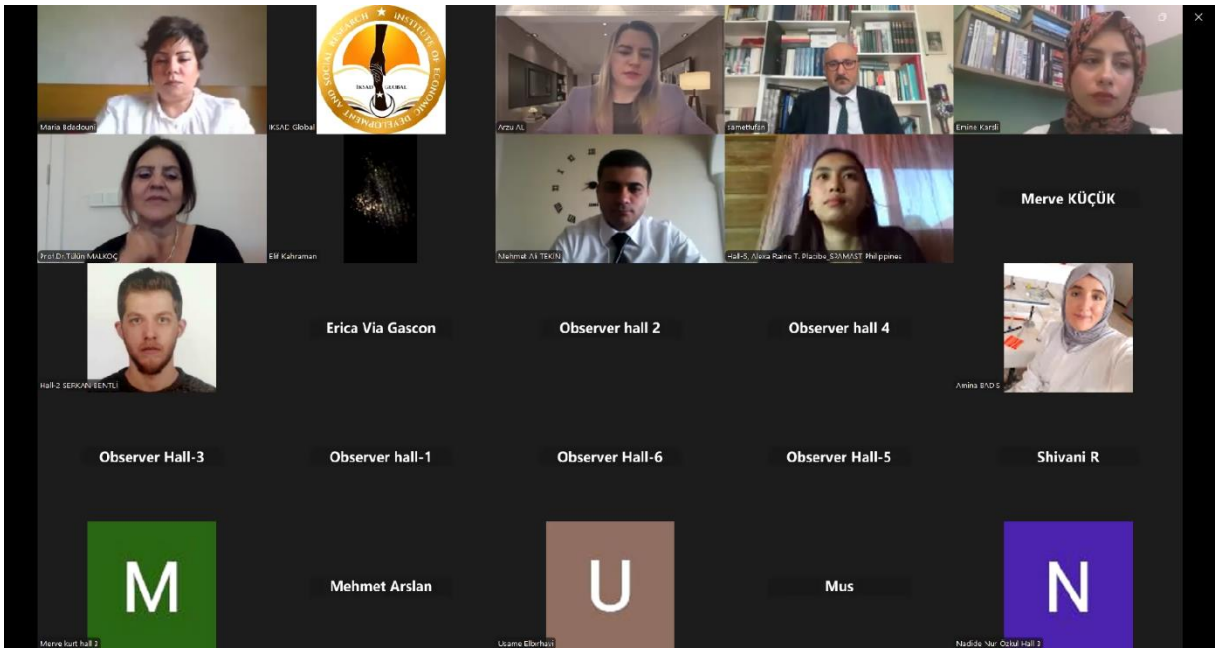
Ankara Local Time: ***15:00-17:00***

Meeting ID: 860 5266 6988 / Passcode: 171717

HEAD OF SESSION: Lara Haitham BARHAM		
AUTHOR(S)	**ORGANISATION**	**TOPIC TITLE**
Festus Chibuike ONUEGBU	Nnamdi Azikiwe University Awka, Nigeria	LEGITIMATIZING LOOTING: BETWEEN REPATRIATION AND CUSTODIANSHIP OF AFRICAN ART IN EUROPE
Maribel CAICEDO	Latin American Faculty of Social Sciences, Ecuador	POVERTY AS A DETERMINANT OF DOMESTIC FIREWOOD CONSUMPTION AND ITS EFFECT ON THE FORESTS OF ECUADOR
Prof. Ndubuisi-Okolo Purity U. Grace NWANONIGWE AKAEGBBOBI Dr. Attah Emmanuel YUSUF	Nnamdi Azikiwe University, Nigeria Veritas University, Nigeria	DIGITAL ENTREPRENEURSHIP CAPABILITIES, INSTITUTIONAL VOIDS, AND PRODUCTIVITY DYNAMICS IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES: A MULTILEVEL STRUCTURAL EQUATION AND CAUSAL MEDIATION ANALYSIS FROM AN EMERGING ECONOMY PERSPECTIVE
Lara Haitham BARHAM	University of Pecs, Hungary	LEVERAGING GAMIFICATION FOR ENHANCED EMPLOYEE ENGAGEMENT, RECRUITMENT, AND PERFORMANCE: A STUDY ON HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES IN JORDANIAN ORGANIZATIONS
Malek Mohammed GHAZO	University of Pecs, Hungary	ADVANCING SUSTAINABILITY THROUGH CIRCULAR ECONOMY AND ORGANIZATIONAL EXCELLENCE: INSIGHTS FROM JORDAN'S PRIVATE SECTOR
Prof. Dr. Satybaldy OMURZAKOV Lecturer Asel PAZYLOVA	International University named after K.Sh. Toktomamatov, Kyrgyzstan Osh Technological University, Kyrgyzstan	THE ROLE OF FOREIGN INVESTMENT IN THE ECONOMY OF KYRGYZSTAN
Lecturer Asel PAZYLOVA Ayana AKIMOVA	Osh Technological University, Kyrgyzstan	DEVELOPMENT OF GREEN BANKING IN COMMERCIAL BANKS OF THE KYRGYZ REPUBLIC

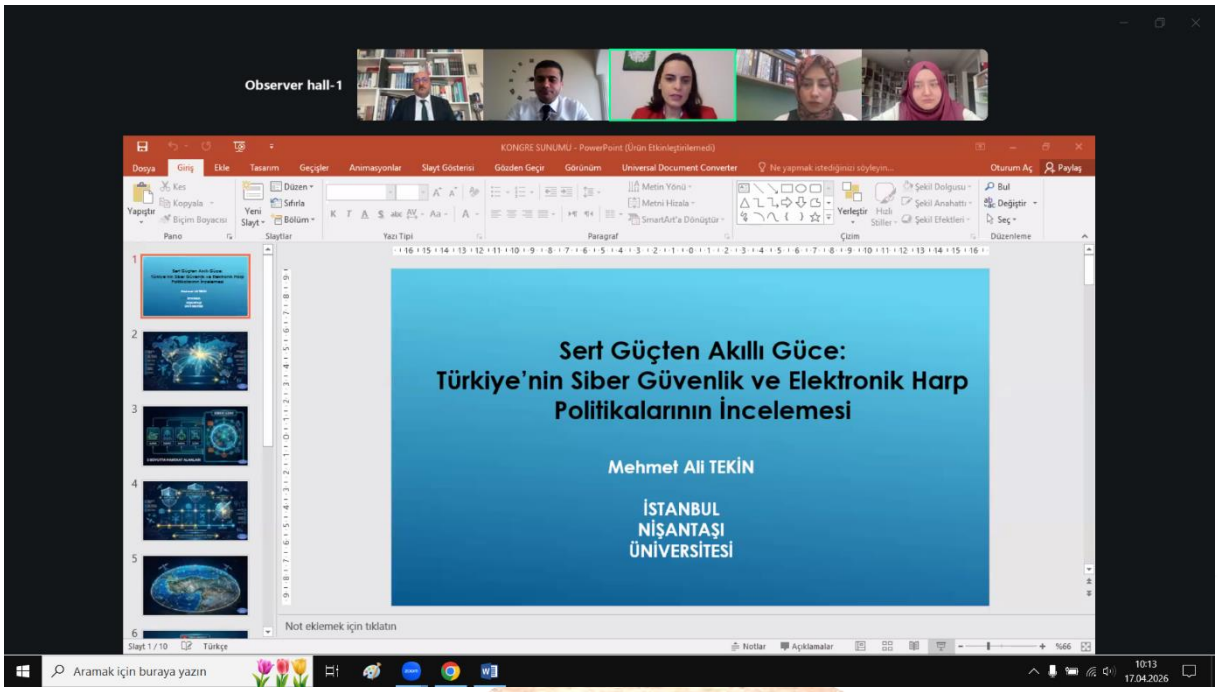


CONFERENCE GALERY

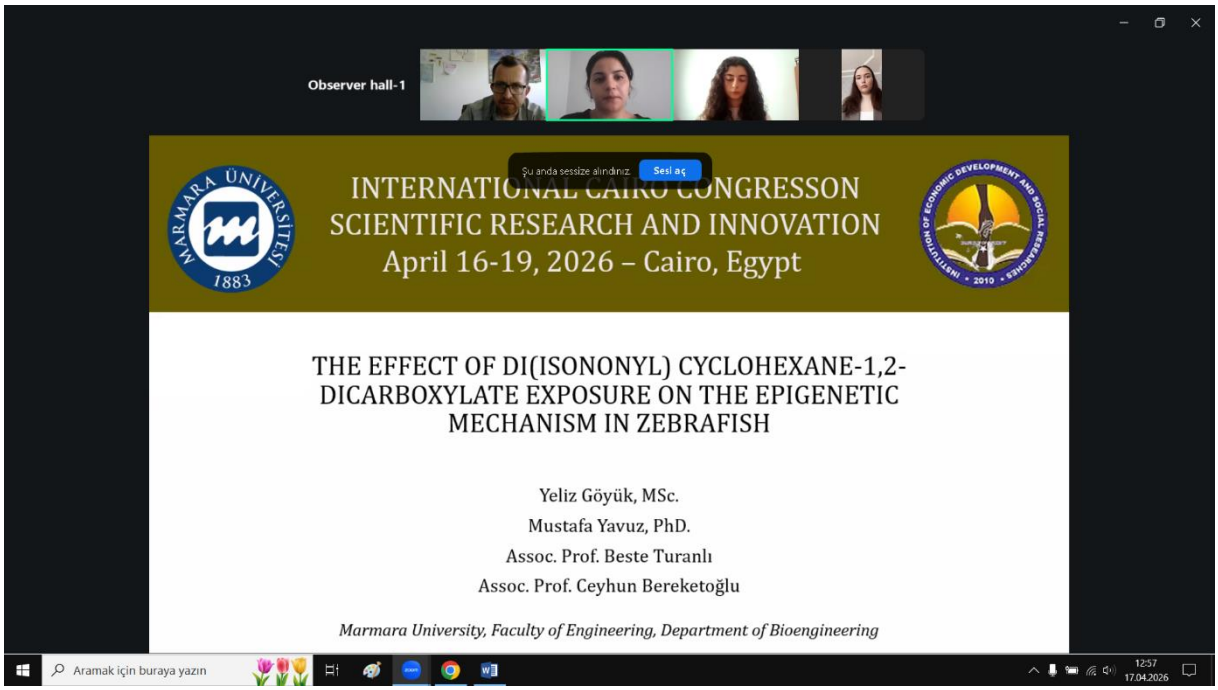


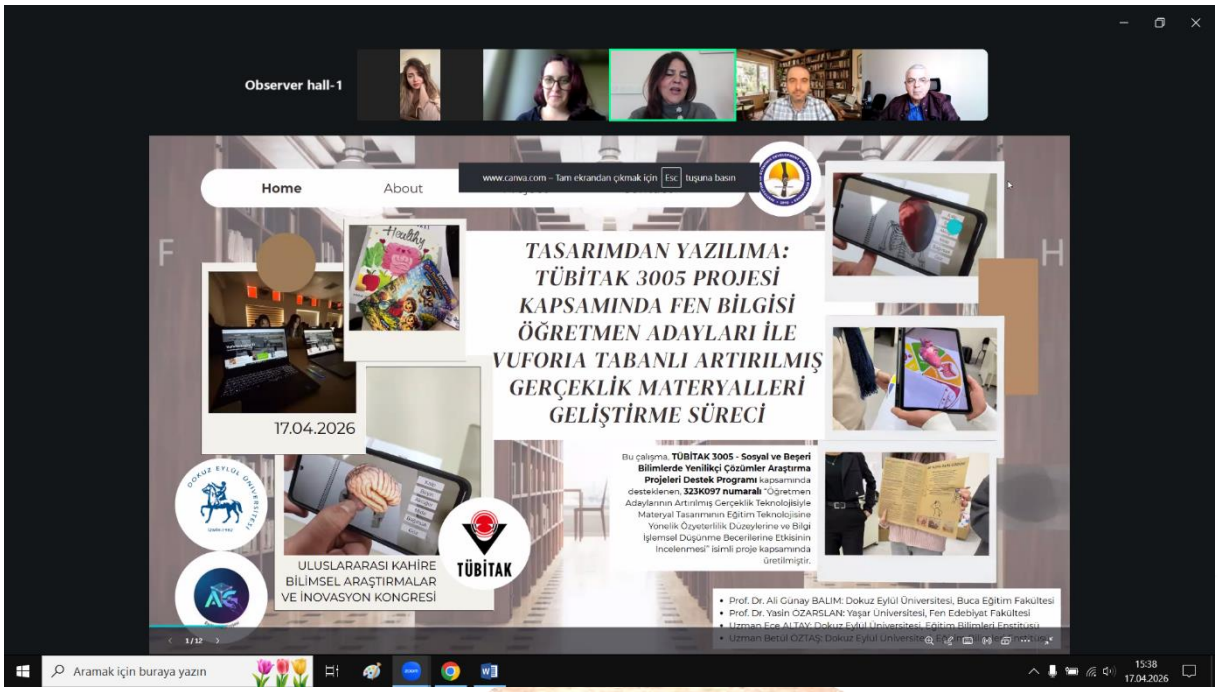



Observer hall-1
Aramak için buraya yazın
11:22
17.04.2026

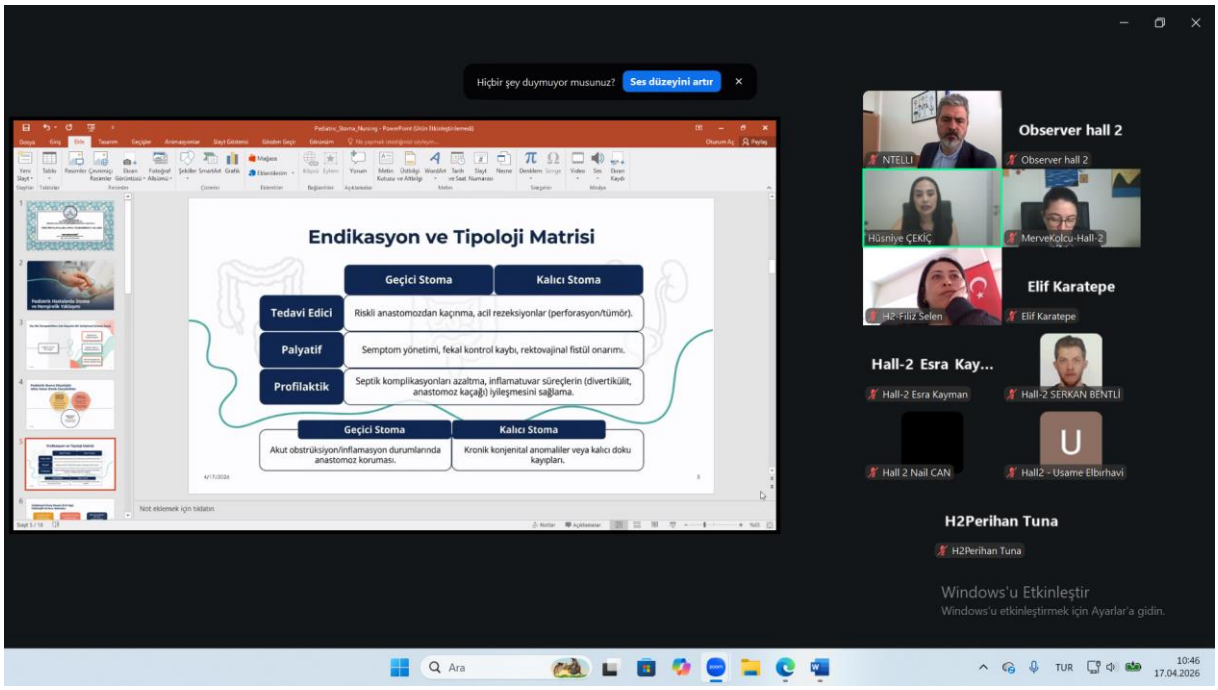

Observer hall-1
Sert Güçten Akıllı Güce:
Türkiye'nin Siber Güvenlik ve Elektronik Harp Politikalarının İncelemesi
Mehmet Ali TEKİN
İSTANBUL
NİŞANTAŞI
ÜNİVERSİTESİ
Not eklemek için tıklatın
Aramak için buraya yazın
10:13
17.04.2026

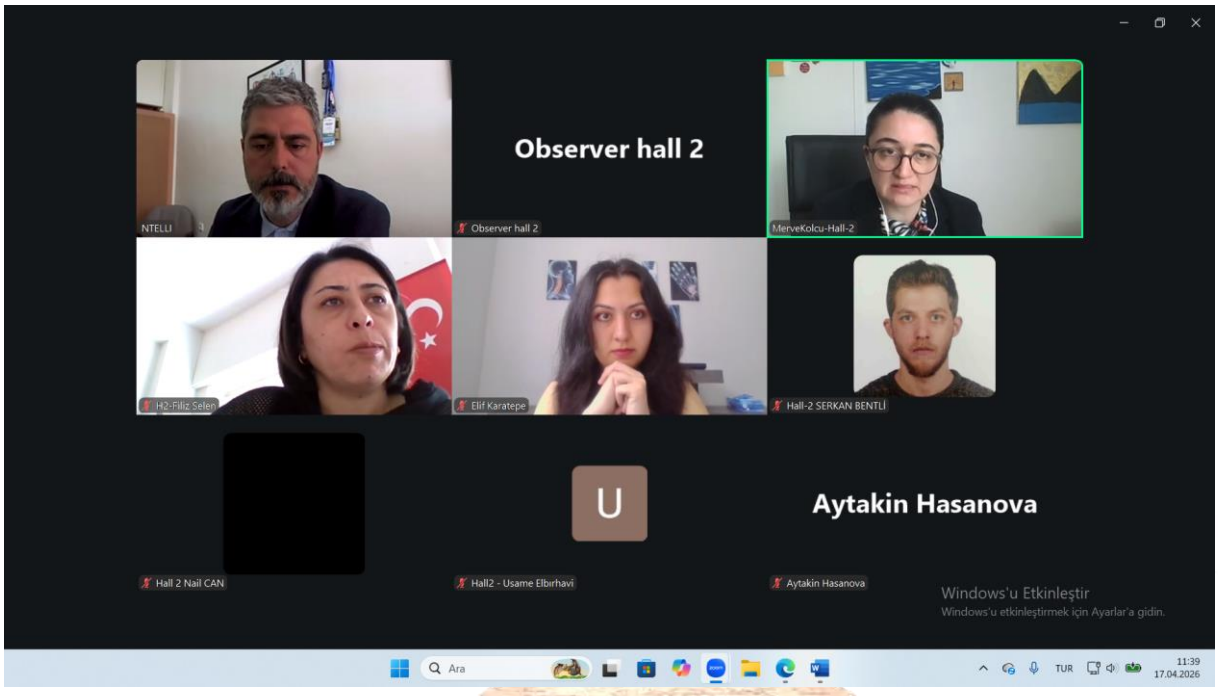



Observer hall-1
Şu anda sessize alındınız
Sesi aç
INTERNATIONAL CAIRO CONGRESSON
SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION
April 16-19, 2026 – Cairo, Egypt
THE EFFECT OF DI(ISONONYL) CYCLOHEXANE-1,2-DICARBOXYLATE EXPOSURE ON THE EPIGENETIC MECHANISM IN ZEBRAFISH
Yeliz Göyük, MSc.
Mustafa Yavuz, PhD.
Assoc. Prof. Beste Turanlı
Assoc. Prof. Ceyhun Bereketoğlu
Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering
Aramak için buraya yazın
12:57
17.04.2026

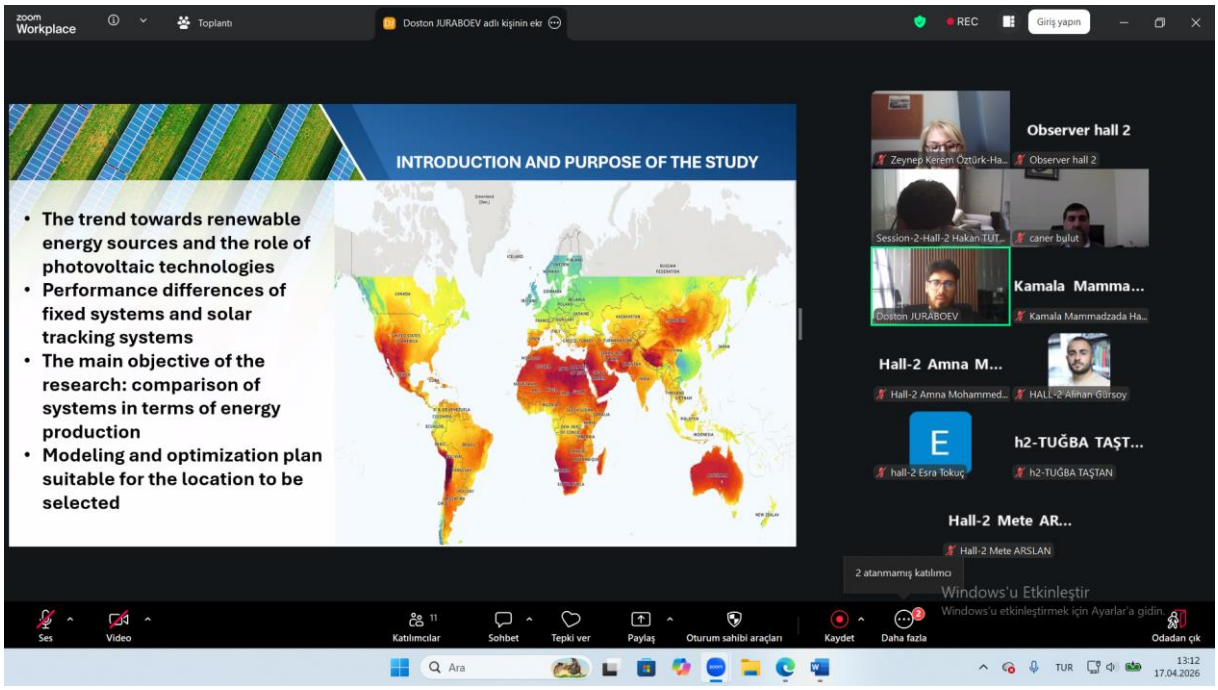

Observer hall-1
Home
About
www.canva.com – Tam ekrandan çıkmak için Esc tuşuna basın
TASARIMDAN YAZILIMA: TÜBİTAK 3005 PROJESİ KAPSAMINDA FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARI İLE VUFORIA TABANLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK MATERYALLERİ GELİŞTİRME SÜRECİ
17.04.2026
ULUSLARARASI KAHİRE BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ
TÜBİTAK
Bu çalışma, TÜBİTAK 3005 - Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenen, 323K097 numaralı "Öğretmen Adaylarının Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle Materyal Tasarımının Eğitim Teknolojisine Yönelik Özyeterlilik Düzeylerine ve Bilgi İşlemsel Düşünme Becerilerine Etkisinin İncelenmesi" isimli proje kapsamında üretilmiştir.
Prof. Dr. Ali Günay BALIM: Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi
Prof. Dr. Yasin OZARSLAN: Yaşar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi
Uzman Ece ALTAY: Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Uzman Betül OZTAŞ: Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü
Aramak için buraya yazın
15:38
17.04.2026

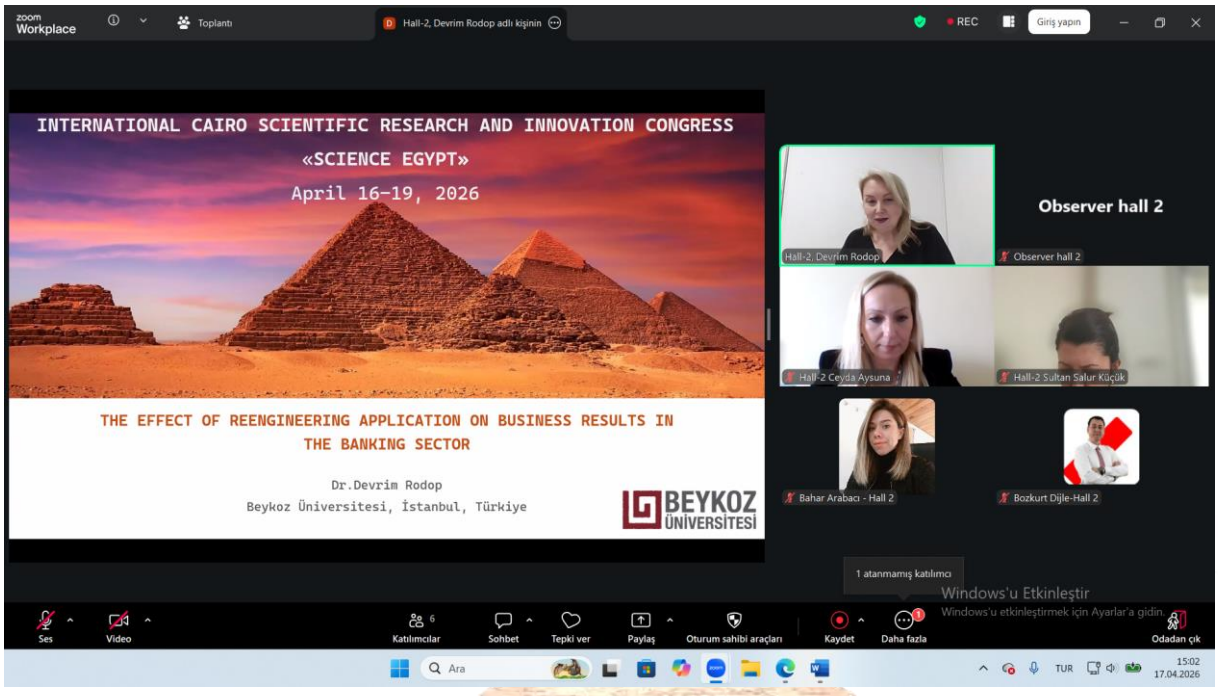



Hiçbir şey duymuyor musunuz?
Ses düzeyini artır
Endikasyon ve Tipoloji Matrisi
Geçici Stoma
Kalıcı Stoma
Tedavi Edici
Riskli anastomozdan kaçınma, acil rezeksiyonlar (perforasyon/tümör).
Palyatif
Semptom yönetimi, fekal kontrol kaybı, rektovajinal fistül onarımı.
Profilaktik
Septik komplikasyonları azaltma, inflamatuvar süreçlerin (divertikülit, anastomoz kaçağı) iyileşmesini sağlama.
Geçici Stoma
Kalıcı Stoma
Akut obstrüksiyon/inflamasyon durumlarında anastomoz koruması.
Kronik konjenital anomaliler veya kalıcı doku kayıpları.
Observer hall 2
NTELLI
Observer hall 2
Hüsniye ÇEKİÇ
MerveKolcu-Hall-2
Elif Karatepe
H2-Filiz Selen
Elif Karatepe
Hall-2 Esra Kay...
Hall-2 Esra Kayman
Hall-2 SERKAN BENTLİ
Hall 2 Nail CAN
Hall2 - Usame Elbirhavi
H2Perihan Tuna
H2Perihan Tuna
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.
Ara
TUR
10:46
17.04.2026

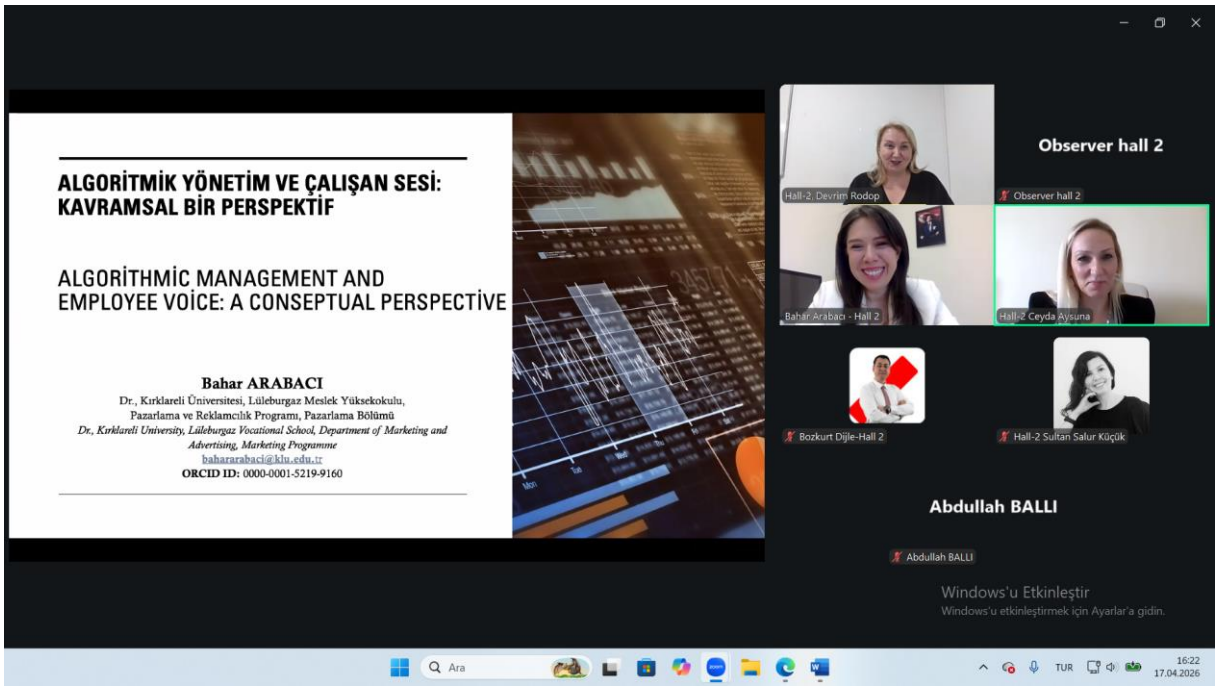

Observer hall 2
NTELLI
Observer hall 2
MerveKolcu-Hall-2
H2-Filiz Selen
Elif Karatepe
Hall-2 SERKAN BENTLİ
Hall 2 Nail CAN
Hall2 - Usame Elbirhavi
Aytakin Hasanova
Aytakin Hasanova
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.
Ara
TUR
11:39
17.04.2026



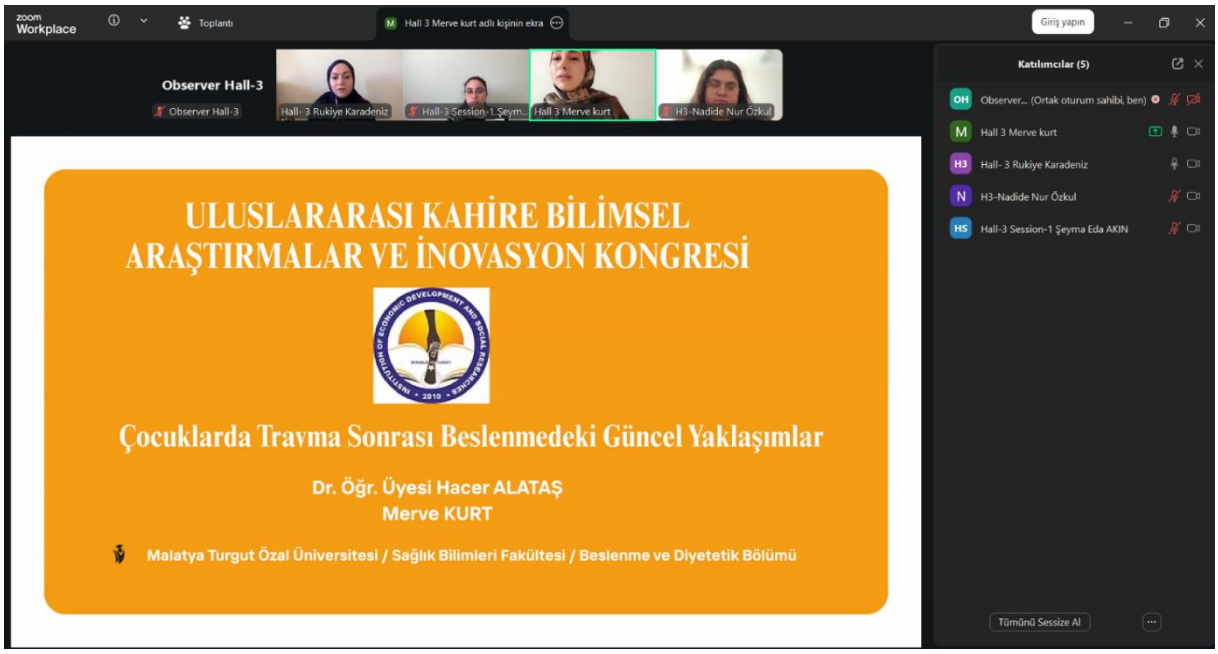

INTRODUCTION AND PURPOSE OF THE STUDY
• The trend towards renewable energy sources and the role of photovoltaic technologies
• Performance differences of fixed systems and solar tracking systems
• The main objective of the research: comparison of systems in terms of energy production
• Modeling and optimization plan suitable for the location to be selected
Observer hall 2
Kamala Mamma...
Hall-2 Amna M...
h2-TUĞBA TAŞT...
Hall-2 Mete AR...
2 atanmamış katılımcı


INTERNATIONAL CAIRO SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
«SCIENCE EGYPT»
April 16-19, 2026
THE EFFECT OF REENGINEERING APPLICATION ON BUSINESS RESULTS IN THE BANKING SECTOR
Dr.Devrim Rodop
Beykoz Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
BEYKOZ ÜNİVERSİTESİ
Observer hall 2
1 atanmamış katılımcı

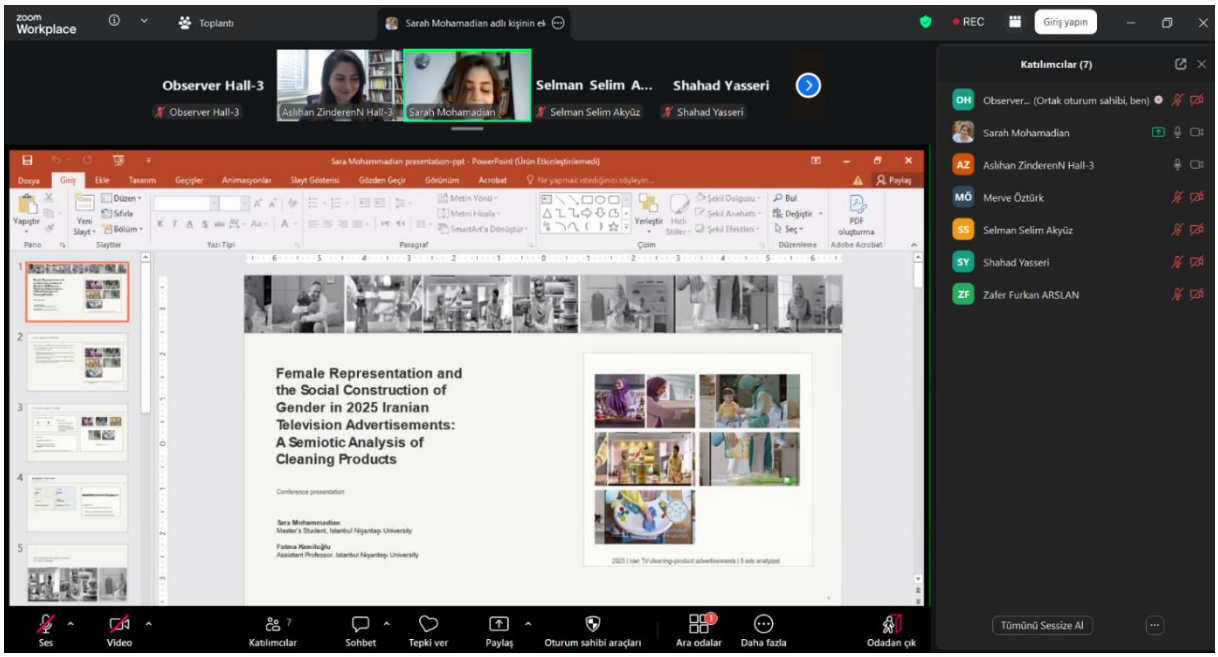


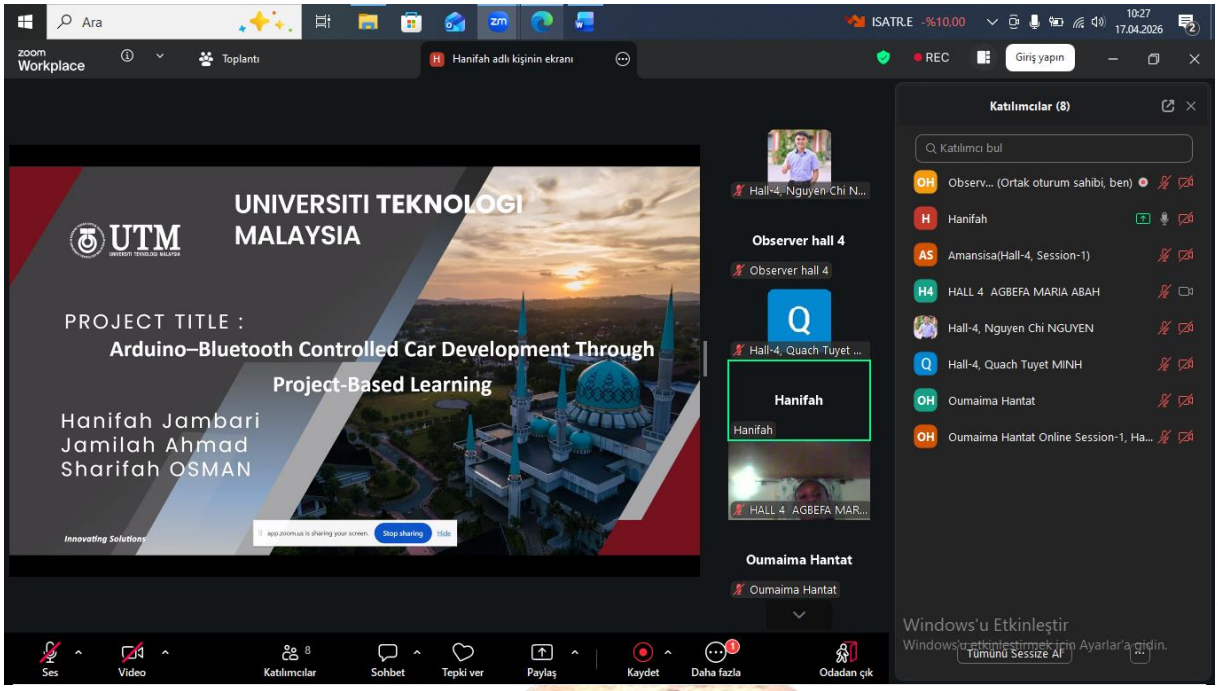

ALGORİTMİK YÖNETİM VE ÇALIŞAN SESİ: KAVRAMSAL BİR PERSPEKTİF
ALGORİTHMİC MANAGEMENT AND EMPLOYEE VOİCE: A CONSEPTUAL PERSPECTİVE
Bahar ARABACI
Dr., Kırklareli Üniversitesi, Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Reklamcılık Programı, Pazarlama Bölümü
Dr., Kirklareli University, Lüleburgaz Vocational School, Department of Marketing and Advertising, Marketing Programme
bahararabaci@klu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-5219-9160
Observer hall 2
Hall-2, Devrim Rodop
Observer hall 2
Bahar Arabacı - Hall 2
Hall-2 Ceyda Aysuna
Bozkurt Dijle-Hall 2
Hall-2 Sultan Salur Küçük
Abdullah BALLI
Abdullah BALLI
Windows'u Etkinleştir
Windows'u etkinleştirmek için Ayarlar'a gidin.
Ara
TUR
16:22
17.04.2026


zoom Workplace
Toplantı
Hall 3-Sababa Fatima adlı kişinin
REC
Giriş yapın
Observer Hall-3
Observer Hall-3
Hall- 3 Rukiye Karadeniz
Hall-3 Session-1 Şeym...
Hall 3-Sababa Fatima
H3-Nadide Nur Özkul
Katılımcılar (6)
Observer... (Ortak oturum sahibi, ben)
Hall 3-Sababa Fatima
Hall- 3 Rukiye Karadeniz
H3-Nadide Nur Özkul
Hall 3 Merve kurt
Hall-3 Session-1 Şeyma Eda AKIN
Feeding Factors as Drivers of Microbial Dynamics in the Ruminant Digestive System
Sababa FATIMA and Prof.Dr. İsmail BAYRAM
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases,
Faculty of Veterinary Medicine, Afyon Kocatepe University, Türkiye
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık
Tümünü Sessize Al

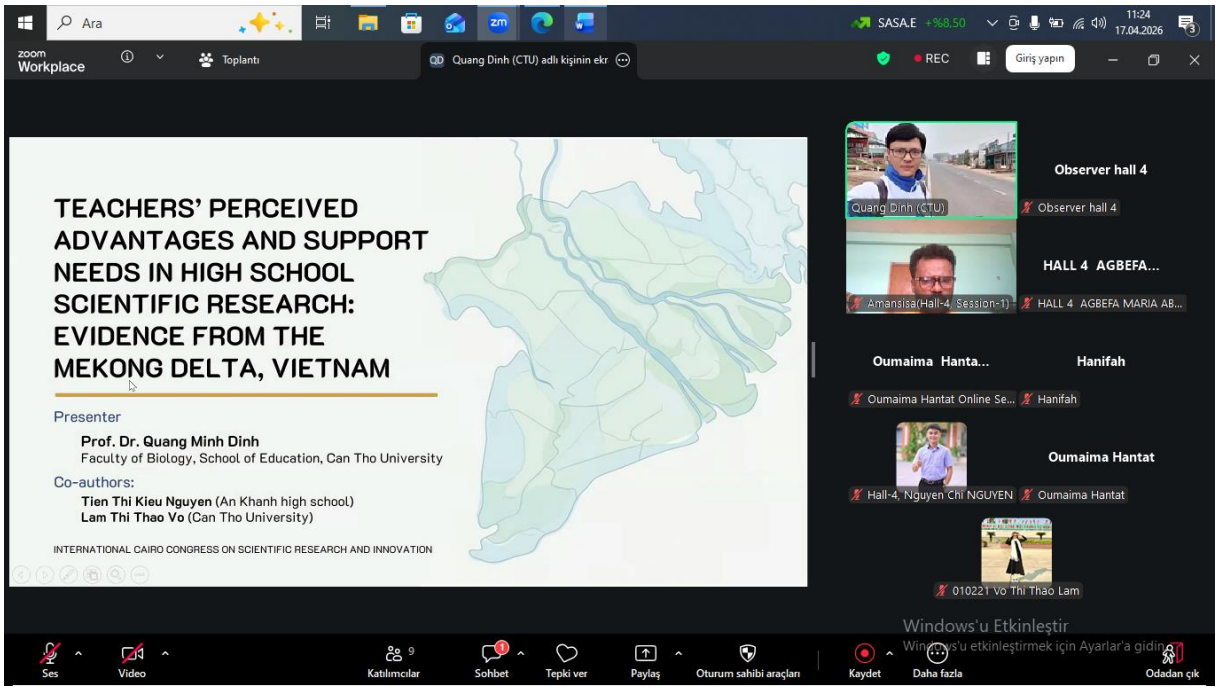

Observer Hall-3
ULUSLARARASI KAHİRE BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ
Çocuklarda Travma Sonrası Beslenmedeki Güncel Yaklaşımlar
Dr. Öğr. Üyesi Hacer ALATAŞ
Merve KURT
Malatya Turgut Özal Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Fakültesi / Beslenme ve Diyetetik Bölümü
Katılımcılar (5)
Tümünü Sessize Al

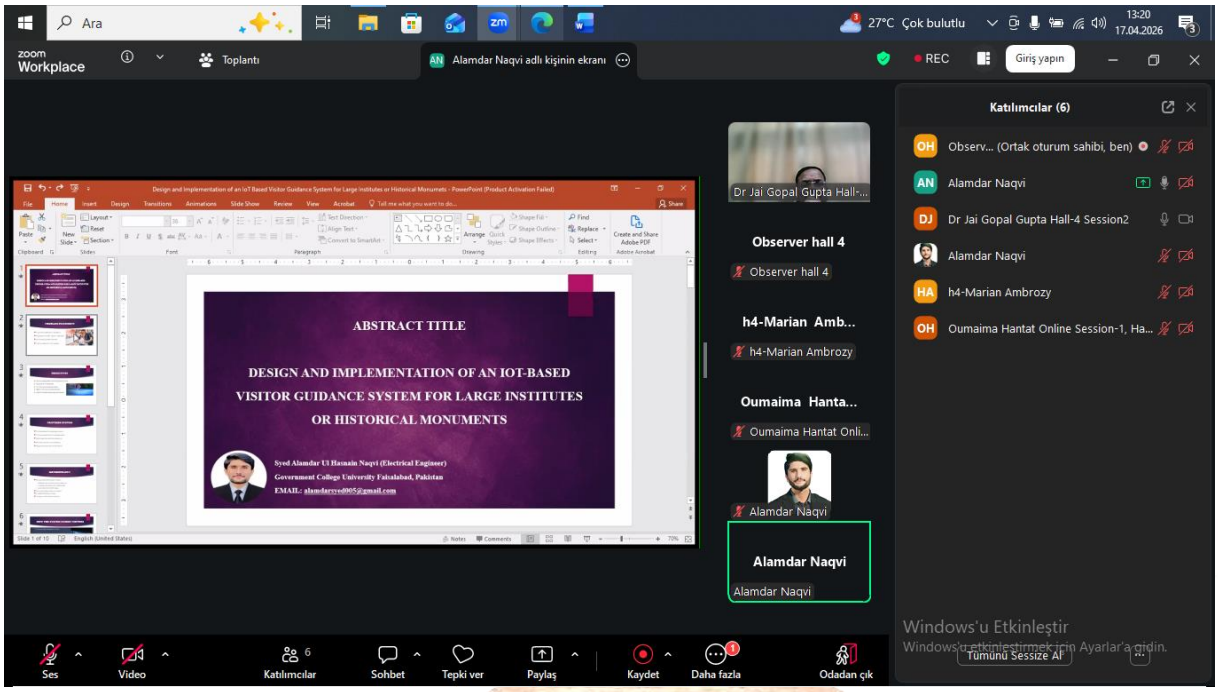

Observer Hall-3
Katılımcılar (8)
Tümünü Sessize Al


Observer Hall-3
Selman Selim A...
Shahad Yasseri
Female Representation and the Social Construction of Gender in 2025 Iranian Television Advertisements: A Semiotic Analysis of Cleaning Products
Katılımcılar (7)
Observer... (Ortak oturum sahibi, ben)
Sarah Mohamadian
Aslıhan ZinderenN Hall-3
Merve Öztürk
Selman Selim Akyüz
Shahad Yasseri
Zafer Furkan ARSLAN
Tümünü Sessize Al
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

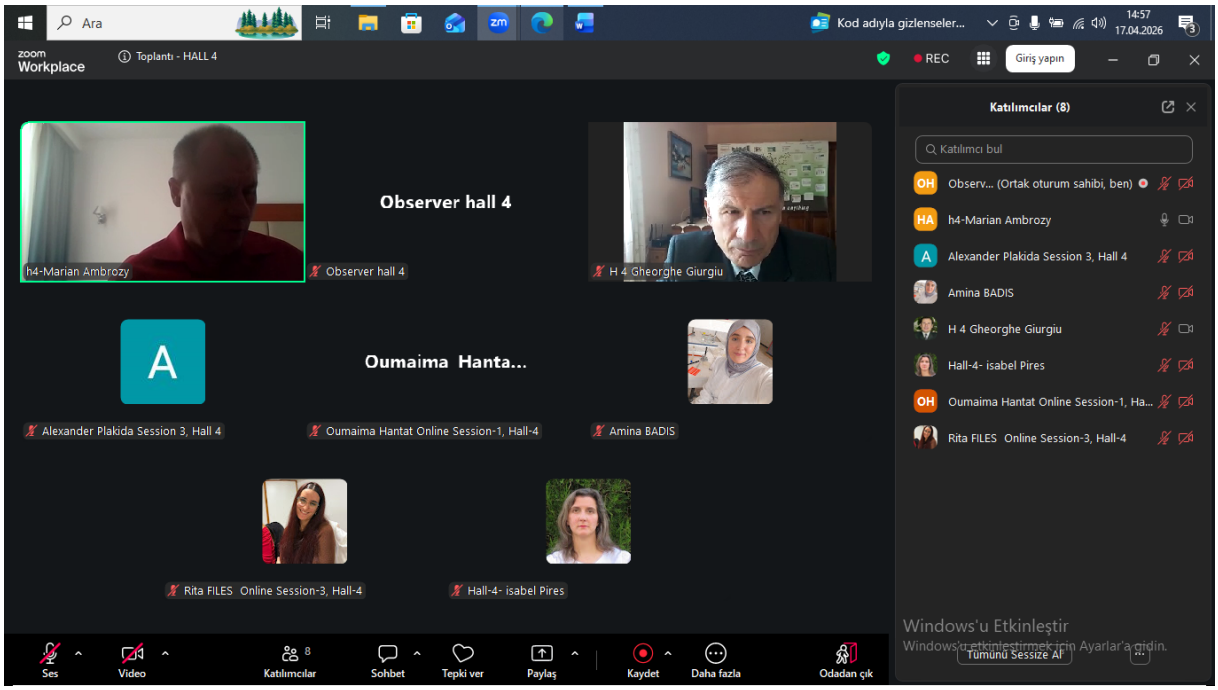

UNIVERSITI TEKNOLOGI MALAYSIA
PROJECT TITLE :
Arduino–Bluetooth Controlled Car Development Through Project-Based Learning
Hanifah Jambari
Jamilah Ahmad
Sharifah OSMAN
Innovating Solutions
Katılımcılar (8)
Observer hall 4
Hanifah
Oumaima Hantat
Windows'u Etkinleştir
Tümünü Sessize Al
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Kaydet
Daha fazla
Odadan çık

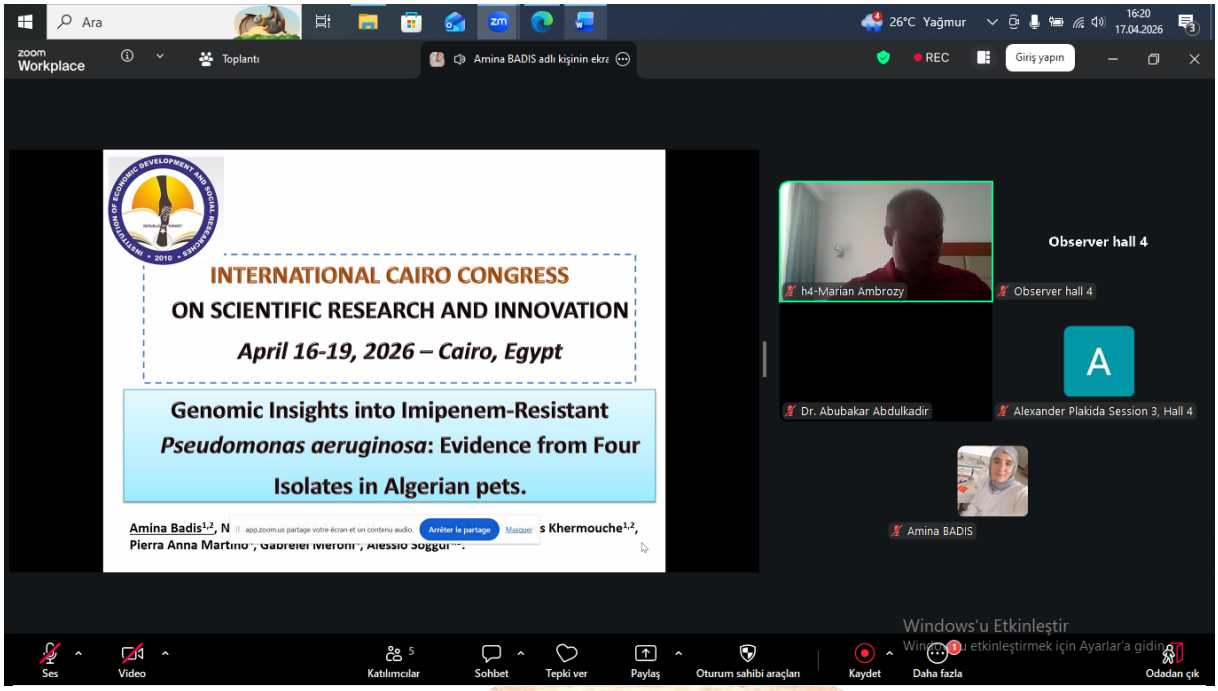



TEACHERS' PERCEIVED ADVANTAGES AND SUPPORT NEEDS IN HIGH SCHOOL SCIENTIFIC RESEARCH: EVIDENCE FROM THE MEKONG DELTA, VIETNAM
Presenter
Prof. Dr. Quang Minh Dinh
Faculty of Biology, School of Education, Can Tho University
Co-authors:
Tien Thi Kieu Nguyen (An Khanh high school)
Lam Thi Thao Vo (Can Tho University)
INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION
Observer hall 4
HALL 4 AGBEFA...
Oumaima Hanta...
Hanifah
Oumaima Hantat
Windows'u Etkinleştir

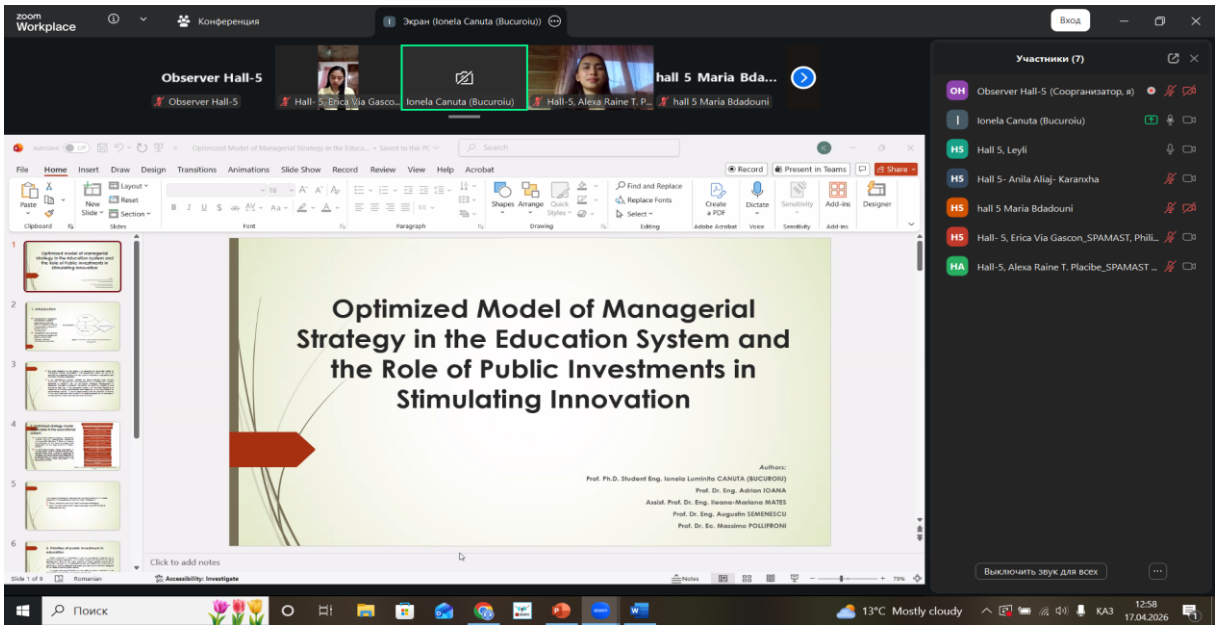

ABSTRACT TITLE
DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IOT-BASED VISITOR GUIDANCE SYSTEM FOR LARGE INSTITUTES OR HISTORICAL MONUMENTS
Observer hall 4
h4-Marian Amb...
Oumaima Hanta...
Alamdar Naqvi
Katılımcılar (6)
Windows'u Etkinleştir

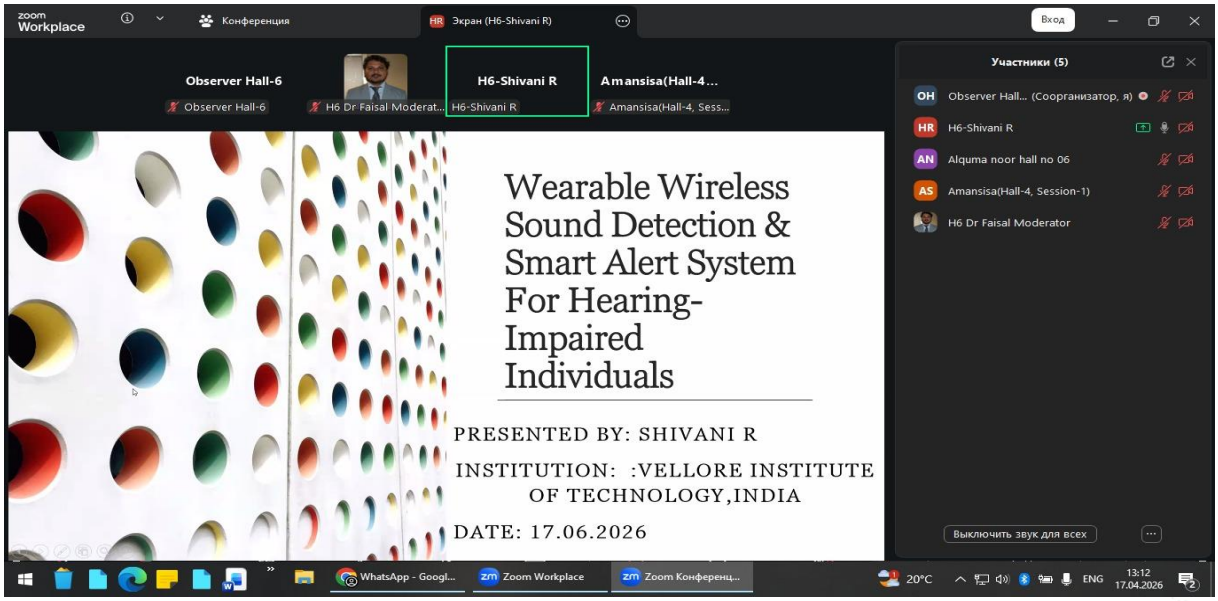



Observer hall 4
h4-Marian Ambrozy
Observer hall 4
H 4 Gheorghe Giurgiu
Oumaima Hanta...
Alexander Plakida Session 3, Hall 4
Oumaima Hantat Online Session-1, Hall-4
Amina BADIS
Rita FILES Online Session-3, Hall-4
Hall-4- isabel Pires
Katılımcılar (8)
Windows'u Etkinleştir

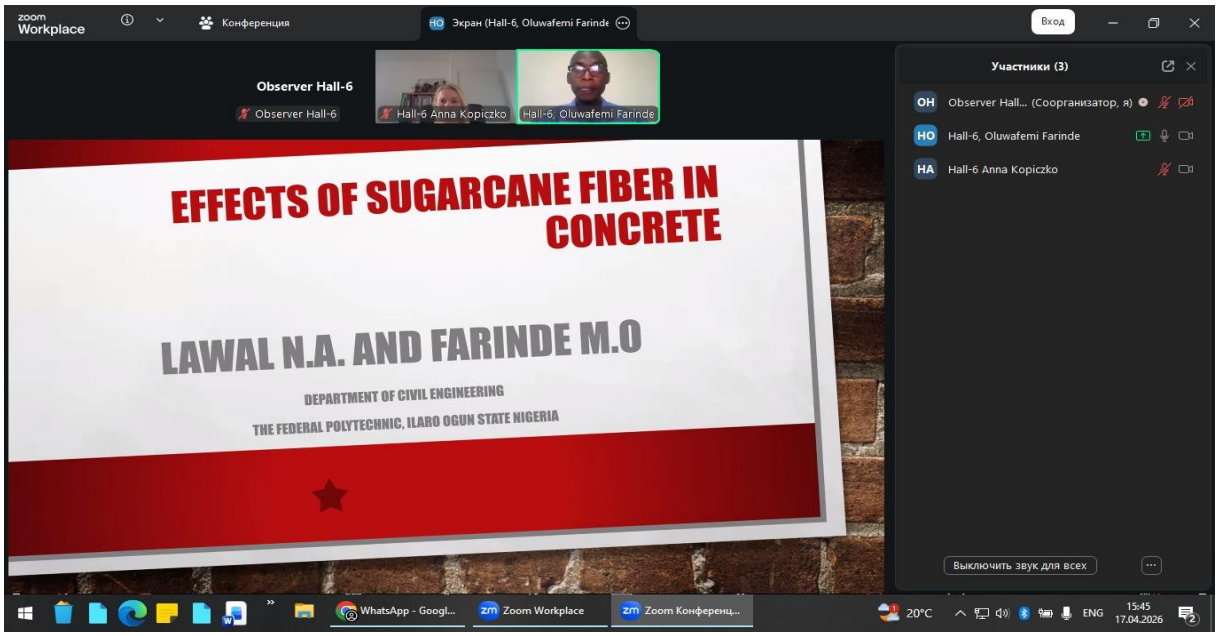

INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS
ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION
April 16-19, 2026 – Cairo, Egypt
Genomic Insights into Imipenem-Resistant Pseudomonas aeruginosa: Evidence from Four Isolates in Algerian pets.
Observer hall 4
h4-Marian Ambrozy
Dr. Abubakar Abdulkadir
Alexander Plakida Session 3, Hall 4
Amina BADIS
Windows'u Etkinleştir

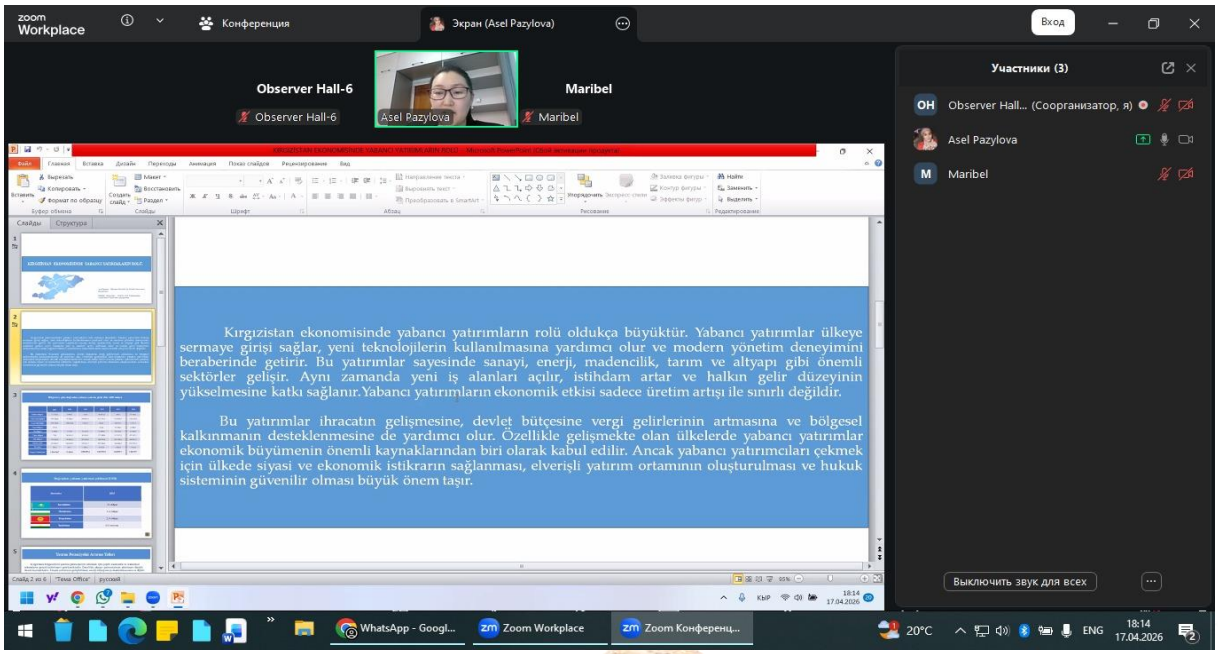



Optimized Model of Managerial Strategy in the Education System and the Role of Public Investments in Stimulating Innovation
Observer Hall-5
Ionela Canuta (Bucuroiu)
hall 5 Maria Bda...
Участники (7)


Wearable Wireless Sound Detection & Smart Alert System For Hearing-Impaired Individuals
PRESENTED BY: SHIVANI R
INSTITUTION: :VELLORE INSTITUTE OF TECHNOLOGY,INDIA
DATE: 17.06.2026
Observer Hall-6
H6-Shivani R
Amansisa(Hall-4...
Участники (5)




Observer Hall-6
Observer Hall-6
Hall-6 Anna Kopiczko
Hall-6, Oluwafemi Farinde
EFFECTS OF SUGARCANE FIBER IN CONCRETE
LAWAL N.A. AND FARINDE M.O
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
THE FEDERAL POLYTECHNIC, ILARO OGUN STATE NIGERIA
Участники (3)
Observer Hall... (Соорганизатор, я)
Hall-6, Oluwafemi Farinde
Hall-6 Anna Kopiczko
Выключить звук для всех


Observer Hall-6
Observer Hall-6
Asel Pazylova
Maribel
Maribel
Kırgızistan ekonomisinde yabancı yatırımların rolü oldukça büyüktür. Yabancı yatırımlar ülkeye sermaye girişi sağlar, yeni teknolojilerin kullanılmasına yardımcı olur ve modern yönetim deneyimini beraberinde getirir. Bu yatırımlar sayesinde sanayi, enerji, madencilik, tarım ve altyapı gibi önemli sektörler gelişir. Aynı zamanda yeni iş alanları açılır, istihdam artar ve halkın gelir düzeyinin yükselmesine katkı sağlanır.Yabancı yatırımların ekonomik etkisi sadece üretim artışı ile sınırlı değildir.
Bu yatırımlar ihracatın gelişmesine, devlet bütçesine vergi gelirlerinin artmasına ve bölgesel kalkınmanın desteklenmesine de yardımcı olur. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yabancı yatırımlar ekonomik büyümenin önemli kaynaklarından biri olarak kabul edilir. Ancak yabancı yatırımcıları çekmek için ülkede siyasi ve ekonomik istikrarın sağlanması, elverişli yatırım ortamının oluşturulması ve hukuk sisteminin güvenilir olması büyük önem taşır.
Участники (3)
Observer Hall... (Соорганизатор, я)
Asel Pazylova
Maribel
Выключить звук для всех

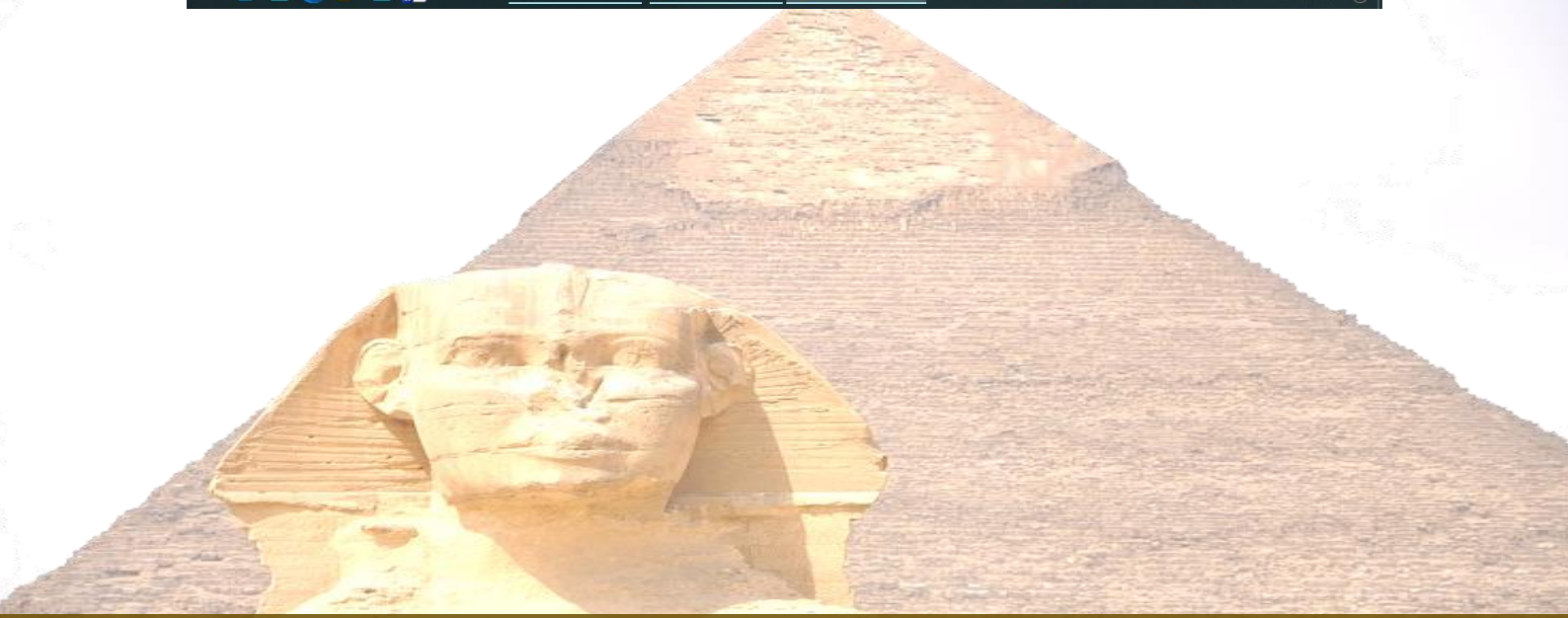


TABLE OF CONTENTS

AUTHOR(S)	PRESENTATION TITLE	No
Mehmet Ali TEKİN	FROM HARD POWER TO SMART POWER: AN EXAMINATION OF TURKEY'S CYBERSECURITY AND ELECTRONIC WARFARE POLICIES	1
Emine KARSLİ	RUSSIA'S "NEAR ABROAD" DOCTRINE AND THE MIDDLE EASTERN EXCEPTION: A CASE STUDY OF SYRIA	7
Yusuf Girayalp ATAN	STRATEGIC AND ECONOMIC ANALYSIS OF A POTENTIAL TÜRKİYE-EGYPT MARITIME BOUNDARY AGREEMENT	13
Samet TUFAN	A COMPARISON OF THE STRATEGIC AND GEOPOLITICAL IMPORTANCE OF THE STRAIT OF HORMUZ IN THE SUEZ CRISIS AND THE USA/ISRAEL-IRAN WAR WITHIN THE CONTEXT OF THE ECONOMIC VALUE OF INTERNATIONAL WATERWAYS	14
Merve PEHLİVAN İLERİSOY	QATAR'S HUMANITARIAN DIPLOMACY AS A TOOL FOR SMALL STATES	25
Meral BALCI Abdulla KHANAYEVA Aylin KHUDAVERDİYEVA	GREEN FINTECH IN SUSTAINABLE ENERGY FINANCING: THE CASE OF AZERBAIJAN	26
Meral BALCI Indira PHUTKARADZE	RUSSIA'S "BACKYARD" POLICY: THE SEARCH FOR HEGEMONY IN THE SOUTH CAUCASUS	34
Merve KOLCU Selda ÇELİK	THE ROLE OF PRIMARY CARE NURSING IN REDUCING HEALTH INEQUALITIES AMONG MIGRANT POPULATIONS	39
Merve KOLCU Selda ÇELİK	CURRENT APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF TYPE 2 DIABETES: A SYSTEMATIC REVIEW	45
Filiz SELEN Yaren GÜNER	DETERMINING THE FACTORS AFFECTING ADJUSTMENT TO THE DEFINED REGIMENS OF INDIVIDUALS IN HEMODIALYSIS PROGRAM: FOCUS GROUP INTERVIEW	51
Hüsniye ÇEKİÇ Atiye KARAKUL Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA	STOMAS AND NURSING CARE IN PEDIATRIC PATIENTS	52
Elif KARATEPE Hanım Eda SELVİ	THE EFFECTS OF REFORMER PILATES ON UPPER EXTREMITY FUNCTIONALITY IN INDIVIDUALS WITH A SEDENTARY LIFESTYLE: A REVIEW ARTICLE	59
Nihat TELLİ Arife Ezgi TELLİ Gamze TURKAL	OMICS APPROACHES IN NUTRITIONAL SCIENCE AND INTEGRATED PERSONAL OMICS PROFILING (iPOP)	61
Serkan BENTLİ Usame ELBIRHAVİ	NUTRITIONAL PLANNING IN CHRONIC KIDNEY DISEASE	70
Serkan BENTLİ Nail CAN	METABOLIC EFFECTS OF MACRONUTRIENTS: THE ROLE OF CARBOHYDRATES AND CURRENT APPROACHES	75
Aytakin HASANOVA Naila MEMMEDOVA	RECURRENT PREGNANCY LOSS ASSOCIATED WITH ROBERTSONIAN TRANSLOCATION ROB(14;21): A CASE REPORT	83
Sababa FATIMA İsmail BAYRAM	NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF LYSOZYME AS A NATURAL ANTIMICROBIAL ADDITIVE IN POULTRY PRODUCTION SYSTEMS	84
Sababa FATIMA İsmail BAYRAM	FEEDING FACTORS AS DRIVERS OF MICROBIAL DYNAMICS IN THE RUMINANT DIGESTIVE SYSTEM	93

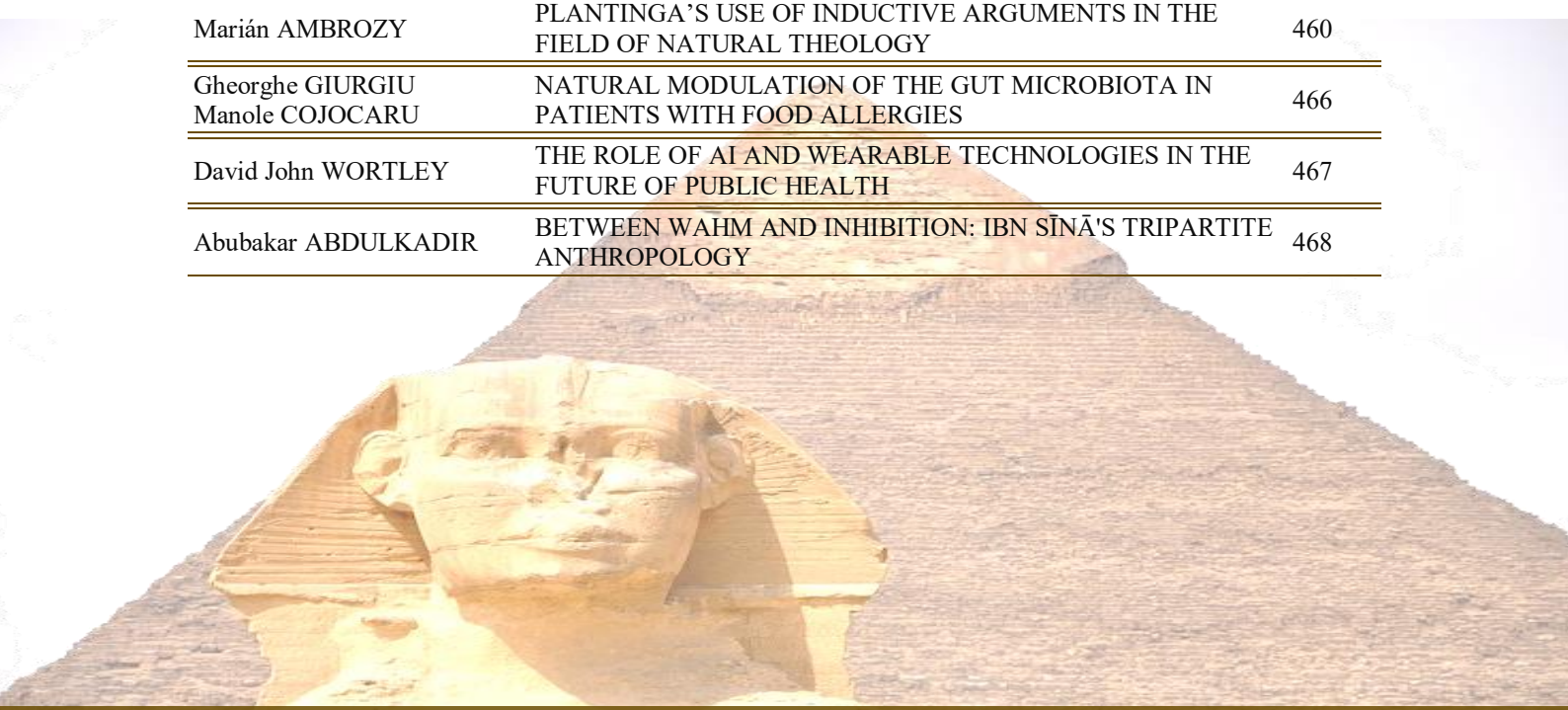
Muhammet AKIN Şeyma Eda AKIN	REGENERATIVE TREATMENT OF THE SURGICAL BONE DEFECT USING CONCENTRATED GROWTH FACTOR (CGF) FOLLOWING RADICULAR CYST ENUCLEATION: 6-MONTH CLINICAL AND RADIOLOGICAL FOLLOW-UP	105
Hacer ALATAŞ Merve KURT	CURRENT APPROACHES TO POST-TRAUMATIC NUTRITION IN CHILDREN	111
Hacer ALATAŞ Nadide Nur ÖZKUL	THE FEMALE ATHLETE TRIAD	117
Şeyma Eda AKIN Muhammet AKIN	MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF AN ENDODONTIC-PERIODONTAL LESION PRESENTING WITH AN EXTRAORAL FISTULA: A CASE REPORT	123
Quang Minh DINH Tien Kieu Thi NGUYEN Lam Thi Thao VO	TEACHERS' PERCEIVED ADVANTAGES AND SUPPORT NEEDS IN HIGH SCHOOL SCIENTIFIC RESEARCH: EVIDENCE FROM THE MEKONG DELTA, VIETNAM	128
Nguyen Chi NGUYEN Huynh Thi HOI Le Thi HANG Quach Tuyet MINH	ORGANIZING PROJECT-BASED LEARNING FOR TEACHING THE EPIC GENRE IN GRADE 10 LITERATURE TO DEVELOP STUDENTS' PROBLEM-SOLVING AND CREATIVITY COMPETENCIES	135
Agbefa Maria ABAH Anene Amaka ANULIKA Kamji Nendirmwa BLESSING	EFFECT OF THINK-PAIR-SHARE STRATEGY ON SENIOR SECONDARY ONE STUDENTS' ACHIEVEMENT IN CELL BIOLOGY IN JOS NORTH LOCAL GOVERNMENT AREA NIGERIA	136
Hanifah JAMBARI Sharifah OSMAN Jamilah AHMAD	ARDUINO–BLUETOOTH CONTROLLED CAR DEVELOPMENT THROUGH PROJECT-BASED LEARNING	137
Oumaïma HANTAT Malika RAFIQ Yassine SIBENALI	TEACHING/LEARNING FRENCH IN MOROCCO: WHAT IS THE LINK WITH EMOTION, MOTIVATION, AND NONVIOLENT COMMUNICATION?	138
Amansisa EMBABO Amanuel Ayde ERGADO Worku JIMMA	REVIEW OF IMPACT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: IMPLICATIONS FOR ACADEMIC INTEGRITY AND STUDENTS CREATIVITY	140
Noor Hanim ISMAIL Nor Fathimah FATHIL Rosnida OTHMAN	STUDENTS' EMOTIONS AND PERFORMANCE IN OUTCOME BASED EDUCATION AT POLYTECHNIC	141
Liubomyra ILIICHUK	MECHANISMS FOR IMPLEMENTING THE UNIVERSITY'S INSTITUTIONAL CAPACITY IN QUALITY ASSURANCE OF EDUCATION	142
Anila ALIAJ KARANXHA	TO INTEGRATE HELPING TEACHERS AND STUDENTS IN THE INTEGRATION OF ICT IN THEIR PEDAGOGICAL PRACTICES IN ALBANIA	143
Gulzat ANUARBEKOVA Raushan UNAIBAYEVA	TEACHING ALGORITHMICS AND PROGRAMMING IN SCHOOLS THROUGH A SYSTEM OF TASKS CONSIDERING NATIONAL CHARACTERISTICS	149
Ionela Luminita CANUTA BUCUROIU Adrian IOANA Ileana-Mariana MATES Augustin SEMENESCU Massimo POLLIFRONI	OPTIMIZED MODEL OF MANAGERIAL STRATEGY IN THE EDUCATION SYSTEM AND THE ROLE OF PUBLIC INVESTMENTS IN STIMULATING INNOVATION	150

Erica Via V. GASCON Alexa Raine T. PLACIBE Redem Paul M. YAP Georgie F. TABARANZA Vanessa Angelica D. ACOSTA Aldwin T. MIRANDA	MATHEMATICAL HIGHER-ORDER THINKING ABILITY AND REASONING SKILLS OF FIRST-YEAR COLLEGE STUDENTS	154
Leyli SHAMMAYEVA	CONTEMPORARY EDUCATION AND SOCIAL DEVELOPMENT	155
Muhammad FAISAL Alquma NOOR	AI-DRIVEN FRAUD DETECTION AND PREDICTIVE ANOMALY ANALYTICS	156
Thumma RUSHIKESH M. SURESH Tawseef AHMAD Syeda Hafsa NAAZ	SMART BLIND ASSISTANT GLASSES	157
M. YAMUNA Shivani R	A WEARABLE WIRELESS SOUND PATTERN DETECTION AND ALERT SYSTEM FOR HEARING-IMPAIRED INDIVIDUALS	158
A.V.S. ANUSHA M. SURESH Tawseef AHMED R. KANIMOZHI	CONVERSATIONAL IMAGE RECOGNITION CHATBOT	159
Rukayya Ibrahim TUKUR	ETHICAL IMPLICATIONS OF AI ADOPTION IN QUANTITY SURVEYING PRACTICE: A CASE STUDY FROM NIGERIA	160
Lawal N. A. LAWAL Farinde M. O. FARINDE	BIOBASED ADDITIVE EFFECTS IN CONCRETE USING SUGARCANE FIBER	161
Onur METİN Şeref TURHAN	DETERMINATION OF OXIDE AND HEAVY METAL CONTENTS OF SOME CEMENT SAMPLES USED AS BUILDING MATERIALS IN TÜRKİYE	162
Şeref TURHAN Onur METİN	PRELIMINARY ENRICHMENT ASSESSMENT OF SOME RARE EARTH ELEMENTS IN SOILS SURROUNDING A CEMENT PRODUCTION PLANT	170
Yeliz GÖYÜK Mustafa YAVUZ Beste TURANLI Ceyhun BEREKETOĞLU	THE EFFECT OF DI(ISONONYL) CYCLOHEXANE-1,2-DICARBOXYLATE EXPOSURE ON THE EPIGENETIC MECHANISM IN ZEBRAFISH	178
İlahe OSMANOVA Munavvar Ajdar SAFAROVA	THE DANGER WE BREATHE	185
İlahe OSMANOVA Munavvar Ajdar SAFAROVA	WHISPER OF RADIATION - THE SILENT WORLD	192
Kübra YÜZBAŞIOĞLU Şirin DEMİRCAN YILDIZ	EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PLANT RESPONSES TO AGRICULTURAL FROST STRESS AND ALGORITHMIC DECISION MODELING	197
Zeynep KEREM ÖZTÜRK Esra TOKUÇ	THE MODERN RESURRECTION OF HERITAGE: THE TRANSFORMATION OF THE RICHARDSON OLMSTED CAMPUS INTO HOTEL HENRY	199
Caner BULUT Mustafa ÖCAL Tevfik Oğuzhan ERGÜDER	THE EFFECT OF DIFFERENT FILLING GEOMETRIES ON THE IMPACT WEAR BEHAVIOR OF ABS SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD	217
Alihan GÜRSOY Serhat KILIÇARSLAN	CLASSIFICATION OF MIDDLE EAR DISEASES FROM OTOSCOPIC IMAGES USING TRANSFORMER-BASED DEEP LEARNING MODELS	227
Doston JURABOEV Yunus YALMAN	COMPARATIVE PERFORMANCE AND TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF FIXED-TILT AND SOLAR TRACKING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A CASE STUDY OF KONYA, TÜRKİYE	239

AMNA MOHAMMED JUMAA JUMAA Aydın ÇETİN	AN ENSEMBLE LEARNING FRAMEWORK FOR SQL INJECTION DETECTION IN IOT APPLICATION LAYER RESTFUL API'S	250
Tuğba TAŞTAN	ADAPTATION OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL SPATIAL FIXTURES IN RESIDENTIAL INTERIOR SPACES: AESTHETIC, ERGONOMIC AND FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS	257
Kamala MAMMADAZADA	APPLICATION OF MAMDANI FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR MODELING NONLINEAR DYNAMICS OF A WASTEWATER TREATMENT BIOREACTOR	265
Mete ARSLAN Aydın ÇETİN	SRGAN-ENHANCED LAND-COVER CLASSIFICATION OF SENTINEL-2 DATA	270
Hakan TUTUMLU	THEORETICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF EFFICIENCY IMPROVEMENTS IN HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING (HVAC) SYSTEMS ON TOTAL ENERGY CONSUMPTION	278
Arzu AL Suraya BAZAROVA	MEASURING OVERLAPPING REGIONALISM: A MULTI-LAYER PANEL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL OVERLAP AND SELECTIVE POLICY CONVERGENCE IN APEC–ASEAN	288
Arzu AL Sadiye Tuğba Kendirli Horoz	THE IMPACT OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM WITHIN THE FRAMEWORK OF THE EUROPEAN GREEN DEAL ON EU ENERGY SECURITY	313
Alaeddin YALÇINKAYA Fatıma MİRZALİYEVA	RUSSIA'S CORE STRATEGY IN AN ISRAEL/US-IRAN WAR	322
Duygu KUTLU	SECURITIZATION AND INTEGRATION: A COMPARATIVE DISCOURSE ANALYSIS OF REFUGEE GOVERNANCE IN UGANDA AND KENYA	323
Erdem ÖZLÜK Fazlı DOĞAN	STRUCTURAL BOUNDARIES OF INTERNATIONAL COOPERATION: ANALYZING THE D-8'S CAPACITY FOR COLLECTIVE ACTION	324
Mehmet Emin ERENDOR Yağmur Berfin KAPTAN	REDEFINING SECURITY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	332
Erdal KILIÇ	CONVERSION OF MILITARY LOGISTICS INFRASTRUCTURE TO CIVIL ECONOMIC ACTIVITIES IN POST-CONFLICT AREAS	333
Erdal KILIÇ	SECURITY OF SUPPLY FOR CRITICAL MATERIALS IN THE PERIOD OF GEOPOLITICAL TENSIONS	342
Jai Gopal GUPTA	UNDERSTANDING AND MITIGATING EMISSIONS FROM INTERNAL COMBUSTION ENGINES FOR A CLEANER ENVIRONMENT	352
S. SANTHOSH KUMAR	CHALLENGES AND POTENTIAL OF ENERGY TRANSITION OF BIOFUEL PRODUCTION	353
Srichentan BADUGU M. SURESH Tawseef AHMED Ch. D. SUNIL KUMAR	BLOCKCHAIN ENABLED SECURE NOTE MANAGEMENT SYSTEM	354
Sankalp MOHITE Mayur MASKE Sabir SAYYED	CRITICAL REVIEW OF FUNCTIONALLY GRADED POLYMER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL	355
Syed Alamdar Ul Hasnain NAQVI	DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IOT-BASED VISITOR GUIDANCE SYSTEM FOR LARGE INSTITUTES OR HISTORICAL MONUMENTS	356
Tenong Gortah ROBERT	APPLICATION OF ENERGY EFFICIENCY STRATEGIES IN DESIGN OF SHOPPING MALL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA	357

Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI Christopher Oluwatade IJAGBEMI	CROWD CONTROL STRATEGIES FOR CRITICAL FACILITIES IN TERTIARY INSTITUTION	358
Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI Olatoye Abiodun KOMOLAFE Oluwatoyosi ADEBAJO	CHALLENGES OF URBAN HOUSING AND FACILITY PLANNING: A FOCUS ON YENAGOA METROPOLIS	359
Mimoun BELHADI Mohammed CHAFI Hassane LGAZ Hanseung LEE Said TIGHADOUINI	MECHANISTIC INSIGHTS AND PERFORMANCE OF PYRAZOLE-BASED CORROSION INHIBITORS	360
Mohamed Amine MEKAOUI Hamid EZ-ZAHRAOUY	ENHANCING THE HYDROGEN STORAGE PROPERTIES OF ZRH_2 THROUGH LITHIUM SUBSTITUTION	361
Mimoun BELHADI Mohammed CHAFI	EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES OF PYRAZOLE DERIVATIVES AS CORROSION INHIBITORS	362
Usman S RILWAN Michael O ONI Mohamed S SHAGARI Ayuba Umar MUHAMMAD Kabir M TAFIDA	FRACTIONAL-ORDER MODELING AND STABILITY ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE DYNAMICS	363
Djellouli AMIR Berredjem YAMINA Yagoub MOHAMED Guesmia HADJER	NITROPHENOL ADSORPTION USING FIXED-BED COLUMNS AND INEXPENSIVE ACTIVATED CARBON	367
El.Majdi S. ZERRAF Said BELAAOUAD	CRYSTAL STRUCTURE, X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS, AND COMPUTATIONAL STUDY OF A NEW ORGANIC–INORGANIC COMPOUND	368
Roseline T. ABAH Ibrahim ALIYU	MODELING MALARIA TRANSMISSION DYNAMICS INCORPORATING INSECTICIDE RESISTANCE	369
Ashaa Zumaira SIDDIQUE Fozia ANJUM	SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC EXPLORATION OF HALIDE-BASED DOUBLE PEROVSKITE MATERIALS	370
Agbo Christiana Ene AGBO Abah Roseline Toyin ABAH	SENSITIVITY ANALYSIS AND NUMERICAL SIMULATION OF SEIR MODEL FOR CARDIOVASCULAR DISEASE DYNAMICS	371
AbdulRahman Mohammed UMAR Saimah KHAN	DESIGN AND BIOLOGICAL EVALUATION OF PYRAZOLE-DERIVED HETEROCYCLES AS ANTICANCER AND ANTI-INFLAMMATORY AGENTS	379
Dalal AISSAOUI	FROM MOLECULE TO MEANING: A PHARMACIST-LED FRAMEWORK FOR GENERATIVE AI IN ONCOLOGY EDUCATION	380
Patrycja WIDŁAK Anna KOPICZKO Marzena MALARA	ARE FUNCTIONAL TESTS ENOUGH? THE ROLE OF BIOCHEMICAL MARKERS IN ASSESSING THE CONDITION OF TEAM SPORT ATHLETES	381
Abbas SEYİDOV Leyla RUSTAMOVA	FROM OUR HISTORICAL AND ARCHAEOLOGICAL HERITAGE: TRACES OF THE PROPHET NOAH IN NAKHCHIVAN	382
Turkane Muqasif SHARBATOVA	CORPUS-BASED AI TOOLS FOR ACADEMIC ENGLISH DEVELOPMENT	389
Ali Günay BALIM Yasin ÖZARSLAN Ece ALTAY	THE PROCESS OF DEVELOPING VUFORIA-BASED AUGMENTED REALITY MATERIALS WITH SCIENCE TEACHER CANDIDATES	393

Betül ÖZTAŞ		
Mehmet ARSLAN	TÜRKİYE'S POSITION IN WORLD WAR II: A CARTOON ANALYSIS OF THE 1943 CAIRO CONFERENCE	404
Mehmet ARSLAN	TÜRKİYE AND THE STRATEGY TO PREVENT A THIRD WORLD WAR IN 1949	405
Tamer KIVILCIM Tülün MALKOÇ Serkan AYDIN	THE EFFECT OF STEAM+E² BASED MUSIC ACTIVITIES ON CHILDREN'S PROBLEM-SOLVING SKILLS	406
Devrim RODOP	EFFECTS OF REENGINEERING APPLICATION ON BUSINESS RESULTS IN THE BANKING SECTOR	408
Sultan SALUR KÜÇÜK	WOMEN'S EMPLOYMENT IN A TRANSFORMING LABOR MARKET: THE CASE OF TÜRKİYE	410
Sultan SALUR KÜÇÜK	POTENTIAL EFFECTS OF INDUSTRY 5.0 ON ECONOMIC GROWTH: IMPLICATIONS FOR TURKEY	412
Bozkurt Oğuz DİJLE Ceyda Aysuna TÜRKYILMAZ Abdullah BALLI Serdar PİRTİNİ	A BIOMETRICALLY TRAINED AI FRAMEWORK FOR PL PACKAGING OPTIMIZATION	414
Bahar ARABACI	ALGORITHMIC MANAGEMENT AND EMPLOYEE VOICE: A CONCEPTUAL PERSPECTIVE	431
Shahad Yasir Mohsin AL BAKRI	ACTIVATION OF THE TRIGGER MECHANISM AND ITS IMPACT ON THE IRANIAN ECONOMY	433
Merve ÖZTÜRK	REGIONAL IMPACTS OF EU ARTIFICIAL INTELLIGENCE FUNDING: ÎLE-DE-FRANCE AND PODKARPACKIE	434
Merve ÖZTÜRK	THE NEW ROLE OF NUCLEAR ENERGY IN THE EUROPEAN UNION'S ENERGY SECURITY: THE CASE OF POLAND	439
Aslıhan ZINDEREN	GAZA IN DATA JOURNALISM REPORTS	443
Sara MOHAMMADIAN	FEMALE REPRESENTATION OF WOMEN AND CONSTRUCTION OF GENDER IN 2025 IRANIAN TELEVISION ADVERTISEMENTS	450
Selman Selim AKYÜZ	PERCEIVED REALITY IN AI-GENERATED VIDEOS: AN ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA USER RESPONSES	458
Zafer Furkan ARSLAN	FROM DEMOCRACY TO ALGOCRACY: GOVERNANCE IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	459
Marián AMBROZY	PLANTINGA'S USE OF INDUCTIVE ARGUMENTS IN THE FIELD OF NATURAL THEOLOGY	460
Gheorghe GIURGIU Manole COJOCARU	NATURAL MODULATION OF THE GUT MICROBIOTA IN PATIENTS WITH FOOD ALLERGIES	466
David John WORTLEY	THE ROLE OF AI AND WEARABLE TECHNOLOGIES IN THE FUTURE OF PUBLIC HEALTH	467
Abubakar ABDULKADIR	BETWEEN WAHM AND INHIBITION: IBN SĪNĀ'S TRIPARTITE ANTHROPOLOGY	468



Amal AOUMRANI Ahlam ZARHOUTI Bouchra EL KHALFI Abdelaziz SOUKRI	EXPLORING THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF MEDICINAL PLANTS IN MALE REPRODUCTIVE FUNCTION	475
Rita FILES Ricardo OLIVEIRA Catarina NUNES Maria CARDOSO Luana MARTINS Gabriela MAIA Isabel PIRES	THE DUAL ROLE OF MAST CELLS IN TUMORIGENESIS: IMPLICATIONS FOR VETERINARY ONCOLOGY	476
Rita FILES Isabel PIRES	CITIZEN SCIENCE IN VETERINARY MEDICINE: ASSESSING DOG OWNERS' AWARENESS OF CANINE BLADDER TUMORS	477
Alexander PLAKIDA Svetlana TRAPEZNIKOVA Victoria CHERNYAK	USE OF INTERACTIVE DIGITAL SYSTEMS IN THE REHABILITATION OF PATIENTS	478
Amina BADIS Nouzha HELEILI Manel MERRADI Amar AYACHI Fares KHERMOUCHE Pierra Anna MARTINO Gabriel MERONI Alessio SOGGUI	GENOMIC INSIGHTS INTO IMIPENEM-RESISTANT PSEUDOMONAS AERUGINOSA IN ALGERIAN PETS	479
Karla Ivonne ALVARADO PADRÓN Yazmín Isolda ÁLVAREZ GARCÍA	EVOLUTION OF PUBLIC OFFICIALS' ASSETS IN TABASCO	480
Hanane RAHMOUNI	UNDERSTANDING YOUR ENVIRONMENT, ENSURING THE FUTURE SUCCESS OF YOUR PROJECT	485
Flavian CLIPA Raluca Irina CLIPA	PUBLIC EXTERNAL AUDIT IN IMPLEMENTING SDG 2 IN EU	486
Ines Kartika DEWI Chelsea Aulia ZAHRA Mercurius Broto LEGOWO	THE STUDY OF THE NATIONAL PAYMENT ECOSYSTEM IN INDONESIA	487
Shakirullah Sabeeha HADI	FOREGROUNDING THROUGH LEXICAL REPETITION: A STYLISTIC ANALYSIS OF A DREAM WITHIN A DREAM BY EDGAR ALLAN POE	488
Lamia HARROUCHE	TURKEY'S SOFT POWER STRATEGY IN ALGERIA: TOOLS AND IMPACT	489
Adriatik DERJAJ	A NEW PERSPECTIVE ON ORIENTAL STUDIES IN THE BALKANS	490
Anwesha GHOSH Dr. Moumita Rout MAJUMDAR	EMPOWERING ASIA'S RISE THROUGH GREEN ANTITRUST	491
Festus Chibuike ONUEGBU	LEGITIMATIZING LOOTING: BETWEEN REPATRIATION AND CUSTODIANSHIP OF AFRICAN ART	492
Maribel CAICEDO	POVERTY AS A DETERMINANT OF DOMESTIC FIREWOOD CONSUMPTION AND ITS EFFECT ON THE FORESTS OF ECUADOR	493
Ndubuisi-Okolo Purity U. Grace NWANONIGWE AKAEGBBOBI Attah Emmanuel YUSUF	DIGITAL ENTREPRENEURSHIP CAPABILITIES, INSTITUTIONAL VOIDS, AND PRODUCTIVITY DYNAMICS	494

Lara Haitham BARHAM	LEVERAGING GAMIFICATION FOR ENHANCED EMPLOYEE ENGAGEMENT, RECRUITMENT, AND PERFORMANCE	495
Malek Mohammed GHAZO	ADVANCING SUSTAINABILITY THROUGH CIRCULAR ECONOMY AND ORGANIZATIONAL EXCELLENCE	496
Satybaldy OMURZAKOV Asel PAZYLOVA	THE ROLE OF FOREIGN INVESTMENT IN THE ECONOMY OF KYRGYZSTAN	497
Asel PAZYLOVA Ayana AKIMOVA	DEVELOPMENT OF GREEN BANKING IN COMMERCIAL BANKS OF THE KYRGYZ REPUBLIC	498



PREFACE

Scientific research and innovation constitute the fundamental pillars of sustainable development and global progress. In this context, Egypt-one of the cradles of civilization-has historically played a pivotal role in the advancement of knowledge, science, and intellectual thought. Today, Egypt continues to serve as a significant hub for academic exchange, bridging continents and cultures through its dynamic scholarly environment. Cairo, as the heart of this legacy, stands out as a distinguished center where tradition and modern scientific inquiry converge.

The International Cairo Congress on Scientific Research and Innovation, held on April 16-19, 2026, represents an important platform that brings together scholars, researchers, and practitioners from diverse disciplines and regions. The congress has contributed significantly to the dissemination of innovative ideas, the strengthening of interdisciplinary dialogue, and the establishment of new academic collaborations at a global scale.

This proceedings book reflects the richness and diversity of the contributions presented during the congress. It offers valuable insights into contemporary scientific developments and provides a solid foundation for future research endeavors.

We would like to express our sincere gratitude to the editors of this volume, Prof. Dr. Arzu AL and Prof. Viola Makhzoum, for their dedicated efforts, academic rigor, and meticulous work in compiling and reviewing the contributions included in this book. Their commitment has been instrumental in ensuring the quality and coherence of this publication.

We also extend our appreciation to all contributing authors, reviewers, and participants whose valuable contributions made this congress and its proceedings possible.

We hope that this volume will serve as a meaningful resource for the academic community and inspire further research, collaboration, and innovation.

Liberty Publications



SERT GÜÇTEN AKILLI GÜCE: TÜRKİYE'NİN SİBER GÜVENLİK VE ELEKTRONİK HARP POLİTİKALARININ İNCELEMESİ

FROM HARD POWER TO SMART POWER: AN EXAMINATION OF TURKEY'S CYBERSECURITY AND ELECTRONIC WARFARE POLICIES

Mehmet Ali TEKİN
Yüksek Lisans Öğr. İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0000-8945-9640

ÖZET

21'inci yüzyılın ilk çeyreği, uluslararası sistemde tarihi bir dönüm noktasını temsil etmektedir. Güç kavramı, fiziksel sınırları aşarak dijital ve elektromanyetik bir boyuta evirilmiştir. Geleneksel askeri doktrinlerin yerini "hibrit savaş" ve "siber harp" gibi kavramlara bıraktığı bu süreçte, devletlerin egemenlik alanları artık sadece kara, deniz ve hava ile sınırlı kalmamış; "beşinci alan" olarak tanımlanan siber uzaya kadar genişlemiştir. Türkiye'nin coğrafi konumu ve küresel sistemdeki stratejik pozisyonu, onu uzun süredir devam eden güvenlik risklerine maruz bırakmış ve bu değişikliklere uyum sağlamaya en çok ihtiyaç duyan ülkelerden biri haline getirmiştir. Türkiye'nin 2010'ların başlarındaki siber güvenlik politikası daha çok savunmacı ve tepkisel nitelikteyken, 2020'lerin ortalarına gelindiğinde proaktif, caydırıcı ve yerli olarak geliştirilmiş bir "akıllı güç" stratejisine dönüşmüştür. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'nin siber istihbarat ve elektronik savaş yoluyla askeri yeteneklerini nasıl geliştirdiğini ve böylece yeni bir güvenlik paradigması oluşturduğunu analiz etmektir. Bu süreç, 2010 yılında ilk stratejik belgelerinin yayınlanmasından, Türkiye'nin yabancı ülkelere olan teknolojik bağımlılığını azaltma ve "siber vatan" teorisini kurumsallaştırma çabalarını özetleyen 2024-2028 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisine kadar tüm dönemi kapsamaktadır. Özellikle dikkat çekici olan nokta, yerli olarak geliştirilen algoritmalarla donatılmış yeni elektronik savaş ve siber savunma sistemlerinin (2026 yılına kadar faaliyete geçmesi bekleniyor) ortaya çıkmasıyla Türkiye'nin liderliğinin sadece bölgesel düzeyde değil, küresel düzeyde de daha da pekişecek olmasıdır. Bu bağlamda, bu çalışma, savunma sanayii ve dijital diplomasi unsurlarını entegre ederek, bu yükselen gücü akademik bir bakış açısıyla analiz etmeyi amaçlamakla beraber, Türkiye'nin 2010-2026 yılları arasındaki siber güvenlik ve elektronik savaş politikalarını inceleyerek, bu alanlardaki genişleyen yeteneklerin Türkiye'nin "akıllı güç" kullanımına nasıl yol açtığını araştırmaktadır. Çalışma, Türkiye'nin siber tehditlerle mücadele etmek için kurduğu kurumsal yapıları (Örneğin; Türk Milli Güvenlik Ajansı (BTK), ABD İstihbarat ve Güvenlik Teşkilatı (USOM) ve Türk Silahlı Kuvvetleri Siber Savunma Komutanlığı) ve elektronik savaş alanındaki teknolojik gelişmeleri (örneğin KORAL-II ve REDET) stratejik olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, teknolojik gelişmelerin dış politikada nasıl kullanıldığını ve Türkiye'nin caydırıcılık duruşunu nasıl güçlendirdiğini analiz ederek temel araştırma sorularına cevap arayacaktır. Bu çalışma, 2010-2026 dönemini kapsamakta olup, Türkiye'nin kurumsal yapısına, yerli savunma sanayi projelerine ve bunların pratik uygulamalarına (Suriye, Libya ve Dağlık Karabağ örnekleri kullanılarak) odaklanmaktadır. Teknik mühendislik analizlerinden farklı olarak, söz konusu teknolojilerin uluslararası ilişkiler ve güvenlik politikası üzerindeki etkisine vurgu yapmaktadır. Araştırma, siber suçların hukuki yönlerine değinmemekte, bunun yerine doğrudan "ulusal güvenlik" ve "stratejik avantaj"ı hedef alan stratejilere odaklanmaktadır. Bu nedenle, Türkiye'nin siber alanda ve elektromanyetik alanda üstünlük kurma yolculuğunu kapsamlı bir şekilde göstermeyi amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Devletin Bekası, Dijital Caydırıcılık Kapasitesi, Dijital Muharebe, Ulusal Siber Savunma Doktrini, Asimetrik Riskler, Küresel Siyaset, Bilgi Güvenliği Yönetimi.

ABSTRACT

The first quarter of the 21st century represents a historic turning point in the international system. The concept of power has evolved beyond physical boundaries into a digital and electromagnetic dimension. In this process, where traditional military doctrines have been replaced by concepts such as "hybrid warfare" and "cyber warfare," the spheres of sovereignty of states are no longer limited to land, sea, and air; they have expanded to cyberspace, defined as the "fifth domain.

" Türkiye's geographical location and strategic position in the global system have exposed it to long-standing security risks, making it one of the countries most in need of adapting to these changes. While Türkiye's cybersecurity policy in the early 2010s was more defensive and reactive, by the mid-2020s it had transformed into a proactive, deterrent, and domestically developed "smart power" strategy. The main objective of this study is to analyze how Türkiye has enhanced its military capabilities through cyber intelligence and electronic warfare, thus creating a new security paradigm. This process encompasses the entire period from the publication of its first strategic documents in 2010 to the 2024-2028 National Cyber Security Strategy, which summarizes Türkiye's efforts to reduce its technological dependence on foreign countries and institutionalize the "cyber homeland" theory. Particularly noteworthy is the emergence of new electronic warfare and cyber defense systems equipped with domestically developed algorithms (expected to be operational by 2026), which will further strengthen Türkiye's leadership not only regionally but also globally. In this context, this study aims to analyze this rising power from an academic perspective by integrating elements of defense industry and digital diplomacy, while also examining Türkiye's cyber security and electronic warfare policies between 2010 and 2026 and investigating how the expanding capabilities in these areas are leading to Türkiye's use of "smart power." This study aims to strategically evaluate the institutional structures established by Türkiye to combat cyber threats (e.g., the Turkish National Security Agency (BTK), the US Intelligence and Security Organization (USOM), and the Turkish Armed Forces Cyber Defense Command) and technological developments in the field of electronic warfare (e.g., KORAL-II and REDET). It will also seek answers to fundamental research questions by analyzing how technological advancements are used in foreign policy and how they strengthen Türkiye's deterrence stance. Covering the period 2010-2026, this study focuses on Türkiye's institutional structure, domestic defense industry projects, and their practical applications (using examples from Syria, Libya, and Nagorno-Karabakh). Unlike technical engineering analyses, it emphasizes the impact of these technologies on international relations and security policy. The research does not address the legal aspects of cybercrime, but instead focuses directly on strategies targeting "national security" and "strategic advantage." Therefore, it aims to comprehensively demonstrate Türkiye's journey towards establishing dominance in the cyber and electromagnetic domains.
Keywords: National Survival, Digital Deterrence Capacity, Digital Warfare, National Cyber Defense Doctrine, Asymmetric Risks, Global Politics, Information Security Management.

GİRİŞ

Uluslararası sistemde güç, aktörlerin birbirlerini etkileme yeteneklerini ve hiyerarşik konumlarını belirleyen temel bir değişkendir (Morgenthau, 1948). Geleneksel yaklaşımlar gücü askeri güç ve ekonomik ölçek gibi maddi yeteneklerle sınırlarken, dijital devrim bu kavramı elektromanyetik boyuta taşımaktadır (Waltz, 1979). Güç, özünde bir aktörün başka bir aktörü normalde yapmayacağı şeyleri yapmaya zorlama yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Dahl, 1957). Modern zamanlarda bu yetenek, ülkelerin geleneksel askeri avantajlarını teknolojik avantajlar ve siber dayanıklılıkla birleştirdiği "akıllı güç" vizyonuna dönüşmektedir (Nye, 2011). Akıllı güç, yalnızca bir baskı aracı olmamakla beraber dijital ortamda teknolojinin meşruiyeti yeniden yapılandırılmaktadır (Nye, 2004).

Güvenlikte tehdit algısı yalnızca maddi kapasitelerle değil, aynı zamanda bu kapasitelerin sosyal ve kurumsal düzeylerdeki anlayışıyla da ilgilidir (Wendt, 1992). Türkiye, siber alanı "siber yuvası" olarak tanımlayarak, dijital egemenliğin ulusal egemenliğin ayrılmaz bir parçası olarak kabul edildiğini belirtmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Siber uzay, kara, deniz, hava ve uzaydan sonra savaşın beşinci alanı olarak kabul edilmektedir; coğrafi sınırları bulanıklaşmış bir savaş alanıdır. Bu alan, nispeten düşük bir maliyetle ulusal mekanizmalara önemli stratejik zararlar verme potansiyeline sahip olmaktadır. (Lynn, 2010). Bir ülkenin savunma odaklı siber yatırımlarının rakipleri tarafından saldırı hazırlığı olarak görülmesi, güvenlik ikileminin gerçekçi kavramının dijital alana da yayıldığını göstermektedir (Herz, 1950).

Siber güvenlik sadece teknik bir koruma süreci değil, ulusal karar alma mekanizmalarını ve kritik altyapıyı hedef alan eylemlere karşı koymak için tasarlanmış bütüncül bir savunma teorisi sayılmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bazıları siber savaşın ancak geleneksel fiziksel şiddet içeriyorsa gerçek bir savaş olarak kabul edilebileceğini savunsa da, dijital müdahalenin etkileri fiziksel yıkımdan daha kalıcı olabilmektedir (Rid, 2012).

Elektronik savaş (EW), elektromanyetik spektrum siber güvenliğinin ayrılmaz bir parçası sayılmaktadır. Bu alan, düşman radar sistemlerini devre dışı bırakmak ve iletişim ağlarını bozmak için tasarlanmış elektronik destek, saldırı ve savunma bileşenlerini içerir. (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2024). Modern literatürde siber savaş ve elektronik savaş yetenekleri, askeri operasyonların başarısını veya başarısızlığını belirleyen önemli güç çarpanları olarak tanımlanmaktadır (Lynn, 2010).
Güvenlik paradigmalarındaki değişim, siber saldırıların ve dezenformasyon kampanyalarının düzenli askeri birliklerin kullanımıyla eş zamanlı olarak yürütüldüğü hibrit savaş kavramıyla açıklanabilmektedir (Hoffman, 2007). Hibrit savaş ortamında cephe hatları belirsizleşir, bu nedenle askeri personel ve yazılım geliştiriciler aynı stratejik hedef doğrultusunda birlikte çalışılabilmektedir (Hoffman, 2007). Günümüzün karmaşık tehdit ortamında, ülkelerin hayatta kalabilmek için dijital caydırıcılığı güçlendirmeleri gerekmektedir. Dijital caydırıcılığın temel ilkesi, saldırganların teknolojik engeller yoluyla elde edebilecekleri potansiyel kazanımları en aza indirmek veya bir saldırıdan sonra misilleme maliyetini aşırı derecede yüksek hale getirebilmektir (Nye. 2011).
Dijital çağın dinamikleri, uluslararası ilişkilerde güç ve güvenlik kavramlarını yeniden şekillendirmektedir. (Waltz, 1979). Geleneksel güç aletleri önemini korurken, bu aletleri teknolojik bir çerçeveye entegre etmek stratejik bir zorunluluk olmaktadır (Nye, 2004). Türkiye'nin bu süreçteki rolü, akıllı güç alanında katılımcı bir ülke haline dönüşmeyi, siber ve elektromanyetik alanlarda kendi teorilerini ve yerli sistemlerini geliştirmeyi içermektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bu gelişim, modern savunma stratejisinin özünü oluşturarak, realizmin hayatta kalma arayışı ile konstrüktivizmin egemenlik kurma çabası arasında bir bağlantı kurmaktadır (Wendt, 1992). Siber savaş ve elektronik savaş, günümüzün en belirleyici ve stratejik açıdan önemli çatışma alanlarından bazıları olmaktadır (Rid, 2012).

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Savaş alanının dijitalleştirilmesi, savaşın fiziksel unsurlarını bilginin ve elektromanyetik spektrumun stratejik avantajlarıyla birleştiren dönüştürücü bir süreç olmaktadır (Arquilla ve Ronfeldt, 1993). Modern askeri teoride zafer artık sadece fiili işgal olarak değil, düşmanın karar alma mekanizmalarını ve iletişim altyapısını felç etmek olarak tanımlanmaktadır (Rid, 2012). Siber uzay, beşinci operasyonel alan olarak belirlenmiş ve dünya genelindeki orduları savunma ve saldırı stratejilerinin merkezine yerleştirmeye zorlamaktadır. Siber savaş, geleneksel güç çarpanı mantığının ötesine geçmekte ve literatürde operasyonel ortamı şekillendirebilen asimetrik bir güç olarak tanımlanmaktadır (Lynn, 2010). Askeri operasyonlarda, siber saldırılar ve kinetik saldırıların eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi, operasyonel hızı ve başarı oranını artırmada kilit bir faktör olabilmektedir (Rid, 2012).
Elektronik savaş (EW), radar ve radyo sistemlerini kontrol etmeyi amaçlayan, elektromanyetik spektrumda dijital savaşın bir tezahürü sayılabilmektedir. Elektronik destek, saldırı ve savunma bileşenleri, düşman kuvvetlerinin koordinasyonunu bozmak ve düşmanın durumsal farkındalığını ortadan kaldırmak için tasarlanmaktadır (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2024). Hibrit savaş teorisinde, elektronik savaş sistemleri yalnızca askeri hedefleri imha etmekle kalmaz, aynı zamanda sosyal iletişim altyapısını da bozabilmektedir (Hoffman, 2007). İnsansız hava araçlarının (İHA) kontrol sinyallerine müdahale edilmesi, karmaşık silah sistemlerinin savaş alanında çalışamaz hale gelmesine neden olabilmektedir (Savunma Sanayii Başkanlığı, 2024). Bu durum, elektromanyetik spektrumun kontrolünün modern savaşta en kritik "avantaj" olduğunu kanıtlamaktadır (Lynn, 2010).
Siber ve elektronik yeteneklerin askeri caydırıcılıktaki rolü, cezalandırma yerine engelleme yoluyla caydırma mantığına dayanmaktadır. Siber savunmasını aşılmaz hale getirebilen veya kendi algoritmalarını kullanarak bir düşmanın elektronik sistemlerini felç edebilen bir ülke, saldırganın maliyet-fayda analizini bozmaktadır. Siber caydırıcılık sadece savunma yeteneklerini değil, aynı zamanda dijital terörle mücadele yeteneklerini de kapsamaktadır. Modern askeri stratejide, güç, akıllı gücün uygulanmasıyla eşdeğerdir; yani kinetik ve siber-elektronik yeteneklerin entegre kullanımıyla eş değer görülmektedir(Nye, 2011). Siber uzayın güvenlik açıkları, en gelişmiş geleneksel sistemleri bile modern düşmanlara karşı çaresiz bırakabilmektedir (Rid, 2012).
Hibrit tehditler, geleneksel askeri güçlere ek olarak siber sabotaj ve dezenformasyonun kullanılmasını gerektiren bir çatışma ortamı yaratır. Bu yeni savaş biçimi, aynı operasyonel hedeflere ulaşmak için askeri personelin, yazılım geliştiricilerin ve teknik uzmanların birlikte çalışmasını gerektirmektedir(Hoffman, 2007).

Siber güvenlik sadece veri korumasıyla ilgili değil, aynı zamanda ulusal güvenliğe yönelik asimetrik risklerin yönetimiyle de ilgili olmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Dijital ve elektromanyetik alanlardaki üstünlük, sürekli bir caydırıcı güç sağlayarak, ulusların barış zamanında bile stratejik özerkliklerini korumalarına olanak tanımaktadır (Nye, 2011). Genel olarak literatür, bu yeteneklerin 21. yüzyılın küresel güç mücadelesinde askeri üstünlüğün en temel belirleyicileri olduğu konusunda hemfikir olmaktadır (Lynn, 2010).

2010 yılından bu yana Türkiye'nin ulusal güvenlik stratejisi, dijital dünyadan oluşan asimetrik tehditleri birincil risk alanı olarak belirleyerek değişime uğratmaktadır. Bu süreçte siber uzay, savaşın beşinci alanı olarak ele alınan ve ulusal çapta "siber bölge" nin doktrini çerçevesinin korunması vurgulanmaktadır (Türkiye Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bu vizyon, ulusal varlığın korunmasına yönelik dijital saldırılara karşı koymayı amaçlamakta ve geleneksel sert güçlerin teknolojik yeteneklerle güçlendirilmesi "akıllı güç" modeline dayanmaktadır (Nye, 2011). Türkiye'nin siber güvenlik politikası, yalnızca teknolojik savunma oluşturmayı değil, aynı zamanda uluslararası sistem içinde teknolojik bağımsızlığı sağlayarak yeniden oluşturma özerkliği de hedeflemektedir (Lynn, 2010). Kurumsal düzeyde siber güvenlik yönetimi, Bilgi ve İletişim Teknolojileri İdaresi (BTK) bünyesindeki Ulusal Siber Olaylara Müdahale Merkezi (USOM) tarafından yürütülmektedir. USOM, kritik altyapıya yönelik tehditleri 7/24 izlemek, analiz etmek ve azaltmakla görevli olmakta ve ulusal siber dayanıklılık için en önemli mekanizma haline gelmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Askeri düzeyde ise Türk Silahlı Kuvvetleri (TSK) Siber Savunma Komutanlığı, dijital savaş alanındaki savunma ve karşı önlem yeteneklerinin koordinasyonundan sorumlu olmaktadır. (Savunma Sanayi Ajansı, 2024). Bu kurumsal yapı, hibrit savaş ortamında ulusal sivil ve askeri sektörlerin koordineli hareketini sağlayarak, dijital alanda güvenlik ikilemlerinin riskini en aza indirmektedir (Hoffman, 2007).

Türkiye'nin elektronik savaş yetenekleri, savunma sanayi projeleri aracılığıyla elektromanyetik spektrumda stratejik üstünlük kurmasını sağlamaktadır. KORAL, REDET ve MILKAR gibi yerli olarak geliştirilen sistemler, düşman iletişim ve radar ağlarını etkisiz hale getirerek savaş alanında durumsal üstünlük elde etmeyi mümkün kılmaktadır (Savunma Sanayi Başkanlığı, 2024). Bu yetenek, modern savaşın "duman perdesi" olarak da adlandırılan, savaş alanında elektronik körleştirme ve aldatma tekniklerinin en etkili şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır (Rid, 2012). Literatür, elektronik savaş sistemlerinin insansız platformlarla birleştirilmesinin, askeri operasyonların maliyetini düşürürken başarı oranını artıran temel bir güç çarpanı olduğunu vurgulamaktadır (Lynn, 2010).

Türkiye'nin "akıllı güç"ün pratik uygulaması, Suriye, Libya ve Dağlık Karabağ'daki askeri operasyonlarında siber ve elektronik savaş sistemlerini askeri güçleriyle birleştirmesiyle gösterilmektedir (Savunma Sanayi Bürosu, 2024). Özellikle Karabağ operasyonunda, Türkiye'nin düşman hava savunma sistemlerini elektronik savaş yoluyla bastırması, modern savaşta teknolojik üstünlüğün belirleyici rolünü göstermektedir (Rid, 2012). Bu başarılar, Türkiye tarafından dış politikasında teknolojik caydırıcılık olarak kullanılmakta ve bölgesel güç dengesini yeniden şekillendirmektedir (Nye, 2011). Dijital caydırıcılık yetenekleri, devlet destekli siber saldırılara ve devlet dışı aktörlerden gelen asimetrik tehditlere karşı savunma amaçlı bir savunma duruşunu temsil etmektedir (Hoffman, 2007).

Türkiye, geleceğe yönelik kalkınma planlarında, 2024-2028 stratejik hedeflerine uygun olarak yapay zekâ destekli otonom savunma sistemleri ve kuantum güvenli iletişim altyapısı geliştirmeye odaklanmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bu süreç, dijital egemenliğin pekiştirilmesi ve siber alanda stratejik üstünlüğün korunması için hayati önem taşımaktadır (Lynn, 2010). Bu politikalar, Türkiye'nin sadece bölgesel bir oyuncu olarak değil, aynı zamanda küresel dijital güvenlik mimarisinde de belirleyici bir rol oynamasını sağlamayı amaçlayan "Akıllı Güç" vizyonu çerçevesinde formüle edilmektedir (Nye, 2011). Siber güvenlik ve elektronik savaş alanındaki sürekli gelişim, 21. yüzyılda ulusal güvenliğin en temel güvencesi olarak kabul edilmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Uluslararası ilişkilerdeki güç dengesinin dijitalleşmesi, devletlerin stratejik avantaj arayışının odağını fiziksel alandan elektromanyetik ve siber alanlara kaydırmaktadır (Arquilla ve Ronfeldt, 1993). Siber güvenlik ve elektronik savaş yetenekleri, bir devletin uluslararası sistemdeki konumunu belirleyen ve stratejik özerkliğini koruyan temel unsurlar haline gelmektedir. Modern stratejide caydırıcılık, bir düşmanın saldırıdan elde edeceği kazanımları teknolojik ve operasyonel engeller yoluyla sıfıra indirme yeteneğiyle doğru orantılı olmaktadır (Nye, 2011).

Siber ve elektronik savaş sistemlerinin sunduğu asimetrik avantajlar, büyük ölçekli askeri çatışma olmadan stratejik hedeflere ulaşmayı mümkün kılmaktadır (Rid, 2012). Bu, geleneksel askeri teorinin, teknolojik yeteneklere odaklanan proaktif bir savunma yaklaşımıyla değiştirildiğini göstermektedir (Lynn, 2010).

Siber güvenlik politikasının stratejik bir sonucu olarak ortaya çıkan dijital caydırıcılık, hem cezalandırıcı hem de caydırıcı mekanizmaları kapsamaktadır (Nye, 2011). Bir ülkenin kritik altyapısının siber saldırılara karşı direncini artırmak, saldırganın başarı oranını düşürerek saldırıların maliyet-fayda dengesini bozabilmektedir (Lynn, 2010). Öte yandan, elektronik savaş sistemleri, savaş alanında durumsal avantaj sağlayarak ve düşmanın askeri karar alma sürecini felç ederek stratejik felce neden olabilmektedir (Savunma Sanayi Başkanlığı Ofisi, 2024). Hibrit savaş ortamında, bu iki alanın entegre kullanımı, ülkelerin barış ve savaşın gri alanlarında ulusal çıkarlarını korumak için en etkili araç sayılmaktadır (Hoffman, 2007). Barış zamanında bile, teknolojik üstünlük kalıcı bir diplomatik kaldıraç ve güvenlik garantisi olmaya devam etmektedir (Nye, 2011).

Elektronik savaş ve siber savaşın pratik uygulaması, modern çatışmaların sonucunu belirlemede teknolojik entegrasyonun önemini göstermektedir (Rid, 2012). Özellikle, insansız hava araçları ve siber elektroniklerin birlikte kullanımı, geleneksel hava savunma sistemlerini etkisiz hale getirmekte ve askeri operasyonların maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır (Savunma Sanayi Başkanlığı Ofisi, 2024). Bu, küçük ve orta ölçekli ülkelerin bile doğru teknolojik yatırımlarla bölgesel güç dengesini potansiyel olarak değiştirebileceğini göstermektedir (Nye, 2011). Siber uzaya ve elektromanyetik spektruma hakim olmak, yalnızca askeri bir zafer değil, aynı zamanda dijital çağda ulusal egemenliğin meşruiyetinin de bir sembolü olmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Artan güvenlik ikilemleri ortamında, teknolojik özerklik, bir ulusun ittifaklar içindeki etkisini ve dış politika esnekliğini artırmada kilit bir faktör görevi görmektedir. (Waltz, 1979).

Kurumsal düzeydeki siber olay müdahale mekanizmaları ve askeri siber komuta sistemleri, bir ülkenin krizler sırasındaki direncini belirlemektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Yurtiçinde üretilen tehdit istihbaratı algoritmalarının kullanmak, yabancı teknolojilere bağımlılıktan kaynaklanan güvenlik açıklarını en aza indirerek stratejik güvenliği güçlendirebilmektedir (Lynn, 2010). Sosyal ve ekonomik süreçlerin giderek dijitalleştiği bir dünyada, siber güvenlik teorisi ulusal hayatta kalma için en kritik savunma hattı olarak kabul edilmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). "Akıllı güç" kavramına bağlı kalan ülkeler, siber savaş ve elektronik savaş yeteneklerini yalnızca askeri operasyonlara değil, aynı zamanda dijital diplomasi ve stratejik iletişim süreçlerine de entegre etmektedir (Nye, 2011). Bu bütünsel yaklaşım, modern güç mücadelelerinin fiziksel alanla sınırlı olmadığını, aynı zamanda düşünce ve veri kontrolünü de içerdiğini göstermektedir (Hoffman, 2007).

Geleceğin güvenlik mimarisi, yapay zekâ ve kuantum teknolojilerinin siber-elektronik sistemlerle kapsamlı entegrasyonu üzerine kurulmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Bu gelişme, ulusal savunma yeteneklerini otomatikleştirmeyi ve tepki süresini milisaniye düzeyine indirmeyi amaçlamaktadır (Lynn, 2010). Siber güvenlik ve elektronik savaş politikalarının stratejik başarısı, bu teknolojik gelişme hızına uyum sağlayabilen esnek kurumsal yapıların sürdürülebilirliğine bağlı olmaktadır. (Rid, 2012). Sonuç olarak, dijital ve elektromanyetik alanlardaki hakimiyet, bir ulusun uluslararası sistem içindeki stratejik hayatta kalma şansını belirleyen en temel güç olmaktadır (Waltz, 1979). Siber ve elektronik güvenlik politikaları artık sadece teknik detaylar değil, ulusal güvenlik teorisinin temelini oluşturan unsur olmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024).

SONUÇ

21. yüzyıl uluslararası sisteminin dönüşümü, güç ve güvenlik tanımını fiziksel alandan dijital ve elektromanyetik alana kaydırmaktadır. Bu çalışmada analiz edilen veriler ve ortaya konan teorik çerçeveye dayanarak, siber güvenlik ve elektronik savaş yeteneklerinin artık modern ulusal savunma sistemlerinin ikincil unsurları değil, ulusal egemenliğin ve stratejik özerkliğin temel direkleri olduğu açıklanmaktadır. Robert Dahl'ın klasik güç tanımından Joseph Nye'nin "akıllı güç" kavramına uzanan bu süreç, ulusların hayatta kalma stratejilerinde teknolojik bir değişime işaret etmektedir (Dahl, 1957; Nye, 2011). Siber alanın beşinci operasyonel alan olarak kabul edilmesiyle, geleneksel gerçekçi güvenlik ikilemine dijital bir boyut kazandırılmakta ve devletlerarası rekabetin hızı milisaniye düzeyine düşmektedir (Lynn, 2010).

Çalışmanın askeri yönüne ilişkin bulguları, Frank Hoffman'ın hibrit savaş teorisinin çağdaş çatışmaların önemli bir özelliğini oluşturduğunu göstermektedir. Geleneksel askeri birimlerin siber sabotaj, dezenformasyon ve elektronik baskı araçlarıyla eş zamanlı kullanımı, geleneksel savaş ile barış arasındaki çizgileri bulanıklaştırmaktadır (Hoffman, 2007). Thomas Reid teorik olarak siber savaşı gerçek savaş olarak değerlendirmeye karşı çıksa da, pratik uygulamalar, bir ulusun karar alma mekanizmalarını felç eden siber saldırıların neden olduğu stratejik hasarın, fiziksel bombalamanınkine benzer olabileceğini göstermektedir (Reid, 2012). Elektromanyetik spektrumda bu dijital savaşın tezahürü olan elektronik savaş, ordunun savaş alanında "görmek, duymak ve konuşmak" için önemli bir teknolojik avantaj alanı haline gelmektedir (Savunma Sanayi Başkanlığı Ofisi, 2024).

Türkiye'deki durumun analizi, 2010 yılından beri uygulanan "Siber Vatan" doktrininin, teknolojik bağımsızlığı ülkenin hayatta kalmasıyla eşdeğer tutan proaktif bir yaklaşımı temsil ettiğini göstermektedir. ABD Siber Güvenlik Operasyonları Merkezi (USOM) ve Türk Silahlı Kuvvetleri Siber Savunma Komutanlığı gibi kurumsal yapıların kurulması, Türkiye'nin siber alandaki asimetrik tehditlere karşı kurumsal direncinin en somut göstergeleri olmaktadır (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2024). Özellikle KORAL ve REDET gibi yerli savunma sanayi projelerinin başarısı, Türkiye'nin basit bir teknoloji kullanıcısından siber ve elektronik savaş alanlarında doktrinler belirleyen bir "akıllı güce" dönüştüğünü teyit etmektedir (Savunma Sanayi Başkanlığı, 2024). Bu yetenek, Türk dış politikasında teknolojik bir caydırıcı olarak işlev görerek, müzakere masasında ağırlığını artırmakta ve bölgesel krizlerde manevra alanını genişletmektedir (Nie, 2011).

Caydırıcılık teorisi perspektifinden bakıldığında, en önemli bulgu, dijital ve elektromanyetik yeteneklerin "inkar yoluyla caydırıcılık" mantığını desteklemektir. Bir devletin siber altyapısını yerel ve ulusal algoritmalar aracılığıyla güçlendirmesi, rakip aktörlerin saldırı dürtülerini caydırarak uluslararası sistemde istikrarı sağlamada bir faktör olarak işlev görmektedir (Nye, 2011). Bu bağlamda, siber güvenlik sadece veri korumasının teknik bir süreci değil, yapılandırmacı teorinin savunduğu gibi, dijital alanda ulusal egemenliğin yeniden inşası olmaktadır (Wendt, 1992). 2026 yılına kadar, yapay zeka ve otonom sistemlerin bu savunma hatlarına entegrasyonu, devletlerin stratejik yanıt hızını artıracak ve güvenlik paradigmasını tamamen otonom bir sürece doğru kaydıracaktır (Lynn, 2010).

Sonuç olarak, siber güvenlik ve elektronik savaş politikaları, 21. yüzyılın anarşik uluslararası sisteminde devletlerin stratejik hayatta kalma şanslarını belirleyen en temel güç sayılmaktadır. Türkiye'nin bu alandaki "akıllı güç" anlayışı, ulusal güvenliği fiziksel sınırların ötesine taşıyarak teknolojik özerklik yoluyla caydırıcılığı sağlamaktadır. Gelecekteki küresel güç mücadelesi, verileri en hızlı işleyen, elektromanyetik spektrumu en iyi yöneten ve dijital egemenliklerini en etkili şekilde güçlendiren aktörler tarafından şekillendirilecektir. Siber ve elektronik savaş artık savunma stratejilerine "eklenti" olmaktan çıkmakta, kendi başına birer strateji haline gelmektedir.

KAYNAKÇA

Arquilla, J. & Ronfeldt, D. (1993). "Cyberwar is Coming!". Comparative Strategy, Cilt 12, No: 2.

Dahl, R. A. (1957). "The Concept of Power". Behavioral Science, Cilt 2, No: 3.

Herz, J. H. (1950). "Idealist Internationalism and the Security Dilemma". World Politics, Cilt 2, No: 2.

Hoffman, F. G. (2007). Conflict in the 21st Century: The Rise of Hybrid Wars. Potomac Institute for Policy Studies Monographs.

Lynn, W. J. (2010). "Defending a New Domain: The Pentagon's Cyber Strategy". Foreign Affairs, Cilt 89, No: 5.

Morgenthau, H. J. (1948). Politics Among Nations: The Struggle for Power and Peace. Alfred A. Knopf.

Nye, J. S. (2004). Soft Power: The Means to Success in World Politics. PublicAffairs.

Nye, J. S. (2011). The Future of Power. PublicAffairs Publishers.

Rid, T. (2012). "Cyber War Will Not Take Place". Journal of Strategic Studies, Cilt 35, No: 1.

Savunma Sanayii Başkanlığı [SSB]. (2024). Türk Savunma Sanayii Projeleri Kataloğu. SSB Yayınları.

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2024). 2024-2028 Ulusal Siber Güvenlik Stratejisi ve Eylem Planı. T.C. Resmi Yayınları.

Waltz, K. N. (1979). Theory of International Politics. McGraw-Hill Publishers.

Wendt, A. (1992). "Anarchy is what States Make of it: The Social Construction of Power Politics". International Organization, Cilt 46, No: 2.

RUSYA'NIN "YAKIN ÇEVRE" DOKTRİNİ VE ORTA DOĞU İSTİSNASI: SURİYE ÖRNEĞİ

RUSSIA'S "NEAR ABROAD" DOCTRINE AND THE MIDDLE EASTERN EXCEPTION: A CASE STUDY OF SYRIA

Emine KARSLİ
Yüksek Lisans Öğr. İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0004-5710-6882

ÖZET

Rusya Federasyonu'nun Soğuk Savaş sonrası dönemde geliştirdiği "Yakın Çevre" doktrininin teorik arka planını, uygulama pratiklerini ve bu doktrinin coğrafi sınırlarının Suriye örneği üzerinden nasıl dönüştüğünü incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın temel sorunsalı, başlangıçta eski Sovyet coğrafyasıyla sınırlı olduğu kabul edilen bu doktrinin, hangi jeopolitik ve stratejik dinamikler doğrultusunda Orta Doğu'ya taşındığı ve Suriye'nin bu süreçte bir istisna mı yoksa doktrinin dönüşümünün bir göstergesi mi olduğunun ortaya konulmasıdır.

Araştırmada, uluslararası ilişkiler disiplininde realizmin temel varsayımları analitik çerçeve olarak benimsenmiştir. Bu kapsamda uluslararası sistemin anarşik yapısı, devletlerin güvenlik arayışı, güç maksimizasyonu ve hayatta kalma önceliği gibi kavramlar üzerinden Rus dış politikası analiz edilmiştir. Çalışma, Rusya'nın dış politika davranışlarının ideolojik söylemlerden ziyade rasyonel ve güvenlik odaklı bir mantıkla şekillendiğini ileri sürmektedir.

Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından ortaya çıkan kimlik bunalımı ve "büyük güç" statüsünü yeniden kazanma isteği, Rusya'nın dış politika yönelimlerinde belirleyici olmuştur. NATO'nun genişlemesi ve Batı merkezli çevreleme algısı, Rusya'nın tehdit algısını derinleştirerek "Yakın Çevre" doktrininin oluşumunu hızlandırmıştır. Bu doktrin, yalnızca coğrafi bir tanımlama değil; aynı zamanda Rusya'nın etki alanını koruma ve genişletme stratejisinin bir aracı olarak şekillenmiştir.

Çalışmanın bulguları, söz konusu doktrinin zamanla sabit bir coğrafi sınırdan çıkarak esnek ve genişleyebilir bir güvenlik alanına dönüştüğünü göstermektedir. Bu dönüşümde Rusya'nın güney kanadı güvenliği, Karadeniz-Akdeniz hattında stratejik derinlik arayışı ve küresel güç statüsünü yeniden tesis etme hedefi etkili olmuştur. Bu bağlamda Orta Doğu, Rusya açısından ikincil bir bölge olmaktan çıkarak stratejik önem kazanmıştır.

Suriye örneği, bu dönüşümün somut bir yansıması olarak ele alınmıştır. Rusya'nın Suriye'deki askeri varlığı, yalnızca bir müttefiki koruma amacıyla değil; aynı zamanda bölgesel güç dengelerini etkileme ve Akdeniz'de kalıcı bir güç projeksiyonu oluşturma hedefiyle açıklanmaktadır. Tartus ve Hmeymim üsleri bu stratejinin en somut göstergeleridir.

Sonuç olarak çalışma, Suriye'nin Rus dış politikasında bir istisna olmadığını; aksine "Yakın Çevre" doktrininin genişleyen ve yeniden tanımlanan bir versiyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, Rusya'nın dış politikasında esnek ve pragmatik bir yaklaşımın benimsendiğini ve realizmin öngördüğü güç ve güvenlik odaklı davranış kalıplarının geçerliliğini koruduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Rusya, Yakın Çevre Doktrini, Realizm, Suriye, Orta Doğu, Güvenlik, Güç, Jeopolitik

ABSTRACT

This study aims to examine the theoretical background, practical implementations, and the transformation of the geographical boundaries of the Russian Federation's "Near Abroad" doctrine developed in the post–Cold War period, through the case of Syria. The main problem of the study is to reveal how this doctrine, which was initially considered to be limited to the post-Soviet geography, has expanded into the Middle East due to various geopolitical and strategic dynamics, and whether Syria represents an exception or a reflection of the transformation of the doctrine.

In this research, the fundamental assumptions of realism in the discipline of international relations are adopted as the analytical framework.

Within this scope, Russian foreign policy is analyzed through key concepts such as the anarchic structure of the international system, the pursuit of security, power maximization, and the primacy of survival. The study argues that Russia's foreign policy behavior is shaped predominantly by a rational and security-oriented logic rather than ideological motivations.
The identity crisis that emerged after the dissolution of the Soviet Union, along with the desire to regain great power status, has played a decisive role in shaping Russia's foreign policy orientation. NATO's expansion and the perception of Western encirclement have deepened Russia's threat perception and accelerated the formation of the "Near Abroad" doctrine. This doctrine has evolved not only as a geographical definition but also as a strategic instrument aimed at preserving and expanding Russia's sphere of influence.
The findings of the study demonstrate that this doctrine has gradually transformed from a fixed geographical boundary into a flexible and expandable security zone. This transformation has been driven by Russia's pursuit of security along its southern flank, its search for strategic depth along the Black Sea–Mediterranean axis, and its objective of reestablishing itself as a global power. In this context, the Middle East has shifted from being a secondary region to gaining strategic importance for Russia.
The Syrian case is addressed as a concrete reflection of this transformation. Russia's military presence in Syria is explained not only by the aim of supporting an ally but also by its intention to influence regional power balances and establish a permanent power projection in the Mediterranean. The Tartus naval base and Hmeimim airbase are the most tangible indicators of this strategy.
In conclusion, the study reveals that Syria is not an exception in Russian foreign policy; rather, it represents an expanded and redefined version of the "Near Abroad" doctrine. This situation indicates that Russia has adopted a flexible and pragmatic approach in its foreign policy, and it confirms that the patterns of behavior predicted by realism—centered on power and security—remain valid.
Keywords: Russia, Near Abroad Doctrine, Realism, Syria, Middle East, Security, Power, Geopolitics

GİRİŞ

Soğuk Savaş'ın sona ermesinden sonraki uluslararası sistem yapısal dönüşümü, yalnızca iki kutuplu güç dengesinin ortadan kalkmasına yol açmakla kalmadı, aynı zamanda küresel güç dağılımının yeniden tanımlandığı yeni bir dönemin başlangıcını da işaret etti. Sovyetler Birliği'nin çöküşüyle ortaya çıkan bu yeni uluslararası bağlamda, Rusya Federasyonu hem jeopolitik hem de ideolojik olarak derin bir kopuş yaşadı; bu kopuş, devletin dış politika yöneliminin yeniden yapılandırılmasını gerektirdi. Bu bağlamda, "Yakın Çevre" doktrini, Rusya'nın dış politika davranışını yorumlamak için geliştirdiği başlıca stratejik yaklaşımlardan birini temsil etmektedir (Derman, 2016: 287-289).
Uluslararası ilişkiler teorisi açısından bakıldığında, realizm, devlet davranışını açıklamak için en sağlam teorik çerçevelerden biri olarak kabul edilir. Realist paradigma, uluslararası sistemin anarşik doğasını vurgular ve devletlerin bu sistem içinde hayatta kalmak için mücadele ettiğini savunur. Bu çerçevede, devletler güvenliklerini sağlamak ve ulusal çıkarlarını önceliklendirmek için güçlerini en üst düzeye çıkarmaya çalışırlar (Booth & Herrin, 1994: 20). Ancak neorealist yaklaşım, bu analizlere daha sistematik bir şekilde yaklaşarak, devlet davranışını uluslararası sistemin özellikleri, güç dağılımı ve tehdit algısı üzerinden açıklar (Sullivan, 2001: 114). Bu bağlamda, Rusya'nın siyasi yapısı güvenlik, güç dengesi ve stratejik çıkarlara odaklanmıştır; ideolojik motivasyonlar ise özellikle belirleyici değildir. Sovyet döneminde Rusya, siyasi istikrarsızlık ve sosyal dönüşüm nedeniyle büyük ekonomik krizlerle karşı karşıya kaldı. Boris Yeltsin'in başkanlığı döneminde liberal ekonomik düzen, piyasa ekonomisine geçişi hızlandırdı; ancak bu süreç, nüfusun büyük kesimleri için önemli sosyoekonomik maliyetlere yol açtı. Özellikle özelleştirme politikaları sonucunda oligarşik bir sınıf ortaya çıktı ve sadece ekonomik değil, siyasi süreçler üzerinde de etkili oldu (Kotz & Weir, 2012: 329-333). Bu kırılgan iç siyasi yapı, Rusya'yı Batı yanlısı bir dış politikaya itti. Ancak, NATO'nun doğuya doğru genişlemesi ve Amerika Birleşik Devletleri'nin tek kutuplu sistemdeki baskın konumu, Rusya tarafından güvenliğine yönelik ciddi tehditler olarak algılandı. Sonuç olarak, Rusya 1993 yılında eski Sovyet topraklarını doğal etki alanı olarak tanımlayan "Yakın Bölge" doktrinini ilan etti (Derman, 2016: 287-289). Bu doktrin sadece coğrafi bir alanı kapsamakla kalmadı, aynı zamanda Rusya'nın güvenlik, etki ve kontrol stratejisinin temel araçlarından biri haline geldi. Nitekim Rusya, Gürcistan (2008) ve Kırım (2014) gibi yerlerdeki askeri müdahalelerini, sınırları dışında yaşayan Rus nüfusunun güvenliğini koruma gerekçesiyle haklı göstererek bu doktrini etkin bir şekilde uyguladı (Herd & Flesch, 2008: 1; Grant, 2015: 75).

Bu, doktrinin statik bir coğrafi alanla sınırlı olmadığını, bunun yerine esnek ve genişletilebilir bir güvenlik anlayışına dayandığını göstermektedir. Bununla birlikte, "Yakın Bölge" doktrini sadece askeri müdahalelerle sınırlı bir strateji değildir. Bu aynı zamanda ekonomik bağımlılık ilişkileri, enerji politikaları ve diplomatik araçlar aracılığıyla yürütülen çok boyutlu bir dış politika yaklaşımını da temsil etmektedir. Rusya, enerji bağımlılığı yaratarak, ekonomik bağları yoğunlaştırarak ve siyasi etkisini artırarak eski Sovyet topraklarındaki etki alanını korumaya çalışmıştır. Bu durum, doktrinin yalnızca güvenliğe dayanmadığını, aynı zamanda jeopolitik ve jeoekonomik bir stratejiyi de temsil ettiğini göstermektedir.

YÖNTEM

Yakın Çevre Doktrininin Dönüşümü ve Küresel Açılım

Soğuk Savaş döneminden sonra, Rusya Federasyonu'nun dış politika yönelimi büyük ölçüde kaybedilen jeopolitik etkiyi yeniden kazanma hedefiyle şekillenmiştir. Bu bağlamda gelişen "Yakın Doğu Doktrini", başlangıçta eski Sovyetler Birliği'ni de içeren bölgesel bir etki alanı stratejisi olarak ortaya çıkmıştır. Ancak zamanla bu doktrin, Rusya tarafından sadece yakın çevresinde değil, küresel ölçekte etki arayışında da kullanılan bir araç haline gelmiştir (Hamzaoğlu, 2020: 281). Sovyetler Birliği'nin çöküşünün ardından Rusya, uluslararası sistemde yaşadığı güç kaybını telafi etmek için stratejik olarak önemli bölgelerde etkisini yeniden kurmayı hedeflemiştir. Bu süreçte, Batı'nın eski Sovyetler Birliği'ne yönelik yayılmacı politikaları Moskova tarafından bir güvenlik tehdidi olarak algılanmış ve Rus dış politikasında daha proaktif ve müdahaleci bir duruşa yol açmıştır (Ercan vd., 2023: 1). Bu bağlamda, "yakın çevre" doktrini sadece bölgesel bir güvenlik politikası değil, Rusya'nın küresel güç iddialarında kullandığı önemli bir araç haline gelmiştir. Bu dönüşümün en somut örneklerinden biri Suriye kriziydi. 2011'de başlayan iç savaş, hızla bölgesel ve küresel aktörleri içeren çok boyutlu bir çatışmaya dönüştü. Suriye'nin jeopolitik konumu, petrol ve doğalgaz boru hatlarına yakınlığı ve Doğu Akdeniz'e açılan bir kapı olması, onu büyük güç rekabetinin merkezine yerleştirdi (Harunoğulları, 2021: 44). Bu bağlamda, Rusya'nın Suriye'ye müdahalesi sadece bir müttefike destek politikası olarak değil, aynı zamanda küresel güç dengesinde yeniden etki kazanma stratejisinin bir parçası olarak da değerlendirilmelidir. Rusya'nın Suriye politikasının ardındaki temel motivasyonlar arasında sıcak denizlere erişim, Doğu Akdeniz'de kalıcı bir askeri varlık oluşturma ve bölgedeki ABD etkisine karşı denge kurma yer almaktadır (Ercan & Tezcan, 2021: 67). Özellikle Tartus deniz üssü, Akdeniz'deki tek Rus askeri varlığını temsil etmesi nedeniyle önemli stratejik öneme sahiptir (Yılmaz, 2020: 102). Bu durum, Rusya'nın Suriye'de kalıcı bir askeri varlık kurma çabalarını açıklayan en önemli faktörlerden biridir. Ancak Rusya'nın Suriye'ye müdahalesi yalnızca askeri ve jeostratejik hedeflerle sınırlı değildir. Aynı zamanda Rusya'nın uluslararası sistemde "büyük güç" statüsünü yeniden tesis etme çabalarının bir göstergesi olarak da görülmektedir. Nitekim, Rusya'nın Suriye'deki aktif rolü, bölgedeki güç dengesini değiştirmiş ve diğer aktörleri pozisyonlarını yeniden gözden geçirmeye sevk etmiştir (Yüce, 2016: 270). Gerçekçi bir bakış açısıyla, Rusya'nın Suriye politikası, güç dengesi, güvenlik ve ulusal çıkarların maksimizasyonu ilkeleriyle şekillenmektedir. Bu çerçevede Rusya, Suriye'deki askeri varlığını kullanarak hem bölgesel hem de küresel olarak stratejik avantajlar elde etmeyi amaçlamaktadır. Dahası, bu müdahale, Rusya'nın uluslararası sistemde tek kutupluluğa karşı çok kutuplu bir yapı oluşturma hedefiyle de tutarlıdır (Asal & Terzi, 2020: 619). Suriye krizi, Rusya'nın Yakın Doğu doktrininden uzaklaşarak daha geniş bir coğrafi alana nüfuzunu genişletmeye yönelik stratejik değişiminin en çarpıcı örneklerinden biri haline gelmiştir. Bu süreç, Rus dış politikasının bölgesel güvenlik yaklaşımından küresel güç projeksiyonuna doğru evrimini göstermektedir. Bu nedenle, Suriye'ye müdahale sadece bir kriz yönetimi operasyonu olarak değil, aynı zamanda Rusya'nın uluslararası sistemde kendini yeniden konumlandırma girişiminde önemli bir adım olarak da görülmelidir (Çağlar Hekimoğlu, 2021: 1405).

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Suriye Örneğinde Doktrinin Uygulanması

Vladimir Putin'in 2000'li yılların başlarında iktidara yükselişi, Rus dış politikasında önemli bir dönüm noktası oldu. Putin yönetimi, merkezi otoriteyi güçlendirdi, devlet kapasitesini yeniden inşa etti ve artan enerji gelirleri yoluyla ekonomik istikrarı sağladı. Bu süreç, Rusya'nın uluslararası sistemde güçlü ve etkili bir oyuncu olarak konumunu yeniden kazanmasını sağladı.

Bu dönemde Rusya, yalnızca yakın coğrafi bölgesinde değil, daha geniş bölgede de etkisini artırmayı amaçlayan politikalar izlemeye başladı. Rus dış politikasındaki bu dönüşüm, Rusya'nın Amerika Birleşik Devletleri'nin tek kutuplu sistemini eleştirdiği ve çok kutuplu bir uluslararası sisteme duyulan ihtiyacı vurguladığı 2007 Münih Güvenlik Konferansı'nda açıkça gösterildi. Bu konuşma, Rusya'nın sadece bölgesel değil, aynı zamanda küresel bir güç olma hevesini açıkça ortaya koydu. Bu bağlamda, Orta Doğu Rusya için giderek artan öneme sahip stratejik bir alan haline geliyordu. Rusya'nın Orta Doğu'ya odaklanmasının nedenleri arasında güney kanadının güvenliği, enerji politikaları, küresel güç rekabeti ve jeostratejik çıkarlar yer alıyordu. Bu süreçte Suriye, bölgedeki Rusya'nın en önemli müttefiklerinden biri olarak ortaya çıktı. Rusya ve Suriye arasındaki ilişkilerin Soğuk Savaş'a kadar uzanan uzun bir geçmişi vardır. Suriye'nin 1946'da bağımsızlığını kazanmasının ardından, Baas Partisi'nin iktidara gelmesiyle Sovyetler Birliği ile bağlar yoğunlaştı (Aslanlı, 2018: 2; Sarıkaya, 2015: 3-5). 1957'de başlayan askeri yardım, 1970'te Hafız Esad'ın iktidara gelmesiyle zirveye ulaştı ve Suriye'yi SSCB'nin Orta Doğu'daki en önemli müttefiklerinden biri haline getirdi (Çağlar Hekimoğlu, 2021: 1408). 1980'de imzalanan Dostluk ve iş birliği Antlaşması, iki ülke arasındaki ilişkiler için bir çerçeve oluşturdu (Karabulut, 2007: 72-75). Bu ilişkiler Sovyetler Birliği'nin çöküşünden sonra zayıflasa da 2000'li yıllardan itibaren Rusya'nın yeniden yükselişiyle toparlandı. Özellikle Beşar Esad'ın 2005'te Moskova'yı ziyaret etmesi ve Rusya'nın Suriye'nin borcunun önemli bir kısmını iptal etmesi, iki ülke arasındaki ilişkilere yeni bir ivme kazandırdı (Kelkitli, 2016: 362-365). 2011'de başlayan Suriye iç savaşı, Rus dış politikasında önemli bir dönüm noktası oldu. Rusya, Libya'daki Batı askeri müdahalesi sonucu ortaya çıkan rejim değişikliğini kendi çıkarları için ciddi bir tehdit olarak gördü. Bu nedenle, Suriye'de benzer bir senaryonun yaşanmasını önlemek için Esad rejimini güçlü bir şekilde destekledi (Allison, 2013: 798).

Diplomatik araçlar, Rusya'nın Suriye'ye yönelik politikasında önemli bir rol oynadı. Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi'ndeki reddetme yetkisini kullanarak yabancı müdahale girişimlerini önleyen Rusya, Suriye krizinin uluslararası çözümünde de aktif rol oynadı. Ancak, Rusya'nın 2015'te Suriye'ye doğrudan askeri müdahalesi, bölgedeki etkisini önemli ölçüde artırdı (Blanga, 2021: 62-63). Bu müdahalenin ardından Esad rejimi önemli başarılar elde etti ve ülkenin topraklarının büyük bir bölümünün kontrolünü yeniden kazandı. Rusya'nın Suriye'deki varlığı, birden fazla stratejik amaca dayanmaktadır. Her şeyden önce, ABD ile küresel rekabet meselesi vardır. Rusya, Suriye aracılığıyla Ortadoğu'daki ABD etkisine karşı denge kurmayı ve uluslararası sistemde büyük bir güç olarak statüsünü yeniden kazanmayı hedeflemektedir (Erşen, 2017: 149). Jeostratejik çıkarlar da belirleyici bir rol oynamaktadır. Tartus deniz üssü, Rusya'nın Akdeniz'deki tek askeri üssüdür ve ülkenin sıcak denizlere ulaşma stratejisinin önemli bir parçasıdır (Yılmaz, 2016: 159-161). Latakia yakınlarındaki Hmeymim hava üssü, bölgedeki Rus askeri operasyonlarının merkezi haline gelmiştir. Ekonomik faktörler de Rusya'nın Suriye politikasında önemli bir rol oynamaktadır. Suriye, Rus silah ihracatı için önemli bir pazar haline gelmiş ve askeri operasyonlar, Rus savunma sanayi ürünlerini test etme ve tanıtma fırsatı sağlamıştır (Samoylov, 2018: 81-85). Ayrıca, Doğu Akdeniz'deki enerji rekabeti, Rusya'nın bölgedeki varlığını daha da stratejik hale getirmiştir.

Güvenlik boyutu da bu müdahalenin önemli bir unsurudur. Suriye'de faaliyet gösteren radikal dini grupların Orta Asya ve Kafkas kökenli militanlara ev sahipliği yapması, bu grupların zamanla Rusya'nın yakın çevresine yayılma olasılığını artırmaktadır. Rusya bu durumu bir tehdit olarak algılamaktadır.

SONUÇ

Soğuk Savaştan sonrası dönemde belirginleşen güvenlik kaygıları ve bölgesel boşluklar tarafından şekillendirilen Rusya'nın "Yakın Çevre" doktrini, zaman içinde sabit bir coğrafi sınırdan daha esnek ve genişletilebilir bir stratejik çerçeveye evrilmiştir. Başlangıçta eski Sovyet topraklarıyla sınırlı olan bu yaklaşım, uluslararası sistemin değişen dinamiklerine paralel olarak daha geniş bir etki alanını kapsayacak şekilde gelişmiştir. Suriye örneği, bu dönüşümün en somut tezahürlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Rusya'nın Suriye'deki askeri ve diplomatik varlığı, yalnızca bir müttefiki koruma hedefiyle değil, aynı zamanda bölgesel güç dengesini etkileme ve Doğu Akdeniz'de kalıcı bir stratejik varlık kurma hedefiyle de açıklanmalıdır. Bu, Rus dış politikasında bölgesel bir güvenlik anlayışından daha geniş bir güç projeksiyonuna doğru bir kaymayı göstermektedir. Bu bağlamda, Suriye Rus dış politikasının bir istisnası değildir; "Yakın Çevre" doktrininin giderek genişleyen güvenlik anlayışının bir uzantısıdır. Bu nedenle, doktrin artık yalnızca coğrafi sınırlarla tanımlanan bir yaklaşım değildir;

Güvenlik, çıkarlar ve güç dengesi temelinde yeniden şekillenen dinamik bir dış politika aracı haline gelmiştir. Sonuç olarak, Rusya'nın dış politika davranışı büyük ölçüde realizmin öngördüğü güç ve güvenlik ilkeleriyle tutarlı görünmektedir. Bu bağlamda, Suriye örneği sadece bölgesel bir kriz alanı olarak değil, aynı zamanda büyük güç rekabetinin yeniden üretildiği ve uluslararası sistemdeki dönüşümlerin gözlemlenebildiği bir arena olarak da değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Aksoy, M. (2019). Rusya'nın Ortadoğu'ya bakışı. Ortadoğu Analiz, 10(89), 68–71.

Allison, R. (2013). Russia and Syria: Explaining alignment with a regime in crisis. International Affairs, 89(4), 795–823. https://doi.org/10.1111/1468-2346.12046

Asal, U. Y., & Terzi, F. (2020). Rus dış politikasında değişimin felsefi temelleri: NATO genişlemesine yönelik Baltıklar'da bir imparatorluk tepkisi. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 19(37), 619–633.

Aslanlı, A. (2018). Rusya'nın Suriye politikası (ORSAM Rapor No. 75). Ortadoğu Stratejik Araştırmalar Merkezi.

Blanga, U. (2021). Syria, Russia and the "Arab Spring": A reassessment. Middle East Policy, 27(4), 62–82. https://doi.org/10.1111/mepo.12558

Booth, K., & Herrin, E. (1994). Key guide to information sources in strategic studies. Mansell Publishing.

Çağlar Hekimoğlu, K. (2021). Suriye krizi bağlamında Rusya'nın Suriye politikası. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 35(4), 1405–1422.

Derman, G. S. (2016). Bağımsız Devletler Topluluğu (BDT) dönemi Rus dış politikası paradigmaları. Gazi Akademik Bakış, 10(19), 283–295.

Ercan, A., & Tezcan, R. L. (2021). Rusya'nın Suriye politikasının geçmişten günümüze etkileri. Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi (KOSBED), 42, 67–89. https://doi.org/10.35343/kosbed.942713

Ercan, M., Abbasov, S., & Gemici, E. (2023). Yakın çevre doktrini bağlamında Dağlık Karabağ sorununun Rusya Federasyonu ulusal güvenlik politikasına etkisi. Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi, 6(2).

Erşen, E. (2017). Rusya'nın Suriye politikası: Fırsatlar, riskler ve tehditler. İçinde H. B. Yalçın & B. Duran (Ed.), Küresel ve bölgesel aktörlerin Suriye stratejileri (ss. 149–174). SETA Yayınları.

Grant, T. D. (2015). Annexation of Crimea. American Journal of International Law, 109(1), 68–95. https://doi.org/10.5305/amerjintelaw.109.1.0068

Hamzaoğlu, H. (2020). Rus dış politikasında realist yaklaşım: Primakov doktrini ve yakın çevre kavramı. Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, 8(24), 281–299.

Harunoğulları, M. (2021). ABD ve Rusya'nın Suriye iç savaşına müdahalelerinin jeopolitik yaklaşımları. Ortadoğu ve Göç Dergisi, 11(1), 43–84.

Herd, G. P., & Flesch, D. (2008). The Georgia crisis: Implications for the Partnership for Peace. PfP Consortium Quarterly Journal, 8(1), 1–10.

Karabulut, B. (2007). Soğuk Savaş sonrası dönemde Rusya-Suriye ilişkileri. Uluslararası İlişkiler Dergisi, 4(15), 65–90.

Kelkitli, F. A. (2016). Russian foreign policy in the Middle East after the Arab Spring. Perceptions: Journal of International Affairs, 21(3), 355–375.

Kotz, D. M., & Weir, F. (2012). Russia's path from Gorbachev to Putin: The demise of the Soviet system and the new Russia. Routledge.

Köstem, S. (2017). Russian-Turkish cooperation in Syria: A new phase in bilateral relations. Insight Turkey, 19(4), 15–32.

Samoylov, A. (2018). Russian arms exports and the Middle East. Journal of Eurasian Studies, 9(1), 81–90.

Sarıkaya, Y. (2015). Rusya-Suriye ilişkilerinin tarihsel arka planı. Akademik Orta Doğu, 9(2), 1–20.

Sullivan, M. P. (2001). Russia and the new world order. Current History, 100(648), 113–119.

Yılmaz, S. (2016). Rusya'nın Doğu Akdeniz politikası ve Tartus üssü. Uluslararası Politika Akademisi, 3(2), 159–161.

Yılmaz, S. (2020). Rusya'nın Suriye politikası. İlbilge Yayıncılık.

Yüce, S. (2016). Rusya'nın Suriye'deki varlığının nedenleri. Kastamonu Üniversitesi İİBF Dergisi, 11, 269–280.

OLASI TÜRKİYE-MISIR MEB ANLAŞMASININ STRATEJİK VE EKONOMİK ANALİZİ

STRATEGIC AND ECONOMIC ANALYSIS OF A POTENTIAL TÜRKİYE-EGYPT MARITIME BOUNDARY AGREEMENT

Yusuf Girayalp ATAN
Doktorant, Marmara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0003-0340-0133

ÖZET

Çalışma, Türkiye ve Mısır arasında imzalanması muhtemel Deniz Yetki Alanlarının Sınırlandırılması (MEB) Anlaşması'nın taraflar üzerindeki stratejik, hukuki ve ekonomik etkilerini 2026 yılı güncel verileri ışığında analiz etmektedir. On yıllık bir diplomatik durgunluğun ardından ikili ilişkilerin "Stratejik Ortaklık" seviyesine yükselmesi, Doğu Akdeniz enerji denkleminde yapısal bir kırılma yaratmıştır. Makalede, olası bir anlaşmanın Türkiye'nin "Mavi Vatan" doktrini çerçevesindeki kıta sahanlığı tezlerini nasıl tahkim ettiği ve Yunanistan'ın maksimalist sınır iddialarına karşı nasıl bir hukuki bariyer oluşturduğu incelenmektedir. Mısır açısından ise analiz, Kahire'nin enerji merkezi (hub) olma vizyonu ile Türkiye'nin sunduğu, mevcut Yunanistan-Mısır anlaşmasına kıyasla yaklaşık 15000 – 20000 km^2 daha geniş bir deniz alanını kapsayan "kazan-kazan" modelinin rasyonel bir muhasebesini sunmaktadır.

Çalışma, nitel araştırma yöntemlerini kullanarak her iki ülkenin enerji arz güvenliği, sismik iş birliği potansiyeli ve bölgesel güç dengeleri üzerindeki etkilerini tartışmaktadır. Bulgular, bir Türkiye-Mısır MEB uzlaşısının sadece ikili ticareti 15 milyar dolar hedefine yaklaştırmakla kalmayacağını, aynı zamanda Doğu Akdeniz Gaz Forumu (EMGF) ve Libya düğümü gibi bölgesel kriz alanlarında de-eskalasyon sağlayarak istikrarlı bir enerji koridoru oluşturacağını savunmaktadır. Sonuç olarak çalışma, teknik koordinatların belirlenmesindeki jeopolitik riskleri ve uluslararası deniz hukukunun (UNCLOS) dinamik yorumlanması gerekliliğini vurgulayan bir projeksiyon sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğu Akdeniz, Münhasır Ekonomik Bölge (MEB), Türkiye-Mısır İlişkileri, Enerji Jeopolitiği, Deniz Hukuku, Mavi Vatan.

ABSTRACT

This study analyzes the strategic, legal, and economic implications of a potential Maritime Boundary Delimitation (EEZ) Agreement between Türkiye and Egypt, in light of updated 2026 data. The elevation of bilateral relations to the level of "Strategic Partnership" following a decade-long diplomatic hiatus has created a structural shift in the Eastern Mediterranean energy equation. The article examines how a potential agreement reinforces Türkiye's continental shelf claims within the framework of the "Blue Homeland" (Mavi Vatan) doctrine and establishes a legal barrier against Greece's maximalist maritime boundary claims. For Egypt, the analysis presents a rational assessment of the "win-win" model offered by Türkiye—which encompasses an additional maritime area of approximately 15000 – 20000 km^2 compared to the current Greece-Egypt agreement—aligned with Cairo's vision of becoming a regional energy hub.

Utilizing qualitative research methods, the study discusses the impacts on energy supply security, potential seismic cooperation, and regional power balances for both nations. The findings argue that a Türkiye-Egypt EEZ reconciliation will not only bring bilateral trade closer to the 15 billion dollar target but also facilitate de-escalation in regional crisis areas such as the Eastern Mediterranean Gas Forum (EMGF) and the Libyan deadlock, thereby creating a stable energy corridor. Consequently, the paper provides a projection highlighting the geopolitical risks in determining technical coordinates and the necessity of a dynamic interpretation of the International Law of the Sea (UNCLOS).

Keywords: Eastern Mediterranean, Exclusive Economic Zone (EEZ), Türkiye-Egypt Relations, Energy Geopolitics, Law of the Sea, Blue Homeland.

ULUSLARARASI SU YOLLARININ EKONOMİK DEĞERİ ÇERÇEVESİNDE SÜVEYŞ KRİZİ VE ABD/İSRAİL-İRAN SAVAŞI'NDA HÜRMÜZ BOĞAZI'NIN STRATEJİK VE JEOPOLİTİK ÖNEMİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

A COMPARISON OF THE STRATEGIC AND GEOPOLITICAL IMPORTANCE OF THE STRAIT OF HORMUZ IN THE SUEZ CRISIS AND THE USA/ISRAEL-IRAN WAR WITHIN THE CONTEXT OF THE ECONOMIC VALUE OF INTERNATIONAL WATERWAYS

Samet TUFAN
Dr., Independent Resercher
ORCID NO: 0009-0006-4486-6887

ÖZET

Bu bildirinin amacı, küresel ekonomi açısından hayati öneme sahip olan dünyanın iki önemli uluslararası su yolu, Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı'nın stratejik ve jeopolitik açıdan karşılaştırmasını, 1956 Süveyş Krizi ve 2026 ABD/İsrail-İran Savaşı çerçevesinde ele almaktır. Bu bağlamda, 1956 Süveyş Krizi, Soğuk Savaş'ın olağanüstü koşulları altında NATO üyelerini karşı karşıya getirmiş; kriz sonrasında ise Doğu ve Batı Bloku dışındaki Üçüncü Dünya, büyük güçlerin yoğun bir rekabet alanına dönüşmüştür. Günümüzde ABD/İsrail-İran Savaşı sürecinde de Hürmüz Boğazı, dünya enerji arzı açısından kritik konumunu bir kez daha ortaya koymuş; ABD ve Avrupa'yı enerji güvenliği bakımından tedirgin ederken, Çin ve Rusya'nın İran'a örtülü destek vermesine zemin hazırlamıştır. Bu bildiride, Süveyş Krizi ile güncel ABD/İsrail-İran Savaşı bağlamında Hürmüz Boğazı'na ilişkin akademik çalışmalar ve basın haberleri derlenmiştir. Öncelikle, 1956 Süveyş Krizi'ne ilişkin makale, tez ve kitaplar taranmış; ardından 2026 ABD/İsrail-İran Savaşı kapsamında Hürmüz Boğazı üzerine yazılı ve görsel basında yer alan haberler incelenmiştir. Araştırma sürecinde; Süveyş Krizi, ABD, İngiltere, Fransa, İsrail, SSCB/Rusya, İran, Hürmüz Boğazı, enerji, petrol ve LNG gibi anahtar kavramlar üzerinden taramalar yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Süveyş Kanalı küresel ticaret açısından bir geçiş ve lojistik hat olarak öne çıkarken, Hürmüz Boğazı petrol ve LNG ticaretinin merkezinde stratejik olarak yer almaktadır. Süveyş Kanalı'nın alternatifi Ümit Burnu iken, Hürmüz Boğazı için Basra Körfezi dışına doğrudan bir alternatif çıkış noktası bulunmamaktadır. Bununla birlikte Türkiye, Kerkük–Ceyhan Petrol Boru Hattı ile sınırlı da olsa alternatif bir enerji koridoru olarak dikkat çekmektedir. Sonuç olarak, Süveyş Kanalı küresel ticaretin hızını ve maliyetini belirleyen bir unsur niteliği taşırken, Hürmüz Boğazı petrol ve LNG ihracatı üzerinden küresel enerji arzının ana çıkış noktası konumundadır. 1956 Süveyş Krizi'nde kanal, kara ve deniz unsurlarının kontrolü yoluyla askerî olarak ele geçirilmiştir. Buna karşılık Hürmüz Boğazı'nın, asimetrik savaş stratejileri kapsamında mayınlar, insansız hava araçları ve füzelerle deniz geçişine kapatılabileceği ve bu yönüyle savunmasının görece daha kolay olduğu değerlendirilmektedir.
Anahtar kelimeler: Süveyş Krizi, Hürmüz Boğazı, ABD, İran, İsrail, Enerji.

ABSTRACT

The aim of this paper is to provide a strategic and geopolitical comparison of two of the world's most critical international waterways for the global economy—the Suez Canal and the Strait of Hormuz—within the framework of the 1956 Suez Crisis and the 2026 USA/Israel-Iran War. In this context, the 1956 Suez Crisis, unfolding under the extraordinary conditions of the Cold War, brought NATO members into direct confrontation. In the aftermath of the crisis, the so-called Third World, beyond the Eastern and Western blocs, became an intense of competition among major powers. In the contemporary period, during the ongoing USA/Israel-Iran conflict, the Strait of Hormuz has once again demonstrated its critical role in global energy supply. It has heightened concerns in the United States and Europe regarding energy security, while also creating conditions that enable China and Russia to extend indirect support to Iran. This study compiles both academic literature and media reports addressing the Suez Crisis and the Strait of Hormuz in the context of the current USA/Israel-Iran conflict. First, articles, theses, and books related to the 1956 Suez Crisis were reviewed. Subsequently, written and visual media coverage concerning the Strait of Hormuz during the 2026 conflict was analyzed. The research process was conducted using key terms such as the Suez Crisis, the United States, the United Kingdom, France, Israel, the USSR/Russia, Iran, the Strait of Hormuz, energy, oil, and LNG.

The findings indicate that the Suez Canal primarily functions as a transit and logistical corridor for global trade, whereas the Strait of Hormuz occupies a central strategic position in the trade of oil and liquefied natural gas (LNG). While the Cape of Good Hope serves as an alternative route to the Suez Canal, there is no direct alternative exit route from the Persian Gulf comparable to the Strait of Hormuz. Nevertheless, Türkiye emerges as a limited alternative energy corridor through the Kirkuk-Ceyhan Oil Pipeline. In conclusion, the Suez Canal plays a decisive role in determining the speed and cost of global trade, whereas the Strait of Hormuz serves as the principal outlet for global energy supply, particularly in terms of oil and LNG exports. During the 1956 Suez Crisis, the canal was militarily seized through the control of land and naval forces. In contrast, the Strait of Hormuz could be effectively disrupted through asymmetric warfare strategies—such as naval mines, unmanned aerial vehicles, and missile systems—making it comparatively easier to deny maritime passage and defend in strategic terms.
Keywords: Suez Crisis, Strait of Hormuz, USA, Iran, Israel, Energy.

GİRİŞ

Uluslararası su yolları tarih boyunca dünyadaki güç dengeleri açısından son derece stratejik ve jeopolitik konumda yer almışlardır. Uluslararası su yollarının stratejik ve jeopolitik açıdan önemli olmalarının sebepleri; küresel ticaret ve hammadde geçişi, enerji ve gıda arzı, bölgesel ve küresel güvenlik stratejileri bakımından hayati olmalarından kaynaklanmaktadır. Dünya üzerinde küresel ve bölgesel güvenlik, ticaret ve enerji arzı bakımından kritik sekiz adet önemli su geçidi bulunmaktadır. Bunlar; İstanbul ve Çanakkale Boğazları, Süveyş Kanalı, Babü'l Mendep Boğazı, Hürmüz Boğazı, Cebelitarık Boğazı, Malakka Boğazı, Sunda ve Lombok geçitleri ve Panama Kanalı olarak sıralanmaktadır (Davutoğlu, 2015). Söz konusu bu sekiz kanaldan ikisi olan Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı da dünya ticareti ve enerji arzı açısından son derece hayati konumda bulunmaktadır.

Öncelikle Süveyş Kanalı projesinin geçmişi ilk çağlara kadar gitmektedir. M.Ö. XIV. yüzyılda II. Ramses'ten Roma İmparatoru Hadrianus'a oradan Hz. Ömer'in Mısır Valisi Amr b. As'a, II. Selim'den I. Napolya'a kadar Kızıl Deniz ile Akdeniz'i birbirine bağlama fikri hep gündemde olmuştur. Osmanlı Devleti'nin 25 Nisan 1859'da Fransız Ferdinand de Lesseps'in projesine onay vermesiyle açılmaya başlanan Süveyş Kanalı 16 Kasım 1869'da tamamlanarak faaliyete geçmiştir. Süveyş Kanalı faaliyete geçtiğinde 163 km. uzunluğunda, 75-125 metre genişliğinde ve 8 metre derinliğindeydi (Bilge, 2010). Süveyş Kanalı'nın açılması Osmanlı Devleti'nin toprağı olan Mısır'a Avrupalı büyük güçlerin göz dikmesine neden olmuştur. Bahse konu büyük güçlerden en önemlisi İngiltere'dir. Çünkü Hindistan, İngiliz Sömürge İmparatorluğu'nun vazgeçilmez parçasıdır. Hindistan ve Uzak Doğu yolu'nun kontrol altına alınabilmesi için Süveyş Kanalı stratejik bir konumdadır. Bu amaçla İngiltere 1882'de Mısır'ı işgal etmiştir (Özçelik ve Öztürk, 2021). 1914 yılından itibaren ise, Mısır İngiltere'nin sömürgesi haline gelmiş ve I. Dünya Savaşı boyunda hem lojistik hem de asker sevkiyatında Süveyş Kanalı İngiltere'ye büyük faydalar sağlamıştır.



Şekil 1. Süveyş Kanalı'nın Görüntüsü (Google Earth, 2026).

II. Dünya Savaşı'nın ardından 1948'de Orta Doğu'da İsrail'in kurulmasıyla Soğuk Savaş'ın sert ikliminde Arap ülkelerinin bir kısmı Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği'ne (SSCB) yanaşmış ve Batı dünyasına karşı olumsuz bir tutum almıştır (Kıllıoğlu, 2021). Bahse konu süreçte İngiltere ile Mısır arasında 1954 yılında yapılan antlaşmaya göre, İngiltere Süveyş Kanalı'nı silahsızlandırmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nin (ABD) Asvan Barajı'na kredi vermemesi üzerine Mısır, Süveyş Kanalı'nı 26 Nisan 1956'da millîleştirmiştir (Bilge, 2010). İngiltere, II. Dünya Savaşı'ndan sonra dekolonizasyonun etkisiyle sömürgelerinden çekilmeye başlamıştır. Ancak stratejik ve jeopolitik açıdan Kıbrıs, Malta ve Cebelitarık'a uzanan Akdeniz ile Hindistan ve Uzakdoğu'dan Kızıl Deniz'e uzanan ticaret yolunun kilit noktası Süveyş Kanalıydı (Kıllıoğlu, 2021). Bundan dolayı Süveyş Kanalı hem İngiltere için hem de genel olarak Batı için Doğu-Batı ticaretinde hayati konumda bulunmaktaydı. Fakat ABD, dekolonizasyon sürecini destekliyor ve İngiltere ile birlikte Kuzey Atlantik Antlaşması Teşkilatı'nın (NATO) alanı dışında senkronize hareket ederek bir suç ortaklığına girmek istemiyordu. Zaten SSCB ile silah anlaşması yapmış bir Mısır ve ona liderlik eden Batı karşıtı millîyetçi bir lider vasıtasıyla NATO'nun imajı zedelenebilirdi (Engin ve Tufan, 2025). ABD'nin muhalefetine rağmen Ekim 1956'da İngiltere, Fransa ve İsrail askerî harekât başlatarak Süveyş Kanalı'nı işgal ettiler (Gönlübol ve ark., 2014). Bu sırada Avrupa'da Macaristan olayları patlak vermişti (Serbest, 2017). ABD ise, SSCB'nin Avrupa güvenliğine karşı oluşturduğu tehdidi görerek NATO'nun alan dışına değil kendi savunmasına odaklanması gerektiği kanısındaydı. Çünkü Avrupa'da Macaristan olaylarıyla SSCB tehdidi daha da artmışken NATO'nun alan dışına odaklanması onu tıpkı SSCB gibi emrperyal bir güç gibi yansıtabilirdi. ABD, NATO müttefikleri İngiltere ve Fransa'dan ve Orta Doğu'da desteklediği İsrail'den derhal Mısır'dan çekilmelerini istedi. ABD'nin tepkisi üzerine önce İngiltere ve Fransa ardından da İsrail Süveyş Kanalı'nın işgalini sonlandırdılar (Engin ve Tufan, 2025). Bu dönemde Süveyş Krizi'nden dolayı kanal Mart 1957'ye kadar kapalı kalmıştır. Süveyş Kanalı'ndan ticari olarak olumsuz etkilenen sadece Batı değildi aynı zamanda Hindistan ve Suudi Arabistan Mısır'a kanalın açılması için baskı yapmışlardı (Cumhuriyet, 1957). Mart ayının sonuna gelindiğinde Süveyş Kanalı büyük gemilere açılmıştır (Cumhuriyet, 1957). Süveyş Kanalı söz konusu savaştan son derece olumsuz etkilenmiştir.

Bu çalışmanın diğer veçhesini oluşturan Hürmüz Boğazı'na bakıldığında; Bahreyn, Birleşik Arap Emirlikleri (BAE), Irak, İran, Kuveyt ve Suudi Arabistan'ın petrol ve sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) ürünlerini Basra Körfezi'nden tüm dünyaya ulaştıran alternatifsiz ve stratejik öneme sahip bir uluslararası su yolu olduğu gerçeği ortaya çıkmaktadır (Demir, 2014). Hürmüz Boğazı'nın girişi Umman Körfezi ve Arap Denizi ile çevrilidir (Britannica, 2026). Adı geçen uluslararası su yolunun kuzey kıyısı İran'a, güney kıyısı Umman'a aittir. Hürmüz Boğazı'nın en dar yeri 33 km. en geniş yeri de 95 km.'dir (Google Earth, 2026). İlk petrol krizi 1973 Yom Kippur Savaşı sırasında ABD'nin İsrail'e destek vermesiyle Arap Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü'nün (OAPEC daha sonra OPEC) Batı'ya petrol ambargosu uygulamasıyla meydana gelmiştir (Tufan, 2025). Bundan sonraki enerji arzı sorunu ise, 1979 İran Devrimi sırasında ve ardından İran-Irak Savaşı'nda ortaya çıkmıştır (Mabee, 2026). Hürmüz Boğazı'nın geçmişten beri küresel enerji arzının en işlek ve stratejik deniz rotası olduğu bilinmektedir.

Söz konusu deniz rotasının önemi ABD/İsrail-İran Savaşı ile bir kez daha gündeme gelmiştir. 28 Şubat 2026 tarihinde ABD ve İsrail, İran'a karşı saldırı başlatmış ve böylece ABD/İsrail-İran savaşı başlamıştır. ABD ve İsrail saldırılarına balistik füzelerle karşılık veren İran sadece bölge ülkesi İsrail'e değil aynı zamanda ABD'nin Orta Doğu'daki üslerine de misilleme saldırılarında bulunmuştur (Anadolu Ajansı, 2026). İran tarafından ilk etapta vurulan ABD üsleri; ABD Donanması 5. Filo Karargâhı/Bahreyn, Ali Al Salem Hava Üssü/Kuveyt, Erbil Uluslararası Havalimanı/Irak, Jebel Ali Limanı/BAE olarak sıralanmıştır. Bilindiği üzere savaşlar sadece askerî olarak değil aynı zamanda ekonomik, siyasi, diplomatik, basın yayın ve enformasyon, istihbarat, propaganda gibi birçok unsurla birlikte yürütülmektedir. Bu bağlamda İran, savaş başlar başlamaz ilk olarak Hürmüz Boğazı hamlesini yapmıştır.



Şekil 2. Hürmüz Boğazı'nın Görüntüsü (Google Earth, 2026).

Halihazırda stratejik birçok özellik barındıran uluslararası su yolları, üzerinde sağlanan hakimiyet ve kontrol ile güç dengelerinin belirlenmesinde küresel bir etkiye sahiptir (Tarçın ve Canpolat, 2026). Bunu bilen İran Devrim Muhafızları Ordusu, 2 Mart 2026'da Hürmüz Boğazı'nın kapatıldığını duyurmuş ve geçmeye çalışan gemilerin vurulacağını açıklamıştır (Anadolu Ajansı, 2026). İran, jeopolitik konumunun avantajını ve sahip olduğu asimetrik savaş imkanları çerçevesindeki askerî yeteneklerini kullanarak Hürmüz Boğazı'ndan geçişi engelleme kabiliyetine sahiptir. İran'ın Hürmüz Boğazı'nı kapatmasının ana nedeni, Basra Körfezi'ne kıyısı olan petrol ve LNG ihraç eden ülkelerin bahse konu uluslararası su yolunu kullanmadan enerji ihraç etmesinin neredeyse imkânsız olmasıdır (Demir, 2014). İran'ın Hürmüz Boğazı'nı kapatması küresel enflasyonu artırmış ve boğazdan geçecek ticaret gemilerine saldırı olasılığı güvenlik ve jeopolitik riskleri beraberinde getirmiştir (Anadolu Ajansı, 2026). İran'ın Hürmüz Boğazı'nı kapatmasının ardından gemi geçişleri %90 azalmıştır (TRT Haber, 2026). Aynı zamanda kriz küresel enerji piyasalarını vakit kaybetmeksizin etkileyerek Brent petrolün fiyatı 85 doları geçerek tırmanışa geçmiştir (Bloomberg HT, 2026). Böylece Avrupa'da gaz fiyatları %100'ü aşmıştır (TRT Haber, 2026). Siyasi ve askerî hedefi tam olarak netleşmemiş, ucu açık, bölgeye ve hatta dünyaya yayılma riski büyük ve son derece pahalıya mâl olan bahse konu savaş ABD'nin jeopolitik ve stratejik olarak yanlış hesaplama yaptığını göstermektedir. Ayrıca İran, psikolojik olarak üstünlüğü de ele geçirmiş görünmektedir. Bu açıdan ABD'nin psikolojik olarak baskı altında kaldığı belirtilebilir (Ersanel, 2026). İran Silahlı Kuvvetleri bir açıklama yaparak Hürmüz Boğazı'nda hiçbir şeyin eskiye dönmeyeceğini ve bundan sonra kuralları kendilerinin koyacaklarını açıklamıştır (Haber Global, 2026). Açıklamanın ardından ABD Başkanı Donald Trump, Hürmüz Boğazı konusunda "istediğimiz her şeyi biz kontrol edeceğiz" sözleriyle İran'a meydan okumuş ve NATO üyelerinden İran konusunda daha fazla destek olmalarını istemiştir (TRT Haber, 2026). ABD Başkanı'nın bu açıklaması NATO'yu alan dışında göreve davet ettiğinin açık göstergesidir. Ancak bölgedeki en güçlü ve NATO üyesi olan Türkiye'nin stratejik akılla yürütülen sağ duyulu ve iletişime açık dış politikasının yanında Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan'ın "savaşın bölge ülkeleri arasında bir yıpratma savaşına dönüşmesini istemiyoruz" açıklaması basında, Körfez ülkelerinin İran'a karşı savaşa girmemeleri konusunda Türkiye'nin bir uyarısı olarak yorumlanmıştır (Ekonomi Manşet, 2026). ABD/İsrail-İran Savaşı tüm hızıyla devam ettiği sırada Trump'ın İran'a yönelik "bir medeniyet yok olacak ve asla geri gelmeyecek" tehdidi bölgede ve dünyada nükleer silahları akla getirmiş ve paniğe yol açmıştır (Anadolu Ajansı, 2026). Bölge ülkelerinden Pakistan'ın arabulucuk yaptığı ABD-İran müzakerelerinde, İran'ın Hürmüz Boğazı'nı açmasına karşılık 8 Nisan'da iki haftalık bir ateşkes iki tarafça kabul edilmiştir. İran Dışişleri Bakanı Abbas Arakçi, ateşkes sürecinde Hürmüz Boğazı'ndan geçişlerin İran ordusu ile koordineli bir şekilde sağlanacağını açıklamıştır (Anadolu Ajansı, 2026).

ABD ile İran arasındaki geçici ateşkesin kalıcı bir barış için karşılıklı güven, diyalog ve diplomasi sürecinin başlangıcı mı yoksa her iki tarafın zaman kazanma stratejisi mi olduğunu zaman gösterecektir. Henüz bir barış anlaşmasına varmayan iki taraf için bu geçici ateşkes bölgesel istikrar ve küresel barış açısından fırsat olmakla birlikte ABD/İsrail-İran Savaşı devam etmekte ve bölgeye yayılma riski bulunmaktadır.

YÖNTEM

Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı'nın Siyasi, Ekonomik ve Askerî Verilerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma, tarih ve uluslararası ilişkiler disiplinlerinin kesişiminde konumlandığından nitel araştırma yöntemi kullanılmıştır. Araştırma sırasında öncelikli olarak tarih biliminin tarama yönteminden elde edilen nitel veriler vaka çalışması tekniği ile tarihsel bağlamda siyasi, ekonomik ve askerî stratejiler ışığında karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Bu çerçevede Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı'nın aktörler, güç dengeleri, stratejik hedefler ve kriz yönetimleri ayrı ayrı vaka olarak incelenmiştir. Böylece her iki vaka kendi bağlamında değerlendirilmiş ve uluslararası aktörlerin tutumları ve olayların gelişiminin benzerliklerine dikkat çekilmiştir.

Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı'nda ana tema olan Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı gibi iki uluslararası su yolunun jeopolitik konumları, enerji ve ticaret yollarına etkileri, uluslararası aktörlerin müdahil olma düzeyi, askerî güç kullanımı ve küresel ekonomiye etkileri kapsamında karşılatırmalı analiz yöntemi kullanılarak benzerlikler ve farklılıklar ortaya konulmuştur. Ayrıca her iki vaka örneğinde stratejik uluslararası su geçitlerinin küresel ticaret, enerji arz güvenliği ve askerî hareketlilik bakımından taşıdığı önem jeopolitik olarak değerlendirilmiştir. Bu bağlamda uluslararası su yollarını kontrol eden aktörlerin uluslararası sistemde güç projeksiyonunun belirleyicileri oldukları da belirtilmiştir.

Bu araştırmada tarih biliminin yöntemlerinden yararlanırken teorik olarak uluslararası ilişkiler disiplininin temel yaklaşımlarından biri olan realizm perspektifi doğrultusunda devletlerin ana motivasyonunun güç ve güvenlik olduğu varsayımı üzerinde durulmuştur. Çalışmada analiz edilen her iki vaka örneği olan Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı; büyük güçlerin stratejik çıkarları, siyasi ve askerî hedefleri, güç dengesi politikaları ve bölgesel hakimiyet mücadelelerine tarih ve uluslararası ilişkiler disiplinleri açısından son derece önemli birer örnektir. Tüm bunlara ek olarak çalışmada içerik analizi yöntemi kullanılarak resmî açıklamalar, lider söylemleri ve siyasi belgeler incelenmiştir. Böylece aktörlerin söylem düzeyleri ile fiili olarak saha politikaları arasındaki ilişki de değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan bu yöntemler sayesinde tarihsel derinlik ve teorik analiz gücü birleştirilerek bütüncül bir değerlendirme sunulmaya çalışılmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

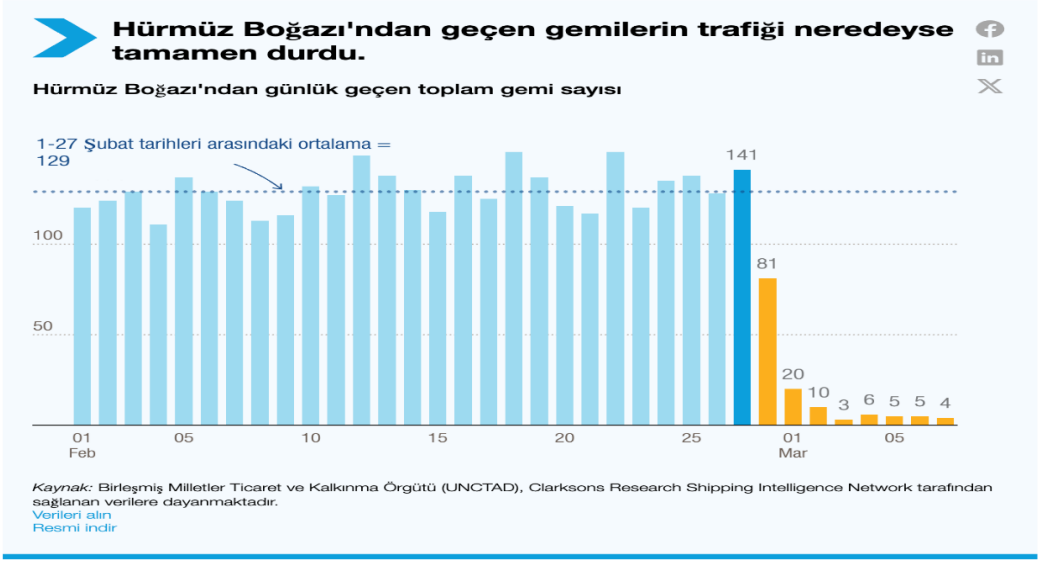
Yukarıda belirtildiği üzere Süveyş Kanalı dünya ticaretinin ana arterlerindendir ve küresel ticaret ve lojistiğin önemli bir güzergahıdır. Hürmüz Boğazı ise, küresel enerji arzında en hayati su geçitlerinden bir tanesidir ve global petrol ve LNG ticaretinin stratejik noktasıdır. Süveyş Kanalı global ticari nakliyenin %12'sini, küresel petrol sevkiyatının da %2,5'ine sahiptir. 2022 yılı verilerine göre, Süveyş Kanalı'ndan 26.000 gemi geçmiştir. Fakat Süveyş Kanalı'nın işlerliğini etkileyen unsurlar bulunmaktadır (Özen ve Elagöz, 2024). Tıpkı Süveyş Krizi sırasında olduğu gibi o zamandan günümüze kadar olan zaman diliminde bölgesindeki çatışmalar, krizler ve korsan saldırılardan kanal etkilenmiştir. Özellikle 1967 Arap-İsrail Savaşı ve 1973 Yom Kippur Savaşı dolayısıyla 1967 ile 1975 yılları arasında kanal adeta ölü bir alana dönüşmüştür (Bilge, 2010). Süveyş Kanalı, 7 Ekim 2023'te başlayan İsrail-Hamas saldırılarında ve İsrail'in Gazze'ye yaptığı askerî operasyonlardan dolayı Husiler Kızıldeniz'deki ticari gemilere saldırılar düzenlemiştir. Tüm bu savaş ve krizler Süveyş Kanalı'ndan geçişleri durdurmuş ve deniz geçişlerini alternatif rota olan Ümit Burnu'na yönlendirmiştir. Süveyş Kanalı'nın güvenlikten yoksun olması maliyetleri artırmış, tedarik zincirine darbe vurmuş ve küresel enflasyonu etkilemiştir (Özen ve Elagöz, 2024). Hürmüz Boğazı ise, küresel enerji arzı bakımında stratejik bir öneme sahip olduğundan 1979 İran Devrimi ve İran-Irak Savaşı'nda söz konusu su geçidinin güvenliği son derece ön plana çıkmıştır. Özellikle bu dönemde NATO'nun bölgesel uzman çalışma gruplarının raporlarında Hürmüz Boğazı'nın güvenliği, dünya enerji arzı açısından hayati bir su yolu olarak nitelenmiştir (Tufan, 2025).

Dünya petrol ihtiyacının %20'si, LNG ihtiyacının da %20'si Hürmüz Boğazı'ndan geçmektedir. Hürmüz Boğazı'ndan küresel deniz yoluyla taşınan petrol 2014'te 56,4 milyon varil/gün, 2015'te 58,9, 2016'da 61,2 ve 2017'de 62,5 milyon varil/gün seviyesine çıkmıştır. Hürmüz Boğazı'ndan geçen LNG akışına bakıldığında; 2014'te 4,0 Tcf/yıl (Trilyon kübik feet) 2015 ve 2016'da 4,2 Tcf/yıl ve 2017 ve 2018'de 4,1 Tcf/yıl olarak gerçekleşmiştir. Dünya toplam petrol ve diğer sıvı yakıt tüketimi 2014'te 93,9 milyon varil/gün, 2015'te 95,9, 2016'da 96,9, 2017'de 98,5 ve 2018'de 99,9 milyon varil/gün seviyesine ulaşmıştır. Bu veriler ışığında 2018 yılında Hürmüz Boğazı'ndan günlük olarak 18 milyon varil ham petrol ve kondensat, 300 milyon metreküp LNG ve 4 milyon varil petrol ürünü geçerek dünyanın farklı bölgelerine enerji arzı gerçekleştirilmiştir (Sayın ve Kılıç, 2020). Hürmüz Boğazı, dünyadaki uluslararası su yolları arasında küresel ekonomiye etkisi ve hassas konumdaki enerji arzı yönünden güvenliği son derece stratejik ve jeopolitik öneme sahiptir.

ABD/İsrail-İran Savaşı başlamadan önce günde 150 geminin geçtiği Hürmüz Boğazı'nın, sadece Körfez ülkeleri ve Batı'yı değil aynı zamanda Asya'yı da etkilediği belirtilebilir. Fakat İran'ın dayattığı Hürmüz Boğazı rejimi tam kapanmadan ziyade geçişleri seçici hale getirip siyasallaştıran *de facto* bir durum olduğu açıktır (Atalan, 2026). İran'ın Hürmüz Boğazı'na uyguladığı seçici hale getirilmiş geçişleri engellemek ve ABD-İran müzakerelerinde İran'ı masada köşeye sıkıştırmak amacıyla ABD tarafından İran limanlarına yönelik Umman Körfezi'nden başlayarak Hürmüz Boğazı ablukaya alınmıştır (Anadolu Ajansı, 2026). Diğer taraftan değinilmesi gereken bir diğer konu da İran'ın Hürmüz Boğazı'nın hukuki statüsünü Süveyş Kanalı üzerinden yorumlamasıdır. Bilindiği üzere Süveyş Kanalı yapay bir uluslararası bir su yoludur ve Mısır devletine aittir. Ancak Süveyş Kanalı uluslararası bir su yolu olmakla birlikte uluslararası boğazlarla aynı statüde değildir. Hürmüz Boğazı'nda bir diğer önemli aktör Ummandır. Bundan dolayı Hürmüz Boğazı sadece İran'a ait değildir. Hürmüz Boğazı'nın güney kıyısı Umman devletine aittir. Bu bağlamda Umman olmaksızın İran'ın Hürmüz Boğazı'nın geçiş rejimini tek başına düzenlemesi hukuki olarak mümkün değildir (Toğa, 2026). Ancak ne İran tarafı ne ABD tarafı ne de Hürmüz Boğazı konusunda bir diğer hak sahibi aktör olan Umman'ı gündeme getirmediği gibi Umman'ın da bu konuda bir açıklması bulunmamaktadır.

Öte yandan kısıtlı imkanlara sahip olmakla birlikte bölgeden petrol ihracatı için tek çıkış Türkiye üzerinden Kerkük-Ceyhan Petrol Boru Hattı'dır. Bu bağlamda İran'ın Hürmüz Boğazı'nı kapatmasıyla yeni enerji koridoru olarak planlanan Dört Deniz Projesi ABD'nin Ankara Büyükelçisi Tom Barrak tarafından gündeme getirilmiştir. Büyükelçi Barrak, Hürmüz Boğazı'na alternatif olarak jeopolitik kapasiteye sahip Türkiye ve Suriye'nin tüm dünya için enerji dağıtım merkezi haline getirileceğini söylemiştir (Hürriyet, 2026). Ancak İsrail'in Dört Deniz Projesi'nin güzergâhına itiraz edeceği ve ABD üzerinde baskı yapacağı tahmin edilebilir.

Tüm veriler karşılaştırıldığında, Hürmüz Boğazı'nın küresel enerji arzı bakımından Süveyş Kanalı'nın ise, küresel ticaret bakımından güvenliği dünya için hayati bir konudur. Süveyş Kanalı'nın alternatifi bulunmaktadır ve fakat söz konusu kanalın kapanması küresel ekonomiyi sekteye uğratmakla birlikte meşakkatli bir sürdürebilirlik mevcuttur. Buna karşılık Hürmüz Boğazı'nın Umman Körfezi'nden girişi olup Basra Körfezi'nden çıkışı bulunmadığından alternatifsiz bir su geçididir. Bundan dolayı Hürmüz Boğazı'nın güvenliği küresel ekonomi ve enerji arzında emsalsiz bir jeopolitiğe sahiptir.



Şekil 3. 1 Şubat-5 Mart 2026 Arasında Hürmüz Boğazı Gemi Trafiği Tablosu (Unctad.org, 2026).

Grafikte görüldüğü üzere (Şekil 3) ABD/İsrail-İran Savaşı'nın başlamasının ardından Hürmüz Boğazı gemi trafiği durma noktasına gelmiştir. Bu durum üzerine petrol fiyatları fırlamış, yüksek enerji maliyetleri nakliye ve gıda fiyatlarında artışa neden olmuş ve yoksul ülkelerin gübreye erişimi engellenmiştir (Unctad.org, 2026).

Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı bağlamında Hürmüz Boğazı siyasi ve askerî açıdan karşılaştırıldığında benzerlikler ve farklılıklar mevcuttur. Süveyş Krizi ortaya çıktığında ABD, NATO müttefikleri İngiltere ve Fransa'ya itidal çağrısında bulunmuş ve bunalımın diplomasi yoluyla çözülmesini önermiştir. ABD'nin itidalli bir politika izlemesinin sebebi bu sırada SSCB'nin Macaristan'a mühalele etmesi, Avrupa güvenliğinin SSCB tarafından tehdit edilmesi ve birkaç aktör arasında yaşanan gerginliğin Süveyş Krizi bahanesiyle bir dünya savaşına dönüşme riskinden kaynaklanmaktaydı. Buna karşı İngiltere ve Fransa ise, Süveyş Krizi'ne NATO'nun müdahil olmasını ve NATO'nun ittifak olarak alanı dışındaki Mısır'a askerî harekât yapmasını istemişlerdir. Hatta Süveyş Krizi'nden hemen sonra NATO Genel Sekreteri olan Paul Henry Spaak, NATO'nun alan dışında askerî pozisyon almamasını eleştirmiştir. Spaak'a göre; NATO, askeri olarak kurulmuş bir ittifaktı ancak kurumsal olarak siyasi yanının da geliştirilmesi gerekiyordu. Spaak bu değerlendirmesiyle NATO'ya küresel bir rol biçmekteydi (Engin ve Tufan, 2025). Süveyş Krizi'nde yaşanan söz konusu NATO'nun alan dışılık konusu, ABD/İsrail-İran Savaşı'nda bu defa roller değişmiş şekilde karşımıza çıkmıştır. ABD Başkanı Trump, NATO müttefiklerinden İran'a karşı askerî destek talep etmiştir. Trump, Avrupalı NATO müttefiklerinin mayın temizleme kapasitesinin ABD'ye göre daha yüksek olduğunu dile getirerek Avrupalı NATO müttefiklerinden mayın temizleme gemileri ve askerî birlik göndermelerini istemiştir (Cumhuriyet, 2026). Ancak Avrupalı NATO müttefikleri, halihazırda devam eden Ukrayna-Rusya Savaşı'ndan dolayı Avrupa'nın güvenliğinin tehdit altında olması, küresel enerji krizi ve bir dünya savaşı riskinden ötürü çekimser tutum içindedirler. ABD Başkanı Trump'ın NATO'dan alan dışında destek talebi üzerine açıklama yapan NATO Genel Sekreteri Mark Rutte; NATO müttefiklerinin İran ile ilgili tereddütleri konusunda ABD Başkanı'ndan anlayış beklediğini ifade etmiştir (Anadolu Ajansı, 2026). Ancak ABD Başkanı Trump, NATO müttefiklerine tepkisini tekrar dile getirmiştir. Trump, ABD/İsrail-İran Savaşı'nda NATO müttefiklerinin hiçbir şey yapmadıklarını ve ABD'nin NATO'ya ihtiyacı olmadığını belirterek bu yapılanı da unutmayacaklarını söylemiş ve tepkisini ifade etmiştir (Anadolu Ajansı, 2026). Trump'ın NATO hakkındaki beyanları ittifakın insicamına zarar verdiği açıktır (İldem, 2026). ABD/İsrail-İran Savaşı'nda Amerikan Başkanı Trump'ın Hürmüz Boğazı'na olası bir askerî harekât yapma söylemleri ve bunu da küresel bir enerji güvenlik sorunu çerçevesinde sunarak ortak sorumluluk olarak değerlendirmesi NATO'nun alan dışılık konusunu öne çıkarmaktadır (Tokmakoğlu, 2026). ABD Başkanı Trump'ın bahse konu savaşta NATO'dan yardım istemesi ve NATO müttefiklerinin tepkisizliği, üstüne üstlük NATO Genel Sekreteri'nin "anlayış bekliyoruz" açıklaması doğrudan NATO'nun alan dışılık konusu ile ilgilidir.

Bahse konu açıklamalar üzerine Trump, "NATO'dan çekilmeyi düşünüyorum" ifadelerini kullanmıştır (Haber Türk, 2026). NATO'nun tarihindeki ilk alan dışı yüzleşme olan Süveyş Krizi'nde müttefiklerin ulusal çıkarları nasıl etkili olduysa ABD/İsrail-İran Savaşı'nda da Hürmüz Boğazı'nı açma konusu NATO müttefiklerinin ulusal çıkarlarına çarpmıştır. Ancak burada üzerinde durulması gereken husus, eğer ABD tarafından NATO'dan askerî destek talep ediliyorsa ABD'nin İran'a harekât başlatmadan önce Kuzey Atlantik Konseyi'nde konuyu gündeme getirip Washington Antlaşması'nın 4. maddesindeki "istişare" mekanizmasını işletmesi gerekirdi. ABD, Orta Doğu'daki müttefiki İsrail ile birlikte NATO müttefiklerine danışmadan İran'a operasyon başlatmıştır. NATO'nun ilk ciddi alan dışılık yüzleşmesi olan 1956 Süveyş Krizi ve 2026 ABD/İsrail-İran Savaşı'nda NATO'nun alan dışılık meselesi ortaya çıkmıştır.

Diğer taraftan Süveyş Krizi ile ABD/İsrail-İran Savaşı'nın benzer bir diğer siyasi yanı da Süveyş Krizi sırasında SSCB'nin Batılılara karşı Mısır'ı ve onun millîyetçi lideri Nasır'ı desteklemesine karşılık ABD/İsrail-İran Savaşı'nda tıpkı ABD'nin Ukrayna'yı desteklemesi gibi Rusya da İran'ı örtülü bir şekilde desteklemektedir. Çin ise, İran'a teknolojik olarak destek sağlamaktadır (Uygur, 2026). Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı'nın bir diğer benzer yönü de tıpkı Soğuk Savaş döneminde olduğu gibi büyük güçlerin gelişmekte olan ülkeler üzerinden rekabet etmesidir.

Süveyş Kanalı ile ABD/İsrail-İran Savaşı'nda Hürmüz Boğazı askerî açıdan değerlendirildiğinde, Süveyş Kanalı'na İngiltere, Fransa ve İsrail'in klasik bir askerî harekât gerçekleştirdikleri görülmektedir. Süveyş'i kara ve deniz unsurlarının kontrolü yoluyla ele geçiren İngiltere, Fransa ve İsrail, Mısır'a şöyle bir taktikle saldırmışlardır. Önce İsrail 26 Ekim 1956'da 10 Tugay ile Mısır topraklarına girerek Süveyş Kanalı'na doğru ilerlemiş, İngiltere ve Fransa ise, İsrail ve Mısır kuvvetlerinin Süveyş Kanalı'ndan çekilmesini talep etmişlerdir. Söz konusu talebin yerine gelmemesi üzerine harekete geçen İngiltere ve Fransa, Port Said ve Port Fuad'a çıkarma harekâtı icra ederek Süveyş Kanalı'nı ele geçirmişlerdir (Britannica, 2026). Görüldüğü üzere Süveyş Krizi'nde klasik konvansiyonel bir askerî taktik izlenmiş ve harekât doğrudan Süveyş Kanalı'nı ele geçirip küresel ticaret yolunu açmak amacıyla yapılmıştır. Ancak ABD/İsrail-İran Savaşı görünürde İran rejimini değiştirmeye ve İran'ın elindeki uranyumu ülkeden çıkarmasına yönelik yapılmasına rağmen savaş enerji arzı ve deniz ticaret yollarının güvenliğine evrilerek Hürmüz Boğazı'nın kontrolünü sağlama amacına dönüşmüştür (Afacan, 2026). Hürmüz Boğazı'na olası bir askerî harekât muhtemeldir ki, müşterek bir operasyon olacaktır. Kara, hava ve deniz unsurlarından oluşan bu askerî operasyona İran, asimetrik bir savaş taktiğiyle cevap verecektir. Her ne kadar kara, hava ve deniz unsurları ile müşterek bir taktik uygulansa da İran'ın asimetik taktiklerle cevap vermesi sonucunda Hürmüz Boğazı'nın kontrol edilmesi zor görünmektedir. İran'ın asimetrik savaş taktikleri doğrultusunda Hürmüz Boğazı'nı mayınlama, mini deniz botları, insansız hava ve deniz araçları ile kamikaze saldırıları ve füzelerle mutlaka karşılık vereceği öngörülmektedir.

Hürmüz Boğazı, zorlu arazisiyle bir okyanus geçididir. Hürmüz Boğazı'nın dar kısmı az olsa da zorlu bir araziya sahiptir. Bu araziyi işgal ederek kontrol etmek oldukça riskli görünmektedir. ABD Hürmüz Boğazı'nı ele geçirmek amacıyla boğazın kuzeyinde kalan İran ana karasına hava indirme ve çıkarma harekâtı icra ettiği taktirde en büyük risk kıyı şeridinden iç kısımlara doğru bir atılım gerçekleştirememektir. Bu durum hem birliklerin yıpranmasına hem de dar bir alana sıkışan birliklerin imhalarına kolaylık sağlayacaktır. Ayrıca Hürmüz Boğazı'nın İran yakasının 4.000 fitten daha yüksek dağlar ve dik yamaçlarla çevirili olması İran kuvvetleri için savunma savaşını oldukça kolaylaştıracaktır. Çünkü dağlık, engebeli ve dik yamaçlardan oluşan ve içine girildiğinde bir labirenti andıran araziler savunma kuvvetleri için sayısız saklanma noktası sağlayacaktır. Bu da arazinin doğal bir kale konumunda olduğunu göstermektedir. İran'ın coğrafyası dolayısıyla yaklaşık beş asırdır yaptığı gibi asitmetrik savaş taktiği ile yıldırma ve yıpratma stratejisi uygulaması sürpriz olmayacaktır (Afyoncu, 2026). Bu çerçevede Hürmüz Boğazı'nın savunma için elverişli olması nedeniyle Basra Körfezi'nden Umman Körfezi'ne kadar olan 700 mil ve daha fazlası saldırı kuvvetleri için ölümcül risk içerecektir. Arazinin zorlu olması ayrıca saldırı kuvvetleri için lojistik sorunlar ortaya çıkartacaktır (Goldstein, 2026). Müşterek harekâtta Basra Körfezi'nin sığ olmasından dolayı ABD donanmasına ait büyük destroyerlerin müdahalesi oldukça güç görünmektedir (Tamahkar, 2026). Tüm bu olasılıklar ve İran coğrafyası değerlendirildiğinde Hürmüz Boğazı'na olası bir askerî harekât Süveyş Kanalı'nın düz arazisi ile karşılatırılamayacak kadar zor bir coğrafyaya sahiptir.

İran, askerî olarak ABD/İsrail ittifakı kadar güçlü değildir. Ancak İran, Hürmüz Boğazı'nı kapatarak hem ekonomik hem de askerî manada konumunu ve coğrafyasını lehine kullanmayı başardığı belirtilebilir.

SONUÇ

Süveyş Krizi ve ABD/İsrail-İran Savaşı özelinde iki ayrı uluslararası su yolu olan Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı'nın ekonomik değerleri çerçevesinde birçok stratejik ve jeopolitik ortak ve farklı özelliği vardır. Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı krizlerinin en önemli ortak noktaları her iki vakada da küresel ticaret ve enerji güvenliği sorunu ortaya çıkmıştır. Bu durum da göstermektedir ki, Süveyş Kanalı ve Hürmüz Boğazı kesin bir şekilde küresel ekonominin can damarlarından olan hayati su yollarıdır. Ayrıca her iki savaşda da NATO, alan dışılık konusu ile karşı karşıya kalarak ittifak olarak etkilenmiştir. Askerî planlama açısından Süveyş Kanalı korunaksız bir araziye sahipken Hürmüz Boğazı İran'a olağanüstü bir savunma kolaylığı sağlamaktadır. Söz konu su geçitleri, tarihin farklı dönemlerinde uluslararası aktörleri benzer biçimde karşı karşıya getirmiş ve her iki vaka da dünyanın gündeminde önemli bir yere sahip olmuştur. Son olarak her iki olayın kendi bölgesinin ötesinde dünya siyasi, askerî ve ekonomisini etkileyen çok katmanlı krizler olduğu ifade edilebilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlık sürecinde değerli fikirleri, yapıcı yönlendirmeleri ve akademik desteğiyle katkıda bulunan Doktora Tez Danışmanım Dr. Uğur Tarçın'a teşekkürlerimi sunarım.

KAYNAKÇA

Afacan, S., 2026, Bölgesel ve Sistemik Bir Kriz Olarak ABD/İsrail-İran Savaşı. https://www.iramcenter.org/bolgesel-ve-sistemik-bir-kriz-olarak-abdisrail-iran-savasi-2789. (Accessed Date: 08.04.2026)

Afyoncu, E., 2026. Trump biraz tarih okusun: İran'ın 500 yıllık yıpratma savaşları taktiği. https://www.sabah.com.tr/yazarlar/erhan-afyoncu/2026/03/29/trump-biraz-tarih-okusun-iranin-500-yillik-yipratma-savaslari-taktigi (Accessed Date: 29.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. ABD ve İsrail, İran'a saldırı başlattı. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/abd-ve-israil-iran-a-saldiri-baslatti/3842503 (Accessed Date: 01.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. İran Devrim Muhafızları Ordusu: Hürmüz Boğazı kapatıldı. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/iran-devrim-muhafizlari-ordusu-hurmuz-bogazi-kapatildi/3847104. (Accessed Date: 03.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. Hürmüz Boğazı'nın kapalı tutulması küresel enflasyon ve çatışmaların yayılma riskini artırıyor. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/hurmuz-bogazinin-kapali-tutulmasi-kuresel-enflasyon-ve-catismalarin-yayilma-riskini-artiriyor/3847678. (Accessed Date: 03.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. İran: Hürmüz Boğazı'nın durumu eskisine dönmeyecek. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/iran-hurmuz-bogazi-nin-durumu-eskisine-donmeyecek/3879133. (Accessed Date: 25.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. NATO Genel Sekreteri Rutte, müttefiklerin İran'la ilgili tereddütleri konusunda Trump'tan anlayış istedi. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/nato-genel-sekreteri-rutte-muttefiklerin-iranla-ilgili-tereddutleri-konusunda-trumptan-anlayis-istedi/3875176. (Accessed Date: 22.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. Hürmüz Boğazı'nda gemi geçişi yüzde 90 azaldı, Ümit Burnu'nda trafik artıyor. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/hurmuz-bogazinda-gemi-gecisi-yuzde-90-azaldi-umit-burnunda-trafik-artiyor/3850867. (Accessed Date: 23.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. Avrupa'da gaz fiyatlarındaki artış yüzde 100'ü aştı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/avrupada-gaz-fiyatlarindaki-artis-yuzde-100u-asti/3848144. (Accessed Date: 24.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. Brent petrolün varili vadeli piyasalarda 85 doları aştı. https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/brent-petrolun-varili-vadeli-piyasalarda-85-dolari-asti/3852001. (Accessed Date: 23.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. Trump, ABD'nin NATO'dan gelecek hiçbir şeye ihtiyacının olmadığını yineledi. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/trump-abdnin-natodan-gelecek-hicbir-seye-ihtiyacinin-olmadigini-yineledi/3880056. (Accessed Date: 26.03.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. ABD Başkanı Trump'tan İran'da "medeniyet yok olacak" tehdidi. https://www.aa.com.tr/tr/dunya/abd-baskani-trump-iran-da-bu-gece-butun-bir-medeniyet-yok-olacak-ve-bir-daha-asla-geri-gelmeyecek-bunun-olmasini-istemiyorum-ama-muhtemelen-olacak-/3896173. (Accessed Date: 08.04.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. ABD/İsrail-İran savaşı ve ateşkes. https://www.aa.com.tr/tr/live-blog/iran-ordusu-abd-ve-muttefiklerinin-altyapisina-onlari-yillarca-bolgenin-petrol-ve-dogal-gazindan-mahrum-birakacak-bir-darbe-vuracagiz-ve-bolgeyi-terk-etmek-zorunda-kalacaklar/324. (Accessed Date: 08.04.2026).

Anadolu Ajansı. 2026. ABD ordusu, İran limanlarına yönelik deniz ablukasına başladı. https://www.aa.com.tr/tr/live-blog/abd-ordusu-iran-limanlarina-yonelik-deniz-ablukasina-basladi/862. (Accessed Date: 14.04.2026).

Atalan, A. Y., 2026. Amerika İçin Hürmüz'ün Jeostratejik Anlamı. https://orsam.org.tr/yayinlar/amerika-icin-hurmuzun-jeostratejik-anlami/. (Accessed Date: 05.04.2026).

Bilge, M. L., 2010. Süveyş Kanalı. *TDV İslâm Ansiklopedisi* (Cilt 38, ss. 186-188). TDV İslâm Araştırmaları Merkezi.

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. 2026. *Strait of Hormuz*. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/place/Strait-of-Hormuz (Accessed Date: 29.03.2026).

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia 2026. *Suez Crisis.* Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/event/Suez-Crisis. (Accessed Date: 29.03.2026).

Cumhuriyet. 2026. Trump'tan NATO üyelerine tehdit: 'Yardım gelmezse ittifakın geleceği çok kötü olur'. https://www.cumhuriyet.com.tr/dunya/trump-tan-nato-uyelerine-tehdit-yardim-gelmezse-ittifakin-gelecegi-cok-kotu-olur-2487236. (Accessed Date: 24.03.2026).

Cumhuriyet. (1957, Ocak 29). Müttefikleri Mısıra baskı yapıyor. *Cumhuriyet* Gazetesi.

Cumhuriyet. (1957, Mart 26). Süveyş Kanalı büyük gemilere de açıldı. *Cumhuriyet* Gazetesi.

Davutoğlu, A., 2015. *Stratejik Derinlik Türkiye'nin Uluslararası Konumu.* İstanbul: Küre Yayınları.

Demir, A., 2014. İran'ın Basra Körfezi'ni Bloke İhtimali ve Hürmüz Boğazı'ndan Geçişlerin Uluslararası Hukuk Açısından Analizi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, 13: 107-140.

Ekonomi Manşet. 2026. Türkiye, Körfez ülkelerinin İran'a saldırmasını engellemeye çalışıyor. https://ekonomimanset.com/turkiye-korfez-ulkelerinin-iran-a-saldirmasini-engellemeye-calisiyor. (Accessed Date: 25.03.2026).

Engin, V., Tufan, S., 2025. NATO'nun Alan Dışılık Kavramının Ortaya Çıkışı: Süveyş Krizi ve Türkiye'nin Rolü. *Marmara Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, 12: 701-734.

Ersanel, N., 2026. Amerika kazanamazsa neler olur?. https://www.yenisafak.com/yazarlar/nedret-ersanel/amerika-kazanamazsa-neler-olur-4803734?utm_source=gazeteoku&utm_medium=referral. (Accessed Date: 22.03.2026).

Gönlübol, M., Ülman, A. H., Bilge, A. S., Sezer, D., 2014. İkinci Dünya Savaşından Sonra Türk Dış Politikası (1945-1965). *Olaylarla Türk Dış Politikası (1919-1995)* (s. 191-487). Ankara: Siyasal Kitabevi.

Google Earth. 2026. https://earth.google.com/web/search/H%c3%bcrm%c3%bcz+Bo%c4%9faz%c4%b1/@26.86171309,55.82101538,-111.25438436a,1888502.80938953d,35y,0.0000175h,1.03278359t,-0r/data=CiwiJgokCVJAlWG39UNAEcwX9HO7NT1AGQFLdpypOUFAITWVXkfoDTZAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wE. (Accessed Date: 25.03.2026).

Google Earth. 2026. https://earth.google.com/web/search/H%c3%bcrm%c3%bcz+Bo%c4%9faz%c4%b1/@26.20682605,56.54558458,9.832945a,160904.90238927d,35y,0.0000025h,0.79978809t,359.99999999r/data=CoABGlISTAolMHgzZWY3MTg0YzI1ODQwZTUxOjB4M2Q3Yjg2Y2NkZDM2N2U1YRnKRjGKL5g6QCFG-ZNCajxMQCo. (Accessed Date: 25.03.2026).

Goldstein, L. 2026. The Battle of Gallipoli's Sobering Lessons for the Strait of Hormuz. https://www.usni.org/magazines/proceedings/2026/march/battle-gallipolis-sobering-lessons-strait-hormuz. (Accessed Date: 22.03.2026).

Haber Türk. 2026. Trump: NATO'dan çekilmeyi düşünüyorum. https://www.haberturk.com/son-dakika-trump-nato-dan-cekilmeyi-dusunuyorum-3873979. (Accessed Date: 01.04.2026).

Hürriyet. 2026. Barrack Dört Deniz Projesi'ni hatırlattı… Hürmüz'ün alternatifi Suriye olabilir. https://www.hurriyet.com.tr/dunya/barrack-dort-deniz-projesini-hatirlatti-hurmuzun-alternatifi-suriye-olabilir-43137945. (Accessed Date: 28.03.2026).

İldem, T., 2026. İran savaşı: Uluslararası düzendeki kopuş ve NATO. https://t24.com.tr/dunya/iran-savasi-uluslararasi-duzendeki-kopus-ve-nato,1311000. (Accessed Date: 30.03.2026).

Kıllıoğlu, M. E., 2021. 1956 Süveyş Krizi ve Ortadoğu'ya Etkisi. Vakanüvis, 6: 726-757.

Mabee, W., 2026. What is the Strait of Hormuz, and why does its closure matter so much to the global economy? https://www.queensu.ca/gazette/stories/what-strait-hormuz-and-why-does-its-closure-matter-so-much-global-economy. (Accessed Date: 27.03.2026).

Özen, Ş., Elagöz, İ., 2024. Süveyş Kanalındaki Güvenlik Sorunları Nedeni İle Tedarik Zinciri Rotalarının Değişiminin Konteyner Hat Operatörlerine Ve Forwarderlara Yansımaları Üzerine Nitel Bir Araştırma. *Yönetim ve Siyaset Bilimleri Dergisi*, 6: 96-113.

Özçelik, F., Öztürk, M., 2021. İngiltere'nin Mısır'ı İşgali ve "Taçsız Hükümdar" Lord Cromer'in Mısır İdaresi (Eylül 1883-Mart 1907). *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 31: 477-494.

Sayın, Y., Kılıç, F., 2020. The Strait of Hormuz and Iran's International Relations. *Eurasian Research Journal*, 2: 29-59.

Serbest, M. B., 2017. Süveyş Kanalı'nın Ulusallaştırılması Sorunu ve Süveyş Bunalımı. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6: 689-711.

Tamahkar, A., 2026. Trump'ın Hürmüz Kumarı: ABD/İsrail-İran Savaşı'nın Deniz Cephesi. https://denizkartali.com/trumpin-hurmuz-kumari-abd-israil-iran-savasinin-deniz-cephesi/. (Accessed Date: 31.03.2026).

Tarçın, U., Canpolat, M., 2026. Karadeniz'de Güç Projeksiyonu ve Bölgesel Güvenlik Dinamikleri. *Karadeniz Araştırmaları*, 23: 181-205.

Toğa, O,. 2026. İran'ın Hürmüz Boğazı Yönetim Planı Neyi Değiştiriyor? https://www.iramcenter.org/iranin-hurmuz-bogazi-yonetim-plani-neyi-degistiriyor-2787. (Accessed Date: 08.04.2026).

Tokmakoğlu, G., 2026. Hürmüz Boğazı meselesi ve tartışılması. https://www.indyturk.com/node/774344/t%C3%BCrki%CC%87yeden-sesler/h%C3%BCrm%C3%BCz-bo%C4%9Faz%C4%B1-meselesi-ve-tart%C4%B1%C5%9F%C4%B1lmas%C4%B1. (Accessed Date: 17.03.2026).

TRT Haber. 2026. Trump'tan İran açıklaması: Liderleri yok, anlaşma istiyorlar. https://www.trthaber.com/haber/dunya/trumptan-iran-aciklamasi-liderleri-yok-. (Accessed Date: 24.03.2026).

Tufan, S., 2025. Soğuk Savaş Döneminde Türkiye Bağlamında NATO'nun Alan Dışılık Konusu (1949-1991). Yayımlanmamış Doktora Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü.

Unctad.org. 2026. Strait of Hormuz disruptions: Implications for global trade and development. https://unctad.org/publication/strait-hormuz-disruptions-implications-global-trade-and-development. (Accessed Date: 26.03.2026).

Unctad.org. 2026, Strait of Hormuz disruptions: Implications for global trade and development. https://unctad.org/publication/strait-hormuz-disruptions-implications-global-trade-and-development. (Accessed Date: 26.03.2026).

Uygur, H., 2026. Rusya ve Çin İran konusunda neden sessiz? https://www.aa.com.tr/tr/analiz/rusya-ve-cin-iran-konusunda-neden-sessiz/3849408. (Accessed Date: 08.04.2026).

QATAR'S HUMANITARIAN DIPLOMACY AS A TOOL FOR SMALL STATES

Merve PEHLİVAN İLERİSOY
Arş. Gör., Doğuş Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0002-8500-9957

ABSTRACT

In traditional international relations literature, small states are usually described with their limited capacity to influence world politics which put them in a weak or vulnerable position among states. Therefore, the approaches of alignment, restraint or bandwagoning are more expected to be seen in small states foreign policy strategies. In other words, small states are predicted to follow a passive way of making foreign policy. However, in some regions current political developments demonstrate that small states may also adopt a pro-active approach in their foreign policy by using different tools. This paper aims to examine Qatar as a small state and its humanitarian diplomacy as one of these examples.

Although the concept of humanitarian diplomacy is oftenly examined from the normative perspectives, this study will approach to the concept as a strategic tool. The main argument of this paper is that Qatar uses humanitarian aid, mediation efforts and crisis engagement frequently for strengthening its position, increasing its visibility, and broadening its sphere of influence. Under normal conditions these concerns are not expected from a small state; however, Qatar by deviating from expected patterns, shows that the situation of small states needs to be studied from different angles.

This paper is built on small state theory and suggests that Qatar has developed a strategic behavior which requires the use of non-military instruments to compensate its physical limitations. It has chosen to be involved in regional crisis and diplomatic processes in order to position itself as a visible actor in world politics. Thus, Qatar creates a brand-new behaviour in the context of small state theory, and this is the puzzle that shapes the idea of this paper.

This study which aims to conduct qualitative content analysis in terms of methodology, seeks to examine the data of Ministry of Foreign Affairs as primary sources of Qatar's foreign policy and secondary sources. The hypothesis of this study is that a small state is not always obliged to pursue a passive and compliant foreign policy as it is expected. Through certain tools, it can transcend the limitations predicted by theory and adopt an active foreign policy strategy. In doing so, this study contributes to the literature by emphasizing a different way of behavior for small states and defining humanitarian diplomacy as one of the tools for them.

Keywords: Small State Theory, Qatar, Humanitarian Diplomacy, Foreign Policy.

GREEN FINTECH IN SUSTAINABLE ENERGY FINANCING: THE CASE OF AZERBAIJAN[*1]

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ FİNANSMANINDA YEŞİL FİNTEK: AZERBAYCAN ÖRNEĞİ

Meral BALCI
Prof., Marmara University, Faculty of Political Sciences, Department of International Relations
ORCID ID: 0000-0003-3638-5339

Abdulla KHANAYEV
PhD Candidate, İstanbu University, Institute of Social Sciences, Department of Political Science and International Relations
ORCID ID: 0000-0001-5303-5141

Aylin KHUDAVERDİYEVA
Independent Researcher
ORCID ID: 0009-0007-9329-6312

ÖZET

Küresel iklim kriziyle mücadele kapsamında enerji dönüşümü, gelişmekte olan ekonomiler için stratejik bir zorunluluk haline gelmiştir. Fosil yakıt bağımlılığını azaltmayı ve yenilenebilir enerji kapasitesini artırmayı hedefleyen Azerbaycan, bu dönüşümün finansmanında geleneksel bankacılık yöntemlerinin ötesine geçmeye ihtiyaç duymaktadır. Bu çalışma, finansal teknoloji ile çevresel sürdürülebilirliğin kesişim noktası olan "Green Fintech" uygulamalarının, Azerbaycan'ın sürdürülebilir enerji finansmanı üzerindeki potansiyel rolünü incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, dijital finansal araçların (blokzincir tabanlı yeşil tahviller, karbon kredisi takibi ve akıllı enerji finansmanı) yenilenebilir enerji yatırımları üzerindeki kaldıraç etkisini analiz etmektir. Niteliksel bir metodoloji benimsenen bu bildiride, Azerbaycan'ın "Yeşil Enerji Bölgesi" vizyonu ve 2030 sosyo-ekonomik hedefleri çerçevesinde bir model önerisi sunulmaktadır. Bulgular, Green Fintech çözümlerinin işlem maliyetlerini düşürerek finansal şeffaflığı artırabileceğini ve özellikle KOBİ ölçekli yenilenebilir enerji projelerine sermaye akışını demokratikleştirebileceğini göstermektedir. Bu çalışma, Azerbaycan'da enerji dönüşümünün finansmanına yönelik politika yapıcılara ve finansal kuruluşlara stratejik öneriler sunarak literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.
Anahtar Kelimeler: Azerbaycan, Enerji Dönüşümü, Yeşil Fintek, Sürdürülebilir Finans, Yenilenebilir Enerji

ABSTRACT

Within the scope of combating the global climate crisis, energy transition has become a strategic necessity for emerging economies. Azerbaijan, aiming to reduce fossil fuel dependency and increase renewable energy capacity, requires financial mechanisms beyond traditional banking to support this transformation. This study examines the potential role of "Green Fintech"—the intersection of financial technology and environmental sustainability—in Azerbaijan's sustainable energy financing. The primary objective is to analyze the leverage effect of digital financial tools (blockchain-based green bonds, carbon credit tracking, and smart energy financing) on renewable energy investments. Adopting a qualitative methodology, this paper proposes a model framework aligned with Azerbaijan's "Green Energy Zone" vision and its 2030 socio-economic goals. Findings suggest that Green Fintech solutions can enhance financial transparency, reduce transaction costs, and democratize capital flows toward renewable energy projects, particularly at the SME level. This study aims to bridge the gap in existing literature by providing strategic recommendations for policymakers and financial institutions regarding the financing of energy transition in Azerbaijan.
Keywords: Azerbaijan, Energy Transition, Green Fintech, Renewable Energy, Sustainable Finance

[1]* This research was funded by the Marie Skłodowska-Curie Actions grant under the European Commission's Horizon Europe Program (grant acronym: ORCA, grant number: 101182752).

GİRİŞ

İklim değişikliğinin giderek derinleşen etkileri, uluslararası toplumu enerji sistemlerini köklü biçimde dönüştürmeye zorlamaktadır. 2015 yılında imzalanan Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışını sanayi öncesi dönemin 1,5-2°C üzerinde sınırlandırma hedefini ortaya koymuş, bu hedef, enerji üretimi ve tüketiminin yapısal olarak yeniden tasarlanmasını zorunlu kılmıştır (IPCC, 2021, s. 14; Öztürk & Öztürk, s. 536). Söz konusu zorunluluk, yalnızca teknik bir dönüşüm meselesi değil, aynı zamanda devasa boyutlarda finansman gerektiren ekonomik bir dönüşüm sürecidir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'nın (IRENA) hesaplamalarına göre, 2050 yılına kadar 1,5°C hedeflerine ulaşabilmek için enerji sistemine ortalama 150 trilyon ABD doları yatırım yapılması gerekmektedir (IRENA, 2023, ss. 145-147). Bu rakamın büyüklüğü, geleneksel finansman kanallarının tek başına yeterliliğini ciddi biçimde sorgulatmaktadır.

Enerji dönüşümünün en kritik boyutlarından biri, gelişmekte olan ve kaynak kısıtlı ekonomilerdeki yatırım açıklarının kapatılmasıdır. Gelişmiş ekonomilerle karşılaştırıldığında, bu ülkelerde düşük karbonlu enerji projelerinin finansman maliyeti belirgin şekilde yüksek seyretmekte, risk primi, düzenleyici belirsizlik ve yetersiz finansal altyapı yatırımcıların bu pazarlardan uzak durmasına neden olmaktadır (Averchenkova vd., 2022). Bunun sonucunda, gelişmekte olan ekonomilerin enerji dönüşümü sürecinde hem teknik kapasite hem de finansal erişim açısından yapısal dezavantajlarla mücadele etmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu bağlamda, yalnızca sermaye miktarını değil aynı zamanda sermayenin ulaşabilirliğini ve işlem verimliliğini artıran yenilikçi finansal araçların geliştirilmesi, stratejik bir öncelik olarak öne çıkmaktadır.

Azerbaycan, söz konusu dönüşüm sürecinin önde gelen örneklerinden birini oluşturmaktadır. Tarihsel olarak petrol ve doğalgaz gelirlerine dayanan Azerbaycan ekonomisi, karbondan arınma hedefleri doğrultusunda kapsamlı bir yeniden yapılanma sürecine girmiştir. Ülkenin Hazar bölgesinde ve Nahçivan özerk cumhuriyetinde yoğunlaşan güneş ve rüzgar enerjisi potansiyeli, yenilenebilir enerji yatırımları açısından son derece elverişli bir coğrafi zemin sunmaktadır. Azerbaycan hükümeti, 2030 Sosyo-Ekonomik Kalkınma Programı çerçevesinde enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payını yüzde 30'a çıkarma hedefini resmileştirmiş, bu hedef doğrultusunda Hazar denizinin kıyısında ve Karabağ bölgesinde büyük ölçekli güneş ve rüzgar santrali projeleri hayata geçirilmeye başlanmıştır (Khanayev & Al, 2025).

Bununla birlikte, Azerbaycan'ın enerji dönüşümü sürecinde karşılaştığı en temel güçlüklerden biri finansmana erişim sorunudur. Ülkenin finansal sistemi, geleneksel bankacılık yapısına dayalı olmakla birlikte, risk değerlendirme kapasitesi ve uzun vadeli proje finansmanı konusunda henüz yeterince olgunlaşmamıştır. Uluslararası yeşil tahvil piyasasına erişim kısıtlı kalmakta, yerli sermaye piyasalarının derinliği ise büyük ölçekli yenilenebilir enerji projelerini desteklemeye yetmemektedir (Ciarreta & Nasirov, 2012, s. 287). Bu yapısal boşluk, enerji dönüşümü hedeflerinin gerçekleştirilmesini olumsuz etkilemekte ve finansal yenilik araçlarına olan ihtiyacı giderek daha belirgin kılmaktadır.

Bu noktada Yeşil Fintek kavramı analitik bir çerçeve olarak önem kazanmaktadır. Yeşil Fintek, blokzincir, yapay zeka, büyük veri ve akıllı sözleşme teknolojilerini çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleştiren finansal teknoloji uygulamalarının genel adıdır (Broby & Yang, 2025). Bu araçlar, geleneksel finans sisteminin verimsizliklerini aşmayı, sürdürülebilir projelere yönelik sermaye akışını kolaylaştırmayı ve küçük ölçekli yatırımcıların yeşil finansmana dahil edilmesini mümkün kılmayı hedeflemektedir. Özellikle gelişmekte olan ekonomiler bağlamında Yeşil Fintek, finansal kapsayıcılığı artırma potansiyeli taşıyan dönüştürücü bir araç olarak akademik çevrelerin gündemine hızla yerleşmiştir.

Mevcut literatür incelendiğinde, Yeşil Fintek ile enerji finansmanı arasındaki ilişkinin hala yetersiz biçimde araştırıldığı dikkat çekmektedir (Qin & Tan, 2025; Ahmad vd., 2024; Zia vd., 2024; Shi & Yang, 2025; Liu vd., 2022). Özellikle geçiş ekonomileri ve petrol bağımlı ülkeler özelinde yapılan çalışmalar son derece sınırlı kalmakta, Azerbaycan özelinde gerçekleştirilen araştırmalar ise neredeyse yok denecek kadar azdır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu gidermek amacıyla Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji finansmanında Yeşil Fintek araçlarının nasıl bir kaldıraç etkisi yaratabileceğini, hangi mekanizmalar aracılığıyla işleyebileceğini ve bu süreçte karşılaşılabilecek kurumsal ile düzenleyici engellerin neler olduğunu analitik bir perspektiften incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışma, niteliksel bir araştırma metodolojisi benimsemekte, politika belgeleri, akademik literatür ve sektörel veriler üzerinden kavramsal bir model önerisi sunmaktadır.

Elde edilen bulguların, Azerbaycan'daki politika yapıcılara, finansal kuruluşlara ve akademisyenlere yönelik özgün katkılar sunması beklenmektedir.

SÜRDÜRÜLEBİLİR ENERJİ FİNANSMANINDA YEŞİL FİNTEK ARAÇLARI

Sürdürülebilir enerji finansmanında yaşanan dönüşümü kavramsal olarak ele alabilmek için öncelikle dijital finansal araçların teorik çerçevesini netleştirmek gerekmektedir. Finansal teknoloji ya da Fintek, yirmi birinci yüzyılın ilk çeyreğinde geleneksel finansal hizmet sektöründe köklü bir yeniden yapılanmayı tetiklemiştir. Ancak Fintek uygulamalarının çevresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleştirildiği alt alan olan Yeşil Fintek, görece yeni bir kavramsal çerçeve oluşturmaktadır. Bu çerçeve, temelden iki bileşeni bir araya getirmektedir. Bunlar, finansal işlemlerin dijital altyapılar üzerinden etkinleştirilmesi ve bu etkinleştirme sürecinin çevresel ölçüt ve hedeflere göre yönlendirilmesidir.

Yeşil Fintek araçları arasında blokzincir tabanlı yeşil tahviller özellikle dikkat çekici bir işlevsellik sunmaktadır. Geleneksel tahvil ihraç süreçleri, çok sayıda aracı kurumun müdahil olduğu, yüksek maliyetli ve uzun vadeli operasyonlar gerektirmektedir. Blokzincir teknolojisinin bu sürece entegrasyonu, akıllı sözleşmeler aracılığıyla ödeme otomasyonu, dağıtık defter teknolojisiyle şeffaflık sağlama ve tokenizasyon yoluyla tahvilin küçük parçalara bölünerek geniş kitlelere satılabilmesi gibi birden fazla yeniliği eş zamanlı olarak hayata geçirme imkanı tanımaktadır. Çin Sanayi ve Ticaret Bankası ile Dünya Bankası'nın önderlik ettiği deneyimler, blokzincir tabanlı yeşil tahvil ihraçlarının işlem maliyetlerini yüzde kırkın üzerinde düşürebildiğini ve veri doğrulama sürelerini önemli ölçüde kısalttığını göstermektedir (Nassiry, 2018, s. 12). Gelişmekte olan piyasalar açısından bu maliyet avantajı, yeşil tahvil piyasasına erişimin önündeki ciddi engelleri kaldırma potansiyeli taşımaktadır.

Karbon kredisi sistemleri, Yeşil Fintek'in bir diğer önemli bileşenini oluşturmaktadır. Geleneksel karbon piyasalarında doğrulama ve kayıt süreçlerinin karmaşıklığı, özellikle küçük ölçekli projelerin bu sistemlere katılımını güçleştirmektedir. Blokzincir altyapısı bu süreci köklü biçimde dönüştürerek ölçüm, raporlama ve doğrulama (MRV) mekanizmalarını, otomatikleştirmekte, karbon kredilerinin güvenilirliğini artırmakta ve piyasaların daha likit hale gelmesini sağlamaktadır (Howson, 2019, ss. 644-645). Bu gelişme, yenilenebilir enerji projelerini hayata geçiren aktörler açısından ek bir gelir kaynağı yaratmakta, böylece projelerin ekonomik sürdürülebilirliğini güçlendirmektedir. Azerbaycan gibi karbon piyasası altyapısının henüz olgunlaşmadığı ülkelerde tokenize karbon kredileri, uluslararası piyasalara entegrasyonun önemli bir aracı olarak işlev görebilir.

Akıllı sözleşmeler, enerji finansmanında özellikle proje izleme ve ödemeler konusunda kritik bir rol üstlenmektedir. Geleneksel proje finansmanı yapılarında, hibe ve kredi ödemelerinin belirli proje kilometre taşlarına bağlanması büyük bir idari yük oluşturmakta ve doğrulama gecikmeleri nedeniyle nakit akışı sorunlarına yol açmaktadır. Akıllı sözleşmeler bu sorunun üstesinden gelir, ön tanımlı koşullar gerçekleştiğinde ödemeler otomatik olarak tetiklenir, böylece insan müdahalesi en aza indirilir ve güven ortamı güçlenir. Truby (2018), akıllı sözleşmelerin yenilenebilir enerji projelerinde çevresel performans verilerine dayalı ödeme mekanizmalarını mümkün kıldığını vurgulamaktadır. Bir güneş enerjisi tesisinin üretim miktarının anlık olarak izlenip akıllı sayaçlar aracılığıyla blokzincire aktarılması ve bu verinin önceden belirlenmiş finansman taksitlerini otomatik olarak tetiklemesi, söz konusu işlevselliğin somut bir yansımasıdır.

Yeşil Fintek'in şeffaflık ve işlem maliyetleri üzerindeki etkisi, akademik literatürde giderek daha fazla incelenmektedir. Finansal şeffaflığın arttığı ortamlarda, yatırımcıların yenilenebilir enerji projelerine olan güveninin güçlendiği ve dolayısıyla risksiz getiri talep edilen risk priminin düştüğü gözlemlenmektedir (Akomea-Frimpong vd., 2022). Bu dinamik, özellikle kurumsal çerçevesi ve düzenleyici altyapısı henüz gelişmekte olan ülkelerde son derece önemlidir. Zira yabancı yatırımcıların bu piyasalara olan çekincesinin temelinde büyük ölçüde şeffaflık kaygıları yatmaktadır. Dağıtık defter teknolojisinin sağladığı değiştirilemez kayıt kabiliyeti, projeye ilişkin tüm finansal işlemlerin ve çevresel performans verilerinin şeffaf biçimde izlenmesine olanak tanımaktadır.

Finansal kapsayıcılık boyutu ele alındığında, Yeşil Fintek'in KOBİ ölçekli yenilenebilir enerji projelerine sağladığı avantajlar belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Geleneksel finans sistemleri, büyük ölçekli altyapı yatırımlarını önceleyen risk değerlendirme modelleriyle işlediğinden küçük ve orta ölçekli yenilenebilir enerji projelerini genellikle dışlamaktadır.

Kitlesel fonlama platformları, eşler arası enerji ticareti sistemleri ve tokenize edilmiş yatırım araçları, bu engeli aşarak küçük yatırımcıların yeşil projelere dahil olmasının önünü açmaktadır. Zhang ve ark. (2016), enerji sektörüne yönelik kitlesel fonlama platformlarının yalnızca finansman işlevinin ötesinde piyasa geliştirici bir rol üstlendiğini ve güneş enerjisi ile enerji verimliliği projelerinde bu modelin başarılı şekilde uygulandığını ortaya koymuştur. Azerbaycan'daki kentsel ve kırsal KOBİ'ler açısından böyle bir finansal ekosistem, enerji dönüşümüne katılımın önündeki yapısal engelleri önemli ölçüde aşındırabilir.

Sermayenin demokratikleşmesi olgusunu derinlemesine ele aldığımızda, tokenizasyonun geleneksel finansman hiyerarşisini nasıl dönüştürdüğünü açıkça görmek mümkündür. Büyük ölçekli bir güneş veya rüzgar enerjisi projesinin tokenize edilmesi, o projeye ait hakkın küçük birimlere bölünerek nitelikli yatırımcı dışındaki kesimlere de sunulmasını mümkün kılmaktadır. Bu yaklaşım, yerel toplulukların enerji projelerinde pay sahibi olmasını sağlarken enerji üretiminden elde edilen gelirin daha geniş bir kesime dağılmasına da katkıda bulunmaktadır (Venmans vd., 2020, s. 1076). Azerbaycan bağlamında düşünüldüğünde bu model, merkez-çevre eşitsizliklerini giderme ve yenilenebilir enerji dönüşümüne toplumsal meşruiyet zemini oluşturma açısından son derece değerli bir işlev görebilir.

Tüm bu tartışmalar göstermektedir ki mevcut literatür, Yeşil Fintek'in genel potansiyelini ortaya koyma noktasında önemli adımlar atmış olsa da bu araçların somut ülke bağlamlarında nasıl çalışacağına, hangi kurumsal koşulların gerektirdiğine ve politika entegrasyonunun nasıl sağlanacağına ilişkin çalışmalar yetersiz kalmaktadır. Özellikle geçiş ekonomileri ile petrol gelirlerine bağımlı ülkeler üzerine odaklanan araştırmaların azlığı, bu alanda belirgin bir boşluk oluşturmaktadır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu Azerbaycan örneği üzerinden doldurmaya çalışmakta ve hem kavramsal hem de politika odaklı katkılar sunmaktadır.

AZERBAYCAN'IN YEŞİL ENERJİ VİZYONU VE MODEL ÖNERİSİ

Azerbaycan'ın yeşil enerji alanındaki dönüşüm vizyonu, hem resmi politika belgelerinde hem de uluslararası taahhütlerde belirgin biçimde ifade edilmektedir. Ülkenin 2030 Sosyo-Ekonomik Kalkınma Programı, ekonomik çeşitlendirmenin yanı sıra çevre ve enerji sürdürülebilirliğini öncelikli hedefler olarak belirlemiştir. Bu program çerçevesinde Azerbaycan, yenilenebilir enerji kapasitesini 2030 yılına kadar 6.000 MW'ın üzerine çıkarmayı ve toplam elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların payını yüzde otuzla kırkın arasında tutmayı hedeflemektedir (Prezident.az, 2025). Bu hedef, özellikle Karabağ bölgesi için tasarlanan "Yeşil Enerji Bölgesi" projesiyle somut bir anlam kazanmaktadır. Söz konusu proje, çatışma sonrası bölgeyi yeniden yapılandırma sürecini yeşil dönüşümle bütünleştiren özgün ve öncü bir model olarak uluslararası arenada geniş yankı uyandırmıştır (Aliyev, 2025). Azerbaycan, BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında sunduğu Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkılar (NDC) belgesinde de bu hedefleri uluslararası iklim taahhütleriyle ilişkilendirmiştir.

Azerbaycan'ın enerji dönüşümü potansiyelini besleyen önemli bir etken, coğrafi kaynak zenginliğidir. Ülke, Güney Kafkasya'nın en yüksek güneş radyasyonu değerlerine sahip bölgelerinden birinde yer almakta olup Hazar kıyısındaki rüzgar hızları büyük ölçekli rüzgar enerjisi yatırımları açısından elverişli koşullar sunmaktadır. Suudi Arbistan merkezli "ACWA Power" şirketi ile imzalanan anlaşmalar kapsamında Abşeron yarımadasında 240 MW kapasiteli rüzgar santrali inşaatı süreci devam etmektedir (Prezident.az, 2026). Bununla birlikte, mevcut finansal altyapının bu ölçekte projeleri çeşitlendirerek ve demokratikleştirerek destekleme kapasitesi hala sınırlı kalmaktadır. Bu kısıt, Yeşil Fintek araçlarının sisteme entegrasyonunu hem mümkün hem de zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada benimsenen niteliksel metodoloji, üç temel kaynak kategorisine dayandırılmıştır: politika belgelerinin içerik analizi, karşılaştırmalı literatür taraması ve analitik model geliştirme. İçerik analizi kapsamında Azerbaycan hükümetinin enerji ve kalkınma stratejileri ile uluslararası kuruluşlara sunulan belgeler incelenmiştir. Karşılaştırmalı literatür taramasında ise benzer gelişmişlik profiline sahip ülkelerin Yeşil Fintek uygulamaları ile bu uygulamaların sonuçlarına ilişkin ampirik çalışmalar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bütünleşik bir model önerisine dönüştürülmüştür. Söz konusu model, uygulama alanlarını, finansal mekanizma tasarımını ve paydaş rollerini sistematik biçimde ortaya koymaktadır.

Önerilen Green Fintech tabanlı model, birbiriyle entegre üç temel katmandan oluşmaktadır. Birinci katman, varlık tokenizasyonu ve dijital tahvil ihracını kapsayan sermaye mobilizasyon bileşenidir.

Bu katmanda güneş ve rüzgar enerjisi projelerine ait üretim hakları blokzincir üzerinde tokenize edilerek hem yurt içi hem de yurt dışı yatırımcılara açılmakta, Azerbaycan Merkez Bankası'nın denetimi altında faaliyet gösteren ve çevresel standartları otomatik olarak doğrulayan akıllı sözleşme altyapısı bu süreci yönetmektedir. Tokenize tahviller, minimum yatırım miktarını düşürerek Azerbaycanlı bireysel yatırımcıların da bu sisteme dahil olmasını sağlamaktadır (Nassiry, 2018). İkinci katman, izleme ve doğrulama bileşenidir. Bu katmanda Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarından toplanan gerçek zamanlı üretim verileri blokzincir üzerine kaydedilerek karbon kredisi tahakkukunu ve finansman taksitlerini otomatik olarak tetiklemektedir. Üçüncü katman ise ikincil piyasa ve likidite mekanizmalarını içeren ticarileştirme bileşenini oluşturmaktadır. Bu katmanda tokenize enerji varlıklarının alınıp satılabildiği düzenlenmiş bir ikincil piyasa kurulmakta, bu piyasa aracılığıyla yatırımlar likit bir nitelik kazanmaktadır.

Önerilen modelin uygulama alanları analiz edildiğinde, farklı sektörler için farklı öncelik seviyeleri ortaya çıkmaktadır. Güneş enerjisi alanında özellikle küçük ve orta ölçekli çatı üstü sistemler ile köy ölçeğindeki mikro şebekeler, tokenize finansmanın en hızlı benimseneceği segment olarak öne çıkmaktadır. Bu projelerde yatırım tutarlarının görece düşüklüğü, tokenizasyon yapısının uygunluğu ve getiri profilinin öngörülebilirliği, sistematik yaygınlaşmaya olanak tanımaktadır. Rüzgar enerjisi projelerinde ise ölçek ekonomisinin sağlanması büyük önem taşımakta, bu nedenle model, birden fazla küçük projeyi tek bir tokenize ihraç altında birleştiren yapılar önermektedir (Averchenkova vd., 2020). Enerji verimliliği yatırımları, özellikle endüstriyel tesisler ve kamu binaları için de modelin uygulanabilir olduğu bir alan oluşturmaktadır. Bu alanda tasarruf edilen enerji miktarı üzerinden hesaplanan karbon kredileri, blokzincire kaydedilerek projelerin ikincil gelir akışı elde etmesine zemin hazırlamaktadır.

Paydaş analizi bağlamında değerlendirildiğinde, modelin başarısı için devlet aktörlerinin üstleneceği roller kritik önem taşımaktadır. Azerbaycan Cumhurbaşkanlığı İdari İşler Departmanı ve Enerji Bakanlığı, politika çerçevesini oluşturmakla ve tokenize yeşil tahvil ihraçları için düzenleyici bir güvenli alan (sandbox) tanımlamakla yükümlüdür. Bu konuda Singapur Merkez Bankası'nın yeşil Fintek girişimleri için uygulamaya koyduğu düzenleyici sandbox modeli, Azerbaycan için referans alınabilecek başarılı bir örnek sunmaktadır (Heseková vd., 2026; Kálmán, 2025). Azerbaycan Merkez Bankası, dijital varlık sınıflandırması, yatırımcı koruması ve kara para aklamayla mücadele gereklilikleri konularında net ve tutarlı bir düzenleyici çerçeve oluşturmalıdır. Devlet Petrol Şirketi SOCAR, hem finansman hem de teknik bilgi birikimi bakımından projelere katkı sağlayabilecek kilit kurumsal aktör olarak değerlendirilmektedir.

Finansal kuruluşların modeldeki rolü, yalnızca fon sağlamakla sınırlı kalmayıp çok daha kapsamlı bir işlevselliği kapsamaktadır. Azerbaycan'ın devlet bankalarını tokenize tahvil ihraçlarında garantör ya da düzenleyici kurum olarak konumlanabilir, bu sayede yatırımcı güvenini pekiştiren bir köprü işlevi görebilirler. Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) ve Avrupa Yatırım Bankası (EIB) gibi çok taraflı kalkınma bankaları, ilk ihraçlarda katalizör sermaye sağlayarak erken aşama riskini paylaşabilir ve özel sektör yatırımcılarının sisteme çekilmesini kolaylaştırabilir (EBRD, 2020). Ayrıca fintech startup'larının sisteme dahil edilmesi, teknoloji geliştirme kapasitesini artırabilir ve blokzincir altyapısı ile akıllı sözleşme sistemlerinin yerli uzmanlıkla inşasına katkıda bulunabilir.

Özel sektörün modeldeki rolü, hem projenin geliştiricisi hem de yatırımcı olarak çift yönlüdür. KOBİ ölçekli yenilenebilir enerji geliştiricileri, tokenize yapının doğrudan yararlanıcısı konumundadır. Zira bu yapı sayesinde büyük sermaye miktarlarını tek bir kaynaktan temin etmek yerine geniş bir yatırımcı tabanından küçük parçalar halinde sermaye toplayabilmektedirler. Kurumsal yatırımcılar, sigorta şirketleri ve emeklilik fonları açısından ise tokenize yeşil enerji varlıkları, ESG (Çevresel, Sosyal ve Yönetişim) portföy hedeflerini karşılama açısından çekici bir yatırım kategorisi oluşturmaktadır. Bu paydaşların modelin tasarım aşamasından itibaren sürece dahil edilmesi, kurumsal kabulü artıracak ve uygulama sürecini hızlandıracaktır.

Politika entegrasyonu açısından değerlendirildiğinde, önerilen modelin mevcut Azerbaycan politika çerçevesiyle tutarlılığı son derece güçlüdür. Model, 2030 Sosyo-Ekonomik Kalkınma Programı'nın yenilenebilir enerji hedefleriyle, "Yeşil Enerji Bölgesi" stratejisiyle ve ülkenin uluslararası iklim taahhütleriyle doğrudan örtüşmektedir. Buna ek olarak modelin hayata geçirilmesi, Azerbaycan'ın bölgesel finansal merkez olma hedefiyle de uyumludur. Zira başarılı bir uygulama, ülkeyi Orta Asya ve Kafkasya'daki diğer geçiş ekonomileri için bir model ve referans noktasına dönüştürebilir.

SONUÇ

Bu çalışma, Yeşil Fintek araçlarının Azerbaycan'ın sürdürülebilir enerji finansmanında oynayabileceği stratejik rolü bütüncül bir perspektiften ortaya koymuştur. Araştırmanın temel bulguları blokzincir tabanlı dijital finansal araçların işlem maliyetlerini önemli ölçüde düşürebileceğini, finansal şeffaflığı artırabileceğini ve sermayenin demokratikleşmesine katkıda bulunabileceğini açıkça göstermektedir. Önerilen üç katmanlı model, tokenize edilmiş sermaye mobilizasyonunu gerçek zamanlı izleme ve doğrulama mekanizmalarıyla bütünleştirmekte, bu entegrasyon aracılığıyla enerji sektörüne özgü finansal kapsayıcılık sorunlarına yönelik sistemik bir çözüm sunmaktadır. Modelin Azerbaycan bağlamında uygulanabilirliği ise Karabağ'daki "Yeşil Enerji Bölgesi" projesi, Abşeron rüzgar ve güneş santralleri ile çatı üstü güneş enerjisi sistemleri gibi somut uygulama alanları üzerinden değerlendirilmiştir.

Yeşil Fintek'in kaldıraç etkisi, en açık biçimde iki temel dinamikte kendini göstermektedir. Birincisi, tokenizasyon mekanizması aracılığıyla küçük yatırımcıların sisteme dahil edilmesi, yenilenebilir enerji projelerinin potansiyel yatırımcı havuzunu büyük ölçüde genişletmektedir. İkincisi, akıllı sözleşmeler ve blokzincir kayıtlarının sağladığı şeffaflık ve güvenilirlik, yabancı kurumsal yatırımcıların gelişmekte olan piyasalara olan çekincesini azaltmaktadır. Bu iki dinamik birleştiğinde, Azerbaycan'ın yenilenebilir enerji finansmanı için ihtiyaç duyduğu sermaye mobilizasyonu kapasitesinin önemli ölçüde artabileceği öngörülmektedir.

Ekonomik ve sektörel katkılar bakımından ise modelin hayata geçirilmesi durumunda beklenen çarpan etkileri son derece kapsamlıdır. Güneş ve rüzgar enerjisi yatırımlarının artması, hem inşaat hem de işletme aşamasında istihdam yaratacak, enerji dışa bağımlılığının azalması ise döviz tasarrufu sağlayarak cari açığı daraltacaktır. Öte yandan, finansal teknoloji alanındaki yerli kapasite gelişimi, Azerbaycan'ın Kalkınma Hizmetleri alanındaki rekabetçiliğini artırabilir. Karbon kredisi gelirlerinin de sisteme entegrasyonu düşünüldüğünde, projelerin mali ömrü uzayacak ve iç verimlilik oranları yükselecektir.

Politika yapıcılar açısından sunulan öneriler öncelikle düzenleyici çerçevenin netleştirilmesi etrafında şekillenmektedir. Azerbaycan Merkez Bankası ve Maliye Bakanlığı, dijital enerji varlıkları için açık bir hukuki çerçeve oluşturmalıdır. Bu çerçeve, yatırımcı korumasını, denetim mekanizmalarını ve çevresel doğrulama standartlarını güvence altına almalıdır. Uluslararası finans kuruluşlarıyla ortaklık, pilot projelerin geliştirilmesinde katalizör bir rol üstlenebilir. Bunun yanı sıra fintech girişimcilerine yönelik sandbox ortamlarının oluşturulması, modelin hızla pilot uygulamaya alınmasına zemin hazırlayacaktır.

Gelecek araştırma alanları değerlendirildiğinde, bu çalışmanın niteliksel ve kavramsal çerçevesinin nicel çalışmalarla desteklenmesi büyük önem taşımaktadır. Tokenize enerji projelerinin getiri ve risk profillerini modelleyen finansal simülasyon çalışmaları, paydaşların karar verme süreçlerini önemli ölçüde destekleyebilir. Ayrıca benzer ekonomik profillere sahip Kazakistan, Özbekistan ve Georgia gibi ülkelerle karşılaştırmalı analizlerin yapılması, bölgesel çıkarımlar sunması açısından değerli bir katkı sağlayacaktır. Kurum içi adaptasyon kapasitesi, kültürel faktörler ve dijital okuryazarlık düzeyinin modelin benimsenmesi üzerindeki etkileri de incelenmeye değer araştırma konuları arasındadır. Genel bir değerlendirmeyle söylemek gerekirse, Yeşil Fintek yalnızca bir finansal araç olmanın ötesinde, Azerbaycan'ın sürdürülebilir bir gelecek vizyonunu hayata geçirmesine zemin hazırlayan bir sistem dönüşümünün katalizörü olarak konumlanmaktadır.

KAYNAKÇA

Ahmad, M., Pata, U. K., Ahmed, Z., & Zhao, R. (2024). Fintech, natural resources management, green energy transition, and ecological footprint: Empirical insights from EU countries. *Resources Policy*, 92, 104972. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104972

Akomea-Frimpong, I., Adeabah, D., Ofosu, D., & Tenakwah, E. J. (2022). A review of studies on green finance of banks, research gaps and future directions. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, *12*(4), 1241–1264. https://doi.org/10.1080/20430795.2020.1870202

Aliyev, S. (2025). Strategic importance of the green energy zone in the sustainable development of the Karabakh economic region. *International Conference on Next-Generation Innovations and Sustainability 2025*. Futurity Research Publishing. https://doi.org/10.5281/zenodo.15199941

Averchenkova, A., Bhattacharya, A., Calland, R., Gonzalez, L., Martinez-Diaz, L., & van Rooij, J. (2020). *Delivering on the $100 billion climate finance commitment and transforming climate*

finance. Independent Expert Group on Climate Finance. https://www.un.org/sites/un2.un.org/files/2020/12/100_billion_climate_finance_report.pdf

Broby, D., & Yang, Z. (2025). What Is Green Fintech? *Journal of Risk and Financial Management*, *18*(7), 379. https://doi.org/10.3390/jrfm18070379

Ciarreta, A., & Nasirov, S. (2012). Development trends in the Azerbaijan oil and gas sector: Achievements and challenges. *Energy Policy*, 40, 282–292. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.002

EBRD. (2020). *Green economy transition approach 2021–25.* European Bank for Reconstruction and Development. https://www.ebrd.com/content/dam/ebrd_dxp/assets/pdfs/green-economy-transition/ebrds-green-economy-transition-approach/Green-Economy-Transition-Approach-2021-2025.pdf

Heseková, S., Lapsánszky, A., Kálmán, J., Janovec, M., & Zalcewicz, A. (2026). Regulatory Risk in Green FinTech: Comparative Insights from Central Europe. *Risks*, *14*(1), 8. https://doi.org/10.3390/risks14010008

Howson, P. (2019). Tackling climate change with blockchain. *Nature Climate Change*, 9(9), 644–645. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0567-9

IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

IRENA. (2023). *World energy transitions outlook 2023: 1.5°C pathway*. International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023

Kálmán, J. (2025). The Role of Regulatory Sandboxes in FinTech Innovation: A Comparative Case Study of the UK, Singapore, and Hungary. *FinTech*, *4*(2), 26. https://doi.org/10.3390/fintech4020026

Khanayev, A., & Al, A. (2025). Azerbaijan's Renewable Energy Policies and Green Energy Corridors. *Marmara Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, *12*(2), 800-818. https://doi.org/10.16985/mtad.1724847

Liu, H., Yao, P., Latif, S., Aslam, S., & Iqbal, N. (2022). Impact of Green financing, FinTech, and financial inclusion on energy efficiency. *Environ Sci Pollut Res 29*, 18955–18966. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16949-x

Nassiry, D. (2018). *The role of fintech in unlocking green finance: Policy insights for developing countries* (ADBI Working Paper No. 883). Asian Development Bank Institute. https://www.adb.org/publications/role-fintech-unlocking-green-finance

Öztürk, M., & Öztürk, A. (2019). BMİDÇS'den Paris Anlaşması'na: Birleşmiş Milletler'in iklim değişikliğiyle mücadele çabaları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(4), 527-541. https://doi.org/10.25287/ohuiibf.494667

Prezident.az. (2025, April 4). *Speech by Ilham Aliyev at the 11th Southern Gas Corridor Advisory Council Ministerial Meeting and the 3rd Green Energy Advisory Council Ministerial Meeting*. https://president.az/en/articles/view/68581

Prezident.az. (2026, January 8). *Official opening ceremony of 240 MW "Khizi-Absheron" Wind Power Plant was held in Baku*. https://president.az/en/articles/view/71234/print

Qin, Q., & Tan, L. (2025). Lighting a green future: The role of FinTech in the renewable energy transition. *Science Progress*, *108*(1), 1-22. https://doi.org/10.1177/00368504251323566

Shi, Y., & Yang, B. (2025). China's energy system building toward an era of resilience: How green fintech can empower?. *International Review of Economics & Finance*, 98, 103876. https://doi.org/10.1016/j.iref.2025.103876

Truby, J. (2018). Decarbonizing Bitcoin: Law and policy choices for reducing the energy consumption of blockchain technologies and digital currencies. *Energy Research & Social Science*, 44, 399–410. https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.009

Venmans, F., Ellis, J., & Nachtigall, D. (2020). Carbon pricing and competitiveness: Are they at odds? Climate Policy, 20(9), 1071–1091. https://doi.org/10.1080/14693062.2020.1805291

Zhang, B., Baeck, P., Ziegler, T., Bone, J., & Garvey, K. (2016). *Pushing boundaries: The 2015 UK alternative finance industry report*. Cambridge Centre for Alternative Finance. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3621312

Zia, Z., Zhong. R., & Akbar, M. W. (2024). Analyzing the impact of fintech industry and green financing on energy poverty in the European countries. *Heliyon*, 10, e27532. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27532

RUSSIA'S "BACKYARD" POLICY: THE SEARCH FOR HEGEMONY IN THE SOUTH CAUCASUS

RUSYA'NIN "ARKA BAHÇE" POLİTİKASI: GÜNEY KAFKASYA'DA HEGEMONYA ARAYIŞI

Meral BALCI
Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-3638-5339

Indira PHUTKARADZE
Dr., İstanbul Nişantaşı Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0003-0242-5216

ÖZET
Güney Kafkasya hem enerji koridorları hem de jeopolitik konumu nedeniyle büyük güç rekabetinin merkezinde yer almaktadır. Bu durum Rusya'nın bölgeyi yakın çevre doktrini kapsamında değerlendirilmesine yol açmaktadır. Rusya'nın arka bahçe politikası ise post Sovyet coğrafyasında özellikle güney Kafkasya'da nüfusunu sürdürme ve bölgesel hegemonya kurma stratejisinin temelini oluşturmaktadır. Bu politika çerçevesinde Rusya; Gürcistan, Azerbaycan ve Ermenistan gibi devletler üzerinde siyasi, askeri ve ekonomik araçlar aracılığıyla etkisini sürdürmeye çalışmaktadır. Gürcistan örneğinde Rusya'nın arka bahçe politikasının en belirgin yansımaları etnik çatışmalar üzerinde görülmektedir. Azerbaycan ile Ermenistan arasında dağlık Karabağ sorunu da Rusya'nın arka bahçe politikasının bir diğer önemli boyutunu oluşturmaktadır.
Sovyetler sonrası Abkhazia ve "Güney Osetya çatışmaları Rusya'nın bölgedeki etkisinin artmasına hizmet etmiş. Moskova hem barış gücü rolü üstlenmiş hem de ayrılıkçı yapıları desteklemiştir. 2008 savaşıyla bu politika askeri boyut kazanmış. Rusya'nın bölgedeki kalıcı varlı güçlenmiştir. Aynı şekilde Rusya Ermenistan ve Azerbaycan arasında denge kurarak nüfusunu sürdürmüş. 2020 Karabağ savaşı sonrası barış gücüyle bölgedeki belirleyici aktör konumunu pekiştirilmiştir.
Sonuç olarak Rusya'nın arka bahçe politikası güney Kafkasya da dondurulmuş çatışmaların sürdürülmesi ayrılıkçı bölgelerin desteklenmesi ve askeri varlığın kalıcı hale getirilmesi gibi stratejilerle şekillendirdiği görülmektedir. Gürcistan'daki etnik çatışmalar ve Azerbaycan-Ermenistan arasındaki Karabağ sorunu Moskova'nın bölgesel hegemonya kurma çabasının temel araçları olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, Güney Kafkasya'nın sadece yerel aktörlerin değil aynı zamanda büyük güçlerin de rekabet alanı olduğu ve olmaya devam ettiğine işaret edilmektedir. Çalışmanın kaynaklarını bölgede kendi dillerinde yayınlanan gazeteler, dergiler ve bölgeyle ilgili olarak yazılmış olan analiz ve kitaplar oluşturmaktadır.
Anahtar kelimeler: Rusya, Güney Kafkasya, Etnik çatışmalar, Bölgesel hegemonya

ABSTRACT
The South Caucasus is at the center of great power competition due to both its energy corridors and geopolitical location. This leads Russia to consider the region within the framework of its "near abroad" doctrine. Russia's backyard policy forms the basis of its strategy to maintain its influence and establish regional hegemony, particularly in the South Caucasus, in the post-Soviet space. Within this framework, Russia seeks to maintain its influence over states such as Georgia, Azerbaijan, and Armenia through political, military, and economic means. In the case of Georgia, the most prominent manifestations of Russia's backyard policy are seen in ethnic conflicts. The Nagorno-Karabakh conflict between Azerbaijan and Armenia also constitutes another important dimension of Russia's backyard policy.
The post-Soviet conflicts in Abkhazia and South Ossetia served to increase Russia's influence in the region. Moscow both assumed a peacekeeping role and supported separatist structures. With the 2008 war, this policy gained a military dimension. Russia's permanent presence in the region was strengthened. Similarly, Russia maintained its influence by balancing between Armenia and Azerbaijan. After the 2020 Nagorno-Karabakh war, it solidified its position as a decisive actor in the region with its peacekeeping force.

In conclusion, Russia's backyard policy in the South Caucasus is shaped by strategies such as maintaining frozen conflicts, supporting separatist regions, and making its military presence permanent. Ethnic conflicts in Georgia and the Nagorno-Karabakh issue between Azerbaijan and Armenia stand out as key tools in Moscow's efforts to establish regional hegemony. This study points out that the South Caucasus is, and continues to be, a field of competition not only for local actors but also for major powers. The sources of the study consist of newspapers, magazines published in the region in their own languages, and analyses and books written about the region.
Keywords: Russia, South Caucasus Ethnic conflicts, Regional hegemony

GİRİŞ

Tarih boyunca Güney Kafkasya, büyük güçler tarafından sürekli olarak nüfuz mücadelesine konu olan, muazzam jeopolitik öneme sahip bir bölge olmuştur. Gürcistan, Azerbaycan ve Ermenistan bu bölgeyi kapsamakta ve Avrupa ile Asya arasında stratejik bir köprü oluşturmaktadır; enerji hatları, ulaşım koridorları ve güvenlik sistemi nedeniyle küresel güçlerin dikkatini çekmektedir. Sovyetler Birliği'nin çöküşünden bu yana Rusya Federasyonu, bölgeyi "komşuluk" ve hatta bir tür "arka bahçe" olarak görmüştür. "Arka bahçe politikası", güçlü bir devletin sınırlarına yakın bölgeleri kendi münhasır nüfuz alanı olarak görmesi ve bu bölgedeki diğer güçlerin etkisini sınırlamaya çalışması politikası olarak tanımlanabilir. Rusya için Güney Kafkasya, sadece tarihi bağlar açısından değil, aynı zamanda ulusal güvenlik, enerji jeopolitiği ve büyük bir güç olarak statüsünü korumak açısından da önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, Rusya'nın Güney Kafkasya'da hegemonya arayışının tarihsel ve çağdaş yönlerini incelemek, Moskova'nın bölgesel dış politika araçlarını analiz etmek ve bu politikanın bölgesel etkilerini değerlendirmektir. Gürcistan, Ermenistan ve Azerbaycan'ı kapsayan Güney Kafkasya, tarihsel olarak büyük güçlerin çıkarlarının kesişme noktası olmuştur. Avrupa ve Asya'yı birbirine bağlayan stratejik bir koridor üzerindeki konumu, bölgeye özel bir jeopolitik önem kazandırmaktadır. Sonuç olarak, Rusya Federasyonu Güney Kafkasya'yı etki alanı veya "arka bahçesi" olarak görmektedir. Uluslararası ilişkilerde "arka bahçe politikası", güçlü bir devletin komşu bir bölgeyi özel etki alanı olarak görmesi ve özellikle Batı'nın bölgeye nüfuzunu sınırlamaya çalışması anlamına gelir. Bu Rus yaklaşımı, özellikle Sovyetler Birliği'nin çöküşünden sonra, Moskova'nın eski Sovyet cumhuriyetlerini "yakın çevresi" olarak tanımlamasıyla daha da belirginleşmiştir.

Teorik Çerçeve: Hegemonya ve Yakın Çevre Doktrini

Hegemonya kavramı, uluslararası ilişkiler literatüründeki çeşitli teorik yaklaşımlar içinde disiplinin temel kavramlarından biri olarak kabul edilmektedir. "Hegemonya" teriminin modern anlamda kullanımı, Antonio Gramsci'nin çalışmalarına dayanmaktadır. Gramsci, hegemonyanın yalnızca askeri ve ekonomik güce değil, aynı zamanda ideolojik ve kültürel araçlara da dayandığını savunmaktadır (Gramsci, 1978:431). Bu yaklaşımda, hegemonik güç yalnızca askeri ve ekonomik güce değil, aynı zamanda ideolojik ve kültürel araçlara da dayanmaktadır (Goodin vd., 2005:4). Güçle sınırlı olmayan bu hegemonya, norm ve kurallar yaratma yeteneğini de içermektedir. Gerçekten de, hegemonik aktörler uluslararası kurallar ve normlar sistemini tanımlama yeteneğine sahiptir.

Hegemonya kavramı, farklı kuramsal yaklaşımlar içinde farklı şekillerde yorumlanmaktadır. Gerçekçi yaklaşıma göre hegemonya, bir devletin askeri ve ekonomik üstünlüğüne dayalı baskın konumunu ifade ederken; eleştirel kuram bu kavramı uzlaşma oluşumu ve ideolojik liderlik bağlamında değerlendirir (Bostanoğlu, 2002:18). Buna göre hegemonya, yalnızca zorlayıcı güç unsurlarına değil, aynı zamanda ikna, uzlaşma ve ortak bir çıkar duygusunun yaratılmasına da dayanır. Hegemonik devletler, bu çok boyutlu güç unsurları sayesinde uluslararası sistemde belirleyici bir konum işgal eder ve yeni bir büyük gücün ortaya çıkmasına kadar bunu sürdürebilirler.

Uluslararası ilişkiler kuramları, sistemin işleyişini ve aktörler arasındaki güç ilişkilerini anlamak için temel bir çerçeve sağlar. Özellikle savaş ve barış olguları, bu kuramsal birikimin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Tarihsel süreçlere dayanan modern teoriler, uluslararası sistemin doğasını, aktörlerini ve işleyiş mekanizmalarını açıklamaya çalışır (Aydin, 2001:19).

Soğuk Savaş'ın sona ermesi ve Sovyetler Birliği'nin çöküşü, uluslararası sistemde önemli dönüşümlere yol açtı. Eski Sovyet topraklarında yeni bağımsız devletlerin ortaya çıkması, bölgesel rekabeti yoğunlaştırdı ve güç mücadelelerini daha görünür hale getirdi.

Bu bağlamda, Rus dış politikasında önemli bir yer tutan "Yakın Yabancı Doktrini", hegemonya kavramının bölgesel bir yansıması olarak görülmektedir. Bu doktrin, eski Sovyet topraklarını Moskova'nın doğal etki alanı olarak tanımlar ve Rusya'nın bölgedeki diğer aktörlerin etkisini sınırlama girişimlerini gösterir (Phutkaradze, 2023:128). hegemonya ve Yakın Yabancı Doktrini birlikte ele alındığında, uluslararası sistemdeki güç ilişkilerinin sadece maddi yeteneklere dayanmadığı; ideolojik, kültürel ve normatif unsurların da belirleyici bir rol oynadığı açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu, hegemonya kavramının çok yönlü doğasını ve özellikle bölgesel politikadaki işlevselliğini açıkça göstermektedir.

RUSYA FEDERASYONU'NUN DIŞ POLİTİKASI VE ARKA BAHÇE YAKLAŞIMI

Sovyetler Birliği'nin çöküşünün ardından Rusya Federasyonu, uluslararası sistemde yeni bir konum oluşturmaya çalıştı. İki kutuplu sistemin sona ermesinden sonra ortaya çıkan güç boşluğu ve belirsizlik, Moskova'yı küresel düzendeki rolünü yeniden düşünmeye zorladı. Bu süreçte Rusya'nın temel amacı, uluslararası sistemde büyük bir güç olarak statüsünü yeniden kazanmak ve eski Sovyet Cumhuriyetleri topraklarında etkisini sürdürmek oldu (Tellal, 2007:227-230). Bu bağlamda, Rus dış politikasının en belirgin özelliklerinden biri, "yakın çevre" olarak tanımlanan eski Sovyet cumhuriyetlerinde etkisini sürdürme arzusudur. Moskova bu bölgeyi doğal etki alanı olarak görüyor ve bu bölgedeki diğer küresel ve bölgesel aktörlerin etkisini sınırlamaya çalışıyor (Phutkaradze, 2023:128). Özellikle AB'nin genişleme politikası ve ABD'nin küresel hegemonya arayışı, Rusya'yı bu bölgede daha aktif ve zaman zaman iddialı bir politika izlemeye zorladı (Tellal, 2007:227).

Güney Kafkasya, Rus dış politikasında özel bir öneme sahiptir. Jeostratejik konumu, onu hem Orta Asya'ya açılan bir kapı hem de Orta Doğu'ya geçiş güzergahı haline getirmektedir. Buna ek olarak, Türkiye ve İran gibi önemli bölgesel aktörlerle kesişmesi, Kafkasya'nın önemini daha da artırmaktadır. Bu bağlamda Rusya, bölge üzerindeki kontrolünü sürdürürken bir tür "tampon bölge" ve güvenlik koridoru oluşturmaya çalışmaktadır (Phutkaradze,2023:128).

Rusya'nın Güney Kafkasya'daki politikası sadece jeostratejik meselelerle değil, aynı zamanda enerji ve güvenlik kaygılarıyla da belirlenmektedir. Bölge, kritik bir enerji taşıma güzergahı üzerinde yer almakta olup, bu durum Rusya'nın enerji politikası aracılığıyla nüfuz kurma arzusunu güçlendirmektedir. Moskova, bölge ülkelerinin Batı ile entegrasyonunu sınırlamaya çalışsa da, kendi ekonomik ve enerji ağları aracılığıyla bağımlılık ilişkileri geliştirmeyi hedeflemektedir (Tanrısever, 2005:61). Bu süreçte Rusya, bazen etnik çatışmaları istismar etmekte ve bölgesel istikrarsızlığı kullanmaya çalışmaktadır. Bu strateji, bölge ülkelerinin merkezi otoritelerini zayıflatmakta ve onları Moskova'ya daha bağımlı hale getirmektedir (Kennedy-Pipe ve Welch, 2005:285). Böylece Rusya, bölgedeki diğer aktörlerin nüfuzunun güçlenmesini engellemekte ve kendi nüfuzunu pekiştirmeye çalışmaktadır.

1990'lardaki ekonomik ve siyasi krizin ardından, Rusya, özellikle 2000'lerde Vladimir Putin'in liderliğinde, daha bütüncül ve pragmatik bir dış politika izlemeye başladı. Bu dönemde, yalnızca askeri ve siyasi araçlara dayalı bir yaklaşım yetersiz kaldı; ekonomik araçlar ve enerji politikası dış politikanın önemli unsurları haline geldi. Rusya'nın amacı, bölgedeki ülkelerle ekonomik bağları güçlendirerek ve enerji bağımlılığı yaratarak etkisini artırmaktı (Tanrısever, 2005:61). Rusya Federasyonu'nun Sovyet sonrası dış politikası, küresel sistemdeki konumunu yeniden kazanma ve yakın çevresinde hegemonik bir etki alanı oluşturma hedefleriyle şekillendi. Bu politika, askeri, siyasi ve ekonomik araçları eş zamanlı olarak kullanan çok boyutlu bir stratejiye dayanmaktadır ve Rusya'nın özellikle Güney Kafkasya'da belirleyici bir oyuncu olma arzusunu açıkça göstermektedir.

GÜNEY KAFKASYA'DA RUSYA'NIN HEGEMONYA ARAYIŞI

Avrupa, Asya ve Orta Doğu'nun kavşağında yer alan Güney Kafkasya, büyük jeopolitik öneme sahip bir bölgedir. Bu konum, bölgeyi hem uluslararası ticaret yolları hem de enerji taşımacılığı için stratejik bir geçiş bölgesi haline getirmektedir (Demir, 2003:59-60). Özellikle Karadeniz ve Hazar havzaları arasındaki konumu, Güney Kafkasya'yı küresel ulaşım ve enerji hatlarının merkezine yerleştirmektedir (Kantarcı, 2008:31). Bölgenin stratejik önemi sadece coğrafi konumundan değil, aynı zamanda doğal kaynaklarından da kaynaklanmaktadır. Zengin enerji rezervleri ve Basra Körfezi'ni birbirine bağlayan jeostratejik rota üzerindeki konumu, Güney Kafkasya'yı küresel güçler için vazgeçilmez kılmaktadır (Cemili, 2007:13). Bu bağlamda, bölge sadece bir geçiş koridoru değil, aynı zamanda enerji güvenliği ve küresel güç dengesi açısından da kritik bir merkezdir.

Tarihsel olarak Güney Kafkasya, büyük güçler arasında bir tampon bölge görevi görmüş ve görmeye devam etmektedir. Rusya, Amerika Birleşik Devletleri, Türkiye ve İran gibi aktörler bölgede nüfuzlarını kurmaya çalışmışlardır (Taşdemir, 2005:22). Bu çok yönlü rekabet, bölgenin siyasi ve ekonomik yapısını doğrudan şekillendiren temel dinamiklerden biri haline gelmiştir. Bölgenin coğrafi ve sosyopolitik yapısı da bu rekabete katkıda bulunmaktadır. Dağlık ve parçalı coğrafya, tarih boyunca çeşitli etnik grupların bir arada yaşamasına olanak sağlamış; bu da etnik çeşitliliğe ve siyasi istikrarsızlığa yol açmıştır (Demir, 2003:59). Bu kırılgan yapı, dış müdahaleye açık bir ortam yaratmış ve bölgedeki istikrarsızlık potansiyelini artırmıştır.

Sovyet sonrası dönemde, bu rekabet özellikle Rusya ve Amerika Birleşik Devletleri arasında daha belirgin ve yoğun hale gelmiştir. Rusya'nın Güney Kafkasya'yı "Yakın Yabancı Doktrini" çerçevesinde bir etki alanı olarak algılaması ve Amerika Birleşik Devletleri'nin bu bölgeyi stratejik öneme sahip bir bölge olarak tanımlaması, burayı iki güç arasında önemli bir savaş alanı haline getirmiştir (Taşdemir, 2005:22). Bu süreçte, Hazar Denizi'nin enerji kaynakları ve bölgenin jeostratejik konumu, bu rekabetin ana belirleyicileri olmuştur. Sovyetler Birliği'nin çöküşünden sonra ortaya çıkan etnik çatışmalar da güç mücadelesinde önemli araçlar haline gelmiştir. Rusya'nın bölgedeki etnik sorunları, özellikle stratejik öneme sahip ülkelerde, etkisini korumak ve çatışma bölgelerini sürdürmek için kullandığına dair değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu durum bölgesel istikrarı zayıflatmakta ve kalkınma süreçlerini olumsuz etkilemektedir. Jeopolitik konumu, enerji kaynakları ve tarihsel rekabet dinamikleri nedeniyle Güney Kafkasya, Rusya'nın hegemonya arayışında merkezi bir rol oynamaktadır. Ancak bölge, yalnızca Rusya'nın değil, dünya güçlerinin de stratejik çıkarlarının kesiştiği çok düzeyli bir rekabet arenası olmaya devam etmektedir.

DÖNÜM NOKTALARI: 2008 RUSYA-GÜRCİSTAN SAVAŞI VE 2020 KARABAĞ SAVAŞI

Sovyetler Birliği'nin çöküşünün ardından, Güney Kafkasya, güç boşluğu ve etnik çatışmalar nedeniyle, güçler arasında şiddetli bir rekabet bölgesi haline geldi. Bu süreçte Rusya, bölgede hegemonya kurmayı amaçlayan daha müdahaleci bir politika izledi ve burayı "arka bahçesi" olarak adlandırmıştır. Bu Rus stratejisi, özellikle Gürcistan'daki etnik çatışmalarda belirgindi. Gürcistan'ın Batı yanlısı dış politika yönelimi, Moskova tarafından doğrudan bir tehdit olarak algılandı; buna göre Rusya, bölgesel etkisini güçlendirmek için Abhazya ve "Güney Osetya" gibi ayrılıkçı bölgelerdeki çatışmaları şiddetlendirdi. Bu durum, bölgedeki istikrarsızlığı kronik hale getirdi ve Rus müdahalesi olasılığını meşrulaştırmanın zeminini oluşturdu (Phutkaradze, 2023::128).

Bu süreçteki en somut dönüm noktası 2008 Rusya-Gürcistan Savaşı oldu. Moskova, Gürcistan'ın NATO ile yakınlaşmasını doğrudan bir güvenlik tehdidi olarak algıladı (Alptekin, 2021:112) ve Gürcistan'ın askeri çözüm arayışı sert Rus müdahalesiyle karşılandı. Bu savaş sadece iki ülke arasındaki bir çatışma değil, aynı zamanda Amerika Birleşik Devletleri ve Rusya arasındaki rekabetin bölgesel bir yansımasıydı. Rusya'nın Gürcistan'a karşı askeri müdahalesi sadece bir güç gösterisi değil, Batı'ya stratejik bir sinyaldi. Nitekim, Rusya'nın savaştan sonra Abhazya ve Güney Osetya'nın bağımsızlığını tanıması, bölgedeki güç dengesini kalıcı olarak değiştirdi ve Moskova'nın Güney Kafkasya'daki etkisini güçlendirdi (Meidan, 2017:417).

Rusya'nın hegemonya arayışı sadece askeri müdahalelerle sınırlı kalmamış, zamanla daha esnek ve çok yönlü stratejilere evrilmiştir. Bu bağlamda, 2020 Dağlık Karabağ savaşı, Moskova'nın doğrudan askeri müdahale yerine arabuluculuğa öncelik vermesiyle bir dönüm noktası olmuştur. Rusya, ateşkes sürecinde kilit bir oyuncu haline gelmiş ve barış gücü konuşlandırarak bölgedeki varlığını kurumsallaştırmıştır (Özdaşli, 2025:1142). Ancak bu süreç, Rusya'nın bölgedeki mutlak hakimiyetinin sınırlarını da ortaya koymuştur. Türkiye'nin artan etkisi ve Azerbaycan'ın Güney Kafkasya'daki askeri başarıları, güç dengesini daha çok yönlü bir yapıya dönüştürmüş ve Rusya'nın tek belirleyici faktör olma yeteneğini kısmen sınırlamıştır (Yılmaz ve Cengiz, 2025:110).

Sonuç olarak, Sovyet sonrası dönemde Güney Kafkasya, Rus hegemonyasının hem askeri müdahale hem de diplomatik yollarla uygulandığı dinamik bir rekabet alanı olarak ortaya çıkmıştır. Ancak bölgenin çok taraflı yapısı, bu hegemonik çabaları mutlak egemenliğe dönüştürmeyi zorlaştırmaktadır.

SONUÇ

Bugün Güney Kafkasya, Rusya'nın tek kutuplu egemenliğinin hüküm sürdüğü bir alandan çok taraflı rekabet bölgesine dönüşmüştür. Rusya önemli bir oyuncu olmaya devam ederken, Türkiye, Amerika

Birleşik Devletleri ve Avrupa Birliği gibi oyuncuların artan etkisi, Moskova'nın hegemonya kurma yeteneğini sınırlamaktadır. Bu durum, "arka bahçe" kavramının klasik anlamını sorgulamakta ve bölgenin daha karmaşık bir güç dengesine doğru evrimini göstermektedir. Rusya'nın Güney Kafkasya'daki "arka bahçe" politikası, tarihsel süreklilik ve jeopolitik zorunluluklar tarafından şekillendirilmektedir. Moskova, askeri müdahaleler, dondurulmuş çatışmalar ve enerji politikası yoluyla bölgedeki etkisini korumaya çalışmaktadır. Ancak bugün bu hegemonya mutlak kontrol anlamına gelmemekte; bunun yerine rekabetçi ve kırılgan bir yapıyı ortaya koymaktadır. Güney Kafkasya, yalnızca Rusya'nın değil, birçok bölgesel ve küresel oyuncunun da egemenlik için mücadele ettiği bir jeopolitik arena haline gelmiştir.

KAYNAKÇA

Alptekin, G. (2021). 2008 Rusya-Gürcistan savaşı ve savaş sonrası büyük ve bölgesel güçlerin tepki ve politikaları. *Rusya Araştırmaları Dergisi*, (6), 110–130. https://doi.org/10.48068/rusad.1030621

Aydın, M. (2001). *Barış çalışmaları ve çatışmaların çözümü* (Ankara Çalışmaları No. 10). Avrasya Stratejik Araştırmalar Merkezi.

Bostanoğlu, B. (2002). *Türkiye-ABD ilişkilerinin politikası*. İletişim Yayınları.

Cemilli, E. (2007). *ABD'nin Güney Kafkasya politikası*. IQ Kültür Sanat Yayıncılık.

Demir, A. F. (2003). *Türk dış politikası perspektifinden Güney Kafkasya*. Bağlam Yayınları.

Goodin, R. E., Güth, W., & Snidal, D. (2005). Strategic aspects of hegemony. In R. E. Goodin (Ed.), *The Oxford handbook of political economy*. Oxford University Press.

Gramsci, A. (1978). *Selections from political writings (1921–1926)* (Q. Hoare, Ed.). Lawrence and Wishart.

Kantarcı, H. (2008). Gürcistan'ın Güney Osetya'ya yönelik stratejik hamlesinin Kafkasya jeopolitiğine yansımaları. *Uluslararası Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 4(15), 85–102.

Kennedy-Pipe, C., & Welch, S. (2005). Russian foreign policy. In N. Malcolm (Ed.), *Russian foreign policy since 1990* (pp. 3–26). Routledge.

Meydan, V. (2017). 2008 Rusya-Gürcistan savaşı'nın uluslararası hukukta kuvvet kullanma yasağı çerçevesinde analizi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(2), 417–429.

Özdaşlı, E. (2025). Karabağ savaşı ve Rusya. In A. S. Merdan (Ed.), *44+1 II. Karabağ Savaşı: İlham Aliyev – Karabağ Azerbaycan'dır!* (pp. xx–xx). Nobel Yayıncılık.

Phutkaradze, I. (2023). *Teritoryal çatışma ve çözüm dinamikleri: Gürcistan örneği*. Artikel Akademi Yayınları.

Tanrısever, O. F. (2005). Rusya Federasyonu'nun Orta Asya-Kafkasya politikası: Yakın çevre doktrininin inşası. In M. Aydın (Ed.), *Küresel politikada Orta Asya* (pp. xx–xx). Nobel Yayın Dağıtım.

Taşdemir, T. (2005). Türkiye'nin Kafkasya politikası. *Stratejik Analiz*, 6(63), 30–42.

Tellal, E. (2007). Kronik: 20. yüzyılın dengelerine neler oluyor? *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi*, 62(4), 227–230. https://doi.org/10.1501/SBFder_0000002100

Yılmaz, E., & Cengiz, E. (2025). İkinci Karabağ savaşı sonrası Azerbaycan-Rusya ilişkileri. *Journal of Political Administrative and Local Studies*, 8(2), 109–121. https://izlik.org/JA26LC77GC

GÖÇMEN POPÜLASYONLARDA SAĞLIK EŞİTSİZLİKLERİNİN AZALTILMASINDA BİRİNCİ BASAMAK HEMŞİRELİĞİNİN ROLÜ

THE ROLE OF PRIMARY CARE NURSING IN REDUCING HEALTH INEQUALITIES IN MIGRANT POPULATIONS

Merve KOLCU
Assoc. Prof. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Faculty of Nursing, Department of Public Health Nursing
ORCID NO: 0000-0002-8187-4767

Selda ÇELİK
Prof. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Faculty of Nursing, Department of Internal Nursing
ORCID NO: 0000-0003-4328-3189

ÖZET
Bu bildirinin amacı, göçmen popülasyonlarda görülen sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamakta görev yapan halk sağlığı hemşirelerinin rolünü mevcut literatür doğrultusunda incelemektir. Çalışma, göçmen sağlığı, sağlık eşitsizliği ve birinci basamak hemşireliği konularında yayımlanmış ulusal ve uluslararası araştırmaların incelendiği anlatı derleme olarak tasarlanmıştır. Literatür taraması; erişim engelleri, kültürel uyum, kronik hastalık yönetimi, koruyucu hizmetler ve sağlık okuryazarlığı temaları çerçevesinde değerlendirilmiştir. Literatür, göçmenlerin dil bariyeri, kültürel farklılıklar, ekonomik yetersizlik ve yasal statü belirsizliği nedeniyle sağlık hizmetlerine erişimde güçlük yaşadığını göstermektedir. Birinci basamak hemşireleri; kültürel açıdan duyarlı bakım sunma, sağlık eğitimi verme, kronik hastalık izlemi yapma ve yönlendirme hizmetleri aracılığıyla bu eşitsizliklerin azaltılmasında kilit rol üstlenmektedir. Toplum temelli ve kapsayıcı hemşirelik yaklaşımlarının sağlık hizmeti kullanımını artırdığı ve koruyucu sağlık hizmetlerine erişimi güçlendirdiği bildirilmektedir. Birinci basamak hemşireliği uygulamaları, göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında stratejik öneme sahiptir. Politika ve uygulama düzeyinde hemşirelik odaklı, kültürel olarak uyarlanmış modellerin geliştirilmesi önerilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Göçmen sağlığı, sağlık eşitsizliği, birinci basamak, halk sağlığı hemşireliği, derleme.

ABSTRACT
This paper aims to examine the role of public health nurses working in primary care in reducing health inequalities among migrant populations, in light of the existing literature. The study was designed as a narrative review examining national and international research published on migrant health, health inequalities, and primary care nursing. The literature was analyzed within the thematic framework of access barriers, cultural adaptation, chronic disease management, preventive services, and health literacy. The evidence indicates that migrants experience significant barriers in accessing healthcare services due to language difficulties, cultural differences, economic constraints, and uncertainties related to legal status. Primary care nurses play a pivotal role in addressing these inequalities through the provision of culturally sensitive care, health education, chronic disease monitoring, and referral services. Community-based and inclusive nursing approaches have been reported to increase healthcare utilization and strengthen access to preventive services. Primary care nursing practices hold strategic importance in reducing health inequalities among migrant populations. The development of nursing-centered and culturally adapted models at both policy and practice levels is strongly recommended.
Keywords: Migrant health, health inequalities, primary care, public health nursing.

GİRİŞ
Göç, 21. yüzyılın en belirgin küresel dinamiklerinden biri olarak demografik yapıları, sağlık sistemlerini ve sosyal politikaları derinden etkilemektedir. International Organization for Migration verilerine göre dünya genelinde milyonlarca insan savaş, ekonomik kriz, çevresel değişim ve politik istikrarsızlık gibi nedenlerle yer değiştirmektedir.

Özellikle United Nations High Commissioner for Refugees tarafından bildirilen zorunlu göç hareketlerindeki artış, göçmen ve mülteci popülasyonların sağlık gereksinimlerini küresel sağlık gündeminin öncelikli başlıklarından biri hâline getirmiştir. Türkiye, coğrafi konumu nedeniyle yoğun göç alan ülkelerden biri olup, bu durum birinci basamak sağlık hizmetlerinin önemini daha da artırmaktadır.

Göçmen popülasyonlar; dil engeli, kültürel farklılıklar, düşük sosyoekonomik düzey, yasal statü belirsizliği ve ayrımcılık gibi sosyal belirleyiciler nedeniyle sağlık hizmetlerine erişimde önemli güçlükler yaşamaktadır. Bu durum, koruyucu sağlık hizmetlerinden yararlanma oranlarının düşmesine, kronik hastalıkların geç tanılanmasına ve tedaviye uyum sorunlarına yol açarak sağlık eşitsizliklerini derinleştirmektedir. Sağlık eşitsizlikleri yalnızca bireysel sağlık sonuçlarını değil, toplum sağlığını ve sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğini de etkilemektedir.

Birinci basamak sağlık hizmetleri, erişilebilirlik, süreklilik ve bütüncüllük ilkeleri doğrultusunda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında stratejik bir konuma sahiptir. Bu hizmetlerin temel aktörlerinden biri olan halk sağlığı hemşireleri; toplum temelli yaklaşım, kültürel duyarlılık ve savunuculuk rolleri sayesinde göçmen bireylerin sağlık sistemine entegrasyonunda kritik bir köprü görevi üstlenmektedir. Hemşireler; sağlık eğitimi, kronik hastalık izlemi, aşılama hizmetleri, anne-çocuk sağlığı izlemleri ve uygun hizmetlere yönlendirme gibi uygulamalar aracılığıyla göçmen toplulukların sağlık düzeyinin iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Ayrıca kültürel olarak uyarlanmış bakım modelleri, sağlık okuryazarlığını artırmaya yönelik girişimler ve disiplinler arası iş birliği uygulamaları, göçmen popülasyonlarda koruyucu sağlık hizmetlerine erişimi güçlendirmekte ve eşitsizliklerin azaltılmasına destek olmaktadır. Bu bağlamda birinci basamak hemşireliği, yalnızca klinik bakım sunan bir rol değil; aynı zamanda sosyal adalet, eşitlik ve toplum sağlığının geliştirilmesine odaklanan bütüncül bir yaklaşımı temsil etmektedir.

Bu çalışma, göçmen popülasyonlarda görülen sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamakta görev yapan halk sağlığı hemşirelerinin rolünü mevcut literatür doğrultusunda incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda, göçmen sağlığı ve birinci basamak hemşireliği alanında geliştirilebilecek politika ve uygulama önerilerine kuramsal bir zemin sunulması hedeflenmektedir.

YÖNTEM

Bu çalışma, göçmen popülasyonlarda görülen sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamakta görev yapan halk sağlığı hemşirelerinin rolünü incelemek amacıyla anlatı derleme olarak tasarlanmıştır. Anlatı derleme yöntemi, belirli bir konuya ilişkin mevcut literatürün kapsamlı biçimde değerlendirilmesine, kavramsal çerçevenin ortaya konmasına ve uygulamaya yönelik çıkarımlar geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Literatür Tarama Süreci

Literatür taraması, Ocak 2014 – Aralık 2025 tarihleri arasında yayımlanmış ulusal ve uluslararası çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Tarama; PubMed, CINAHL, Scopus, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Türkçe ve İngilizce yayımlanmış çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır.

Tarama sürecinde aşağıdaki anahtar kelimeler ve bunların kombinasyonları kullanılmıştır:

- “migrant health”
- “health inequalities” / “health disparities”
- “primary care nursing”
- “public health nursing”
- “community health nursing”
- “cultural competence”

Türkçe taramalarda ise “göçmen sağlığı”, “sağlık eşitsizliği”, “birinci basamak”, “halk sağlığı hemşireliği”, “kültürel duyarlılık” anahtar kelimeleri kullanılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Dahil Edilen Çalışmaların Genel Özellikleri (n = 15)

Özellik	**n**	**%**
Çalışma Türü		
Nicel araştırma	6	40,0
Nitel araştırma	4	26,7
Karma yöntem	2	13,3
Derleme	3	20,0
Çalışma Bölgesi		
Avrupa	5	33,3
Orta Doğu	3	20,0
Kuzey Amerika	4	26,7
Asya	2	13,3
Diğer	1	6,7
Odak Tema*		
Erişim engelleri	10	66,7
Kültürel duyarlılık	8	53,3
Kronik hastalık yönetimi	7	46,7
Koruyucu hizmetler	9	60,0
Sağlık okuryazarlığı	6	40,0

Dahil Etme ve Dışlama Kriterleri

Dahil etme kriterleri:

- Göçmen, mülteci veya sığınmacı popülasyonları konu alan,
- Sağlık eşitsizlikleri, sağlık hizmetlerine erişim veya birinci basamak uygulamalarını inceleyen,
- Hemşirelik rolü veya toplum temelli sağlık hizmetlerini içeren,
- Tam metnine erişilebilen, hakemli dergilerde yayımlanmış araştırma ve derleme makaleleri.

Dışlama kriterleri:

- Yalnızca hastane temelli üçüncü basamak hizmetleri ele alan çalışmalar,
- Editöryal yazılar, görüş bildiren makaleler ve tez özetleri,
- Tam metnine ulaşılamayan yayınlar.

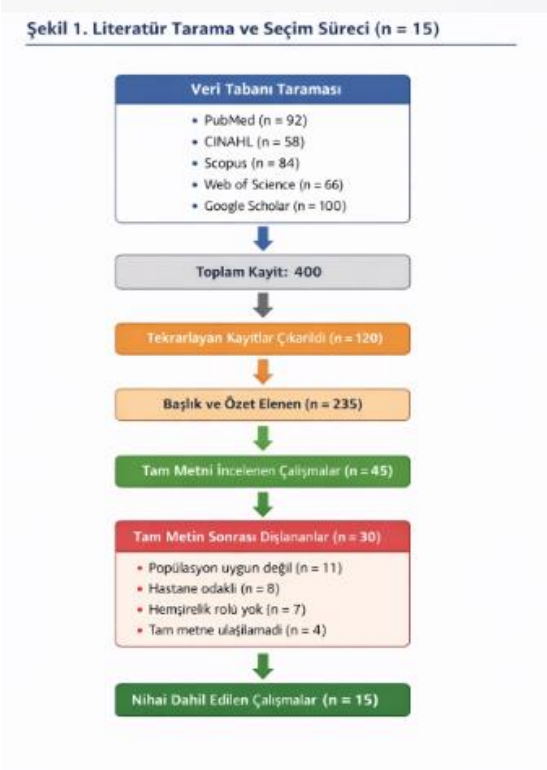
Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

Seçilen çalışmalar içerik analizi yaklaşımıyla incelenmiş ve bulgular tematik olarak sınıflandırılmıştır. Literatür değerlendirmesi aşağıdaki ana temalar çerçevesinde yapılandırılmıştır:

1. Sağlık hizmetlerine erişim engelleri
2. Kültürel uyum ve kültürel açıdan duyarlı bakım
3. Kronik hastalık yönetimi
4. Koruyucu sağlık hizmetleri
5. Sağlık okuryazarlığı ve eğitim müdahaleleri

Her tema kapsamında hemşirelerin rolü, müdahale biçimleri ve sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasına yönelik katkıları analiz edilmiştir. Bulgular, kavramsal bütünlük sağlanarak yorumlanmış ve politika ile uygulamaya yönelik çıkarımlar geliştirilmiştir.

Bu yöntem doğrultusunda elde edilen veriler, göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamak hemşireliğinin stratejik önemini ortaya koyacak şekilde sistematik biçimde sentezlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Literatür tarama ve seçim süreci

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu anlatı derlemede dahil edilen 15 çalışma, göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamak hemşireliğinin rolünü çeşitli temalar üzerinden incelemiştir. Bulgular, beş ana tema çerçevesinde özetlenebilir: erişim engelleri, kültürel uyum ve duyarlı bakım, kronik hastalık yönetimi, koruyucu hizmetler ve sağlık okuryazarlığı.

1. Sağlık Hizmetlerine Erişim Engelleri

İncelenen çalışmalar, göçmenlerin sağlık hizmetlerine erişiminde dil bariyeri, ekonomik yetersizlik, yasal statü belirsizliği ve sosyal ayrımcılık gibi çok boyutlu engellerle karşılaştığını göstermektedir. Birinci basamak hemşireleri, bu engelleri aşmak için başvuru süreçlerinde rehberlik sağlamakta, çeviri ve arabuluculuk hizmetlerini yönlendirmekte ve sosyal kaynaklara erişimi kolaylaştırmaktadır. Örneğin, Avrupa'daki göçmen odaklı bir nitel çalışmada hemşirelerin danışmanlık ve yönlendirme rolleri sayesinde sağlık hizmeti kullanımının anlamlı şekilde arttığı bildirilmiştir (n=5 çalışma).

2. Kültürel Uyum ve Duyarlı Bakım

Kültürel açıdan duyarlı bakım, göçmenlerin sağlık sistemine entegrasyonunda kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Halk sağlığı hemşireleri, göçmen bireylerin dil ve kültür farklılıklarını dikkate alarak bakım planlamaktadır. Bu yaklaşım, hasta güvenliği ve tedaviye uyumu artırmakta, aynı zamanda hasta memnuniyetini yükseltmektedir. Derlemede yer alan 8 çalışmada, kültürel eğitim programları ve toplumsal temelli müdahalelerin göçmenlerin sağlık davranışlarını olumlu etkilediği görülmüştür.

3. Kronik Hastalık Yönetimi

Kronik hastalık yönetimi, göçmenlerde hem erişim hem de uyum açısından zorluklar içermektedir. Birinci basamak hemşireleri, diyabet, hipertansiyon ve kardiyovasküler hastalıkların düzenli takibini sağlayarak komplikasyon riskini azaltmaktadır. Bazı çalışmalar, hemşire liderliğindeki kronik hastalık programlarının göçmenlerde tedaviye uyumu artırdığını ve komplikasyonları azalttığını rapor etmiştir. Bu bulgular, birinci basamak hemşireliğinin klinik bakım ve koruyucu sağlık rolünü bütünleştirdiğini göstermektedir.

4. Koruyucu Hizmetler

Aşılama, tarama ve anne-çocuk sağlığı hizmetleri gibi koruyucu uygulamalar, göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında stratejik öneme sahiptir. İncelenen çalışmalar, halk sağlığı hemşirelerinin toplumsal etkinlikler, ev ziyaretleri ve mobil klinik programları aracılığıyla bu hizmetlere erişimi artırdığını göstermektedir. Bu tür müdahaleler, göçmenlerin koruyucu hizmetlerden yararlanma oranını anlamlı düzeyde yükseltmektedir.

5. Sağlık Okuryazarlığı ve Eğitim

Sağlık okuryazarlığı, göçmenlerin kendi sağlıklarını yönetme kapasitelerini doğrudan etkilemektedir. Hemşireler, bireysel ve grup eğitimleri aracılığıyla sağlık bilgisi, hastalık yönetimi ve hizmetlere erişim konusunda rehberlik sağlamaktadır. Derlemede yer alan 6 çalışmada, sağlık eğitimi programlarının göçmenlerde bilgi düzeyini artırdığı ve sağlık hizmetlerine başvuru sıklığını olumlu etkilediği belirtilmiştir.

Bulgular, birinci basamak hemşireliğinin göçmen sağlığında yalnızca klinik bakım değil, aynı zamanda sosyal adalet ve eşitlik rolü üstlendiğini ortaya koymaktadır. Kültürel duyarlılık, toplumsal temelli müdahaleler ve sağlık okuryazarlığı eğitimleri, sağlık hizmetlerine erişimdeki engelleri azaltmakta ve kronik hastalık yönetimini güçlendirmektedir.

Bu bağlamda, birinci basamak hemşireliği uygulamaları göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında stratejik bir araç olarak değerlendirilebilir. Politika yapıcılar ve sağlık yöneticileri, kültürel olarak uyarlanmış hemşirelik modellerini desteklemeli ve birinci basamak hemşirelerinin kapasitesini güçlendirecek eğitim ve kaynaklara yatırım yapmalıdır.

Ayrıca, literatürdeki bazı boşluklar göçmenlerin uzun dönem sağlık sonuçları, göçmen alt gruplarının ihtiyaçları ve hemşirelerin uygulamada karşılaştığı sistemsel engeller üzerine yoğunlaşmaktadır. Gelecek araştırmaların bu alanlara odaklanması hem uygulama hem de politika düzeyinde daha etkili stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

SONUÇ

Bu anlatı derleme, göçmen popülasyonlarda sağlık eşitsizliklerinin azaltılmasında birinci basamakta görev yapan halk sağlığı hemşirelerinin kritik rolünü ortaya koymaktadır. Bulgular, hemşirelerin toplumsal temelli müdahaleler, kültürel olarak duyarlı bakım, kronik hastalık yönetimi, koruyucu sağlık hizmetleri ve sağlık okuryazarlığı eğitimleri aracılığıyla göçmenlerin sağlık hizmetlerine erişimini artırdığını göstermektedir.

Birinci basamak hemşireliği, yalnızca klinik bakım sunmakla kalmayıp, aynı zamanda sağlık eşitliği ve sosyal adaletin güçlendirilmesinde stratejik bir rol üstlenmektedir. Bu nedenle politika yapıcılar ve sağlık yöneticileri, göçmen sağlığı odaklı hemşirelik uygulamalarını destekleyecek kültürel eğitim programları, kaynak ve iş gücü yatırımlarını artırmalıdır.

KAYNAKÇA

Abubakar, I., Aldridge, R. W., Devakumar, D., Orcutt, M., Burns, R., Barreto, M. L., Dhavan, P., Fouad, F. M., Groce, N., Guo, Y., Hargreaves, S., Knipper, M., Miranda, J. J., Madise, N., Kumar, B., Mosca, D., McGovern, T., Rubenstein, L., Sammonds, P., Sawyer, S. M., Sheikh, K., Tollman, S., Spiegel, P., Zimmerman, C., UCL–Lancet Commission on Migration and Health. 2018. The UCL–Lancet Commission on Migration and Health: The health of a world on the move. *The Lancet*, 392(10164): 2606–2654.

Betancourt, J. R., Green, A. R., Carrillo, J. E., Park, E. R. 2005. Cultural competence and health care disparities: Key perspectives and trends. *Health Affairs*, 24(2): 499–505.

Campinha-Bacote, J. 2002. The process of cultural competence in the delivery of healthcare services: A model of care. *Journal of Transcultural Nursing*, 13(3): 181–184.

Derose, K. P., Escarce, J. J., Lurie, N. 2007. Immigrants and health care: Sources of vulnerability. *Health Affairs*, 26(5): 1258–1268.

European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). 2020. Guidance on infection prevention and control of COVID-19 in migrant and refugee reception and detention centres. ECDC, Stockholm.

Flores, G. 2006. Language barriers to health care in the United States. *New England Journal of Medicine*, 355(3): 229–231.

International Organization for Migration (IOM). 2024. World Migration Report 2024. IOM, Geneva.

Lebano, A., Hamed, S., Bradby, H., Gil-Salmerón, A., Durá-Ferrandis, E., Garcés-Ferrer, J., Azzedine, F., Riza, E., Karnaki, P., Zota, D., Linos, A. 2020. Migrants' and refugees' health status and healthcare in Europe: A scoping literature review. *BMC Public Health*, 20: 1039.

Norredam, M., Nielsen, S. S., Krasnik, A. 2010. Migrants' access to healthcare. *Danish Medical Bulletin*, 57(11): B4213.

O'Donnell, C. A., Burns, N., Mair, F. S., Dowrick, C., Clissmann, C., van den Muijsenbergh, M., van Weel-Baumgarten, E., Lionis, C., Papadakaki, M., Saridaki, A., de Brun, T. 2016. Reducing the health care burden for marginalised migrants: The potential role for primary care in Europe. *Health Policy*, 120(5): 495–508.

Pottie, K., Greenaway, C., Feightner, J., Welch, V., Swinkels, H., Rashid, M., Narasiah, L., Kirmayer, L. J., Ueffing, E., MacDonald, N. E., Hassan, G., McNally, M., Khan, K. 2011. Evidence-based clinical guidelines for immigrants and refugees. *CMAJ*, 183(12): E824–E925.

Rechel, B., Mladovsky, P., Devillé, W., Rijks, B., Petrova-Benedict, R., McKee, M. 2013. Migration and health in the European Union. Open University Press, Berkshire.

Suurmond, J., Seeleman, C. 2006. Shared decision-making in an intercultural context: Barriers in the interaction between physicians and immigrant patients. *Patient Education and Counseling*, 60(2): 253–259.

United Nations High Commissioner for Refugees (UNHCR). 2023. Global Trends: Forced Displacement in 2023. UNHCR, Geneva.

World Health Organization (WHO). 2018. Health of refugees and migrants: Regional situation analysis, practices, experiences, lessons learned and ways forward. WHO, Geneva.

World Health Organization (WHO). 2021. Global strategy on health, environment and climate change: The transformation needed to improve lives and well-being sustainably. WHO, Geneva.

TİP 2 DİYABET YÖNETİMİNDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR: SİSTEMATİK DERLEME

CURRENT APPROACHES IN THE MANAGEMENT OF TYPE 2 DIABETES: A SYSTEMATIC REVIEW

Merve KOLCU
Assoc. Prof. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Faculty of Nursing, Department of Public Health Nursing
ORCID NO: 0000-0002-8187-4767

Selda ÇELİK
Prof. Dr., Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Faculty of Nursing, Department of Internal Nursing
ORCID NO: 0000-0003-4328-3189

ÖZET

Tip 2 diyabet, dünya genelinde giderek artan bir sağlık sorunu olarak önemli morbidite ve mortaliteye yol açmaktadır. Etkili yönetim hem komplikasyonların önlenmesi hem de yaşam kalitesinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu sistematik derlemede, Tip 2 diyabetin güncel yönetim stratejileri kanıt temelli olarak incelenmiştir. Literatür taraması, son on yıl içinde yayınlanmış randomize kontrollü çalışmalar, gözlemsel çalışmalar ve meta-analizleri kapsamaktadır. Bulgular, yaşam tarzı müdahaleleri, farmakolojik tedaviler, hasta eğitimi programları ve dijital sağlık uygulamalarının diyabet kontrolünde etkinliğini ortaya koymaktadır. Özellikle bireyselleştirilmiş tedavi planları ve teknoloji destekli takip sistemleri, glisemik kontrolün iyileştirilmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, multidisipliner ekip yaklaşımları, hastaların uyum ve motivasyonunu artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır. Bu derleme, Tip 2 diyabet yönetiminde hem klinik hem de toplumsal düzeyde uygulanabilecek güncel ve kanıta dayalı stratejileri özetlemekte ve gelecekteki araştırmalar için öneriler sunmaktadır. Sonuç olarak, etkili Tip 2 diyabet yönetimi, entegre yaklaşım ve yenilikçi teknolojilerin bir arada kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.
Anahtar kelimeler: Tip 2 diyabet, diyabet yönetimi, sistematik derleme, kanıta dayalı yaklaşımlar, dijital sağlık

ABSTRACT

Type 2 diabetes is an increasingly prevalent global health issue, leading to significant morbidity and mortality. Effective management is critical for both preventing complications and improving quality of life. This systematic review examines current evidence-based strategies for managing type 2 diabetes. The literature search included randomized controlled trials, observational studies, and meta-analyses published in the last decade. Findings highlight the effectiveness of lifestyle interventions, pharmacological treatments, patient education programs, and digital health applications in diabetes control. In particular, individualized treatment plans and technology-assisted monitoring systems significantly contribute to improved glycemic control. Furthermore, multidisciplinary team approaches enhance patient adherence and motivation while reducing complication risk. This review summarizes current, evidence-based strategies for type 2 diabetes management applicable at both clinical and community levels and provides recommendations for future research. In conclusion, effective management of type 2 diabetes is achievable through integrated approaches and the combined use of innovative technologies.
Keywords: Type 2 diabetes, diabetes management, systematic review, evidence-based approaches, digital health

GİRİŞ

Tip 2 Diyabet, dünya genelinde hızla artan prevalansı ile önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir. Küresel ölçekte yaşlanan nüfus, kentleşme, fiziksel aktivite düzeyinin azalması ve sağlıksız beslenme alışkanlıklarının yaygınlaşması Tip 2 diyabet görülme sıklığını artıran temel faktörler arasında yer almaktadır.

Diyabet yalnızca metabolik bir hastalık olmanın ötesinde; kardiyovasküler hastalıklar, böbrek yetmezliği, nöropati ve retinopati gibi ciddi komplikasyonlara yol açarak bireylerin yaşam kalitesini düşürmekte ve sağlık sistemleri üzerinde önemli bir ekonomik yük oluşturmaktadır.
International Diabetes Federation tarafından yayımlanan son raporlara göre dünya genelinde yüz milyonlarca yetişkin diyabet ile yaşamaktadır ve bu sayının önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Türkiye'de de diyabet prevalansının giderek yükseldiği ve toplum sağlığı açısından önemli bir risk oluşturduğu bildirilmektedir. Bu nedenle Tip 2 diyabetin etkin yönetimi, komplikasyonların önlenmesi ve hastaların yaşam kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.
Tip 2 diyabet yönetimi uzun yıllar boyunca temel olarak farmakolojik tedaviye odaklanmış olsa da günümüzde hastalığın çok boyutlu yapısı nedeniyle daha kapsamlı ve bütüncül yaklaşımlar ön plana çıkmaktadır. Güncel yaklaşımlar; yaşam tarzı değişiklikleri, bireyselleştirilmiş farmakolojik tedavi, düzenli izlem, hasta eğitimi, öz-yönetim becerilerinin geliştirilmesi ve multidisipliner ekip çalışmasını içermektedir. Özellikle sağlıklı beslenme, fiziksel aktivitenin artırılması ve kilo kontrolü gibi yaşam tarzı müdahaleleri, glisemik kontrolün sağlanmasında temel bileşenler olarak kabul edilmektedir.
Son yıllarda diyabet yönetiminde dijital sağlık teknolojilerinin kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Mobil sağlık uygulamaları, sürekli glikoz izleme sistemleri, uzaktan hasta izleme platformları ve tele-sağlık uygulamaları bireylerin kendi sağlık durumlarını daha etkin takip etmelerine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiler, özellikle kronik hastalık yönetiminde hasta katılımını artırarak tedaviye uyumu güçlendirmekte ve klinik sonuçların iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır.
Ayrıca, diyabet yönetiminde multidisipliner ekip yaklaşımı önemli bir yer tutmaktadır. Hekimler, hemşireler, diyetisyenler, psikologlar ve diğer sağlık profesyonellerinin birlikte çalıştığı ekip temelli bakım modelleri, hastaların biyopsikososyal gereksinimlerini bütüncül biçimde ele alarak tedavi sürecinin etkinliğini artırmaktadır. Bu bağlamda özellikle hemşirelerin hasta eğitimi, danışmanlık ve izlem süreçlerindeki rolü diyabet yönetiminde kritik öneme sahiptir.
Bu sistematik derlemenin amacı, Tip 2 diyabet yönetiminde son yıllarda geliştirilen güncel ve kanıta dayalı yaklaşımları incelemek, yaşam tarzı müdahaleleri, farmakolojik tedaviler, hasta eğitimi programları ve dijital sağlık uygulamalarının etkinliğini değerlendirmek ve elde edilen bulgular doğrultusunda klinik uygulamalar ile gelecekte yapılacak araştırmalar için öneriler sunmaktır.

YÖNTEM

Bu çalışma, PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) rehberi doğrultusunda sistematik derleme olarak yürütülmüştür. Çalışmanın amacı, Tip 2 diyabet yönetiminde kullanılan güncel ve kanıta dayalı yaklaşımları inceleyen araştırmaların sistematik olarak değerlendirilmesidir.

Literatür Tarama Stratejisi

Araştırma kapsamında literatür taraması Ocak 2014 – Aralık 2024 tarihleri arasında yayımlanmış çalışmalarla sınırlandırılmıştır. Taramalar uluslararası veri tabanları olan PubMed, Scopus, Web of Science ve Cochrane Library üzerinden gerçekleştirilmiştir. Literatür taramasında İngilizce anahtar kelimeler ve Boolean operatörleri kullanılmıştır. Kullanılan başlıca anahtar kelimeler şunlardır:

- "Type 2 diabetes"
- "diabetes management"
- "lifestyle intervention"
- "digital health"
- "patient education"
- "glycemic control"
- "self-management"

Anahtar kelimeler "AND" ve "OR" operatörleri kullanılarak farklı kombinasyonlarda taranmıştır.
Dahil Edilme ve Dışlanma Kriterleri
Bu sistematik derlemeye dahil edilme kriterleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:
Dahil edilme kriterleri:

- Tip 2 diyabet yönetimi ile ilgili çalışmalar olması
- Randomize kontrollü çalışmalar, gözlemsel çalışmalar veya meta-analizler olması

- 2014–2024 yılları arasında yayımlanmış olması
- Tam metnine erişilebilir olması
- İngilizce dilinde yayımlanmış olması

Dışlanma kriterleri:

- Tip 1 diyabet veya gestasyonel diyabet üzerine odaklanan çalışmalar
- Editör yazıları, yorumlar, olgu sunumları ve konferans özetleri
- Tam metnine ulaşılamayan çalışmalar
- Yinelenen çalışmalar

Çalışmaların Seçilmesi

Literatür taraması sonucunda elde edilen çalışmalar iki araştırmacı tarafından bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Öncelikle başlık ve özetler incelenmiş, ardından uygun bulunan çalışmaların tam metinleri değerlendirilmiştir. Araştırmacılar arasında görüş ayrılığı oluşması durumunda üçüncü bir araştırmacının görüşü alınarak uzlaşı sağlanmıştır. Çalışmaların seçimi ve eleme süreci PRISMA akış diyagramı doğrultusunda raporlanmıştır.

Veri Çıkarma ve Analiz

Dahil edilen çalışmalardan; yazar bilgisi, yayın yılı, çalışma tasarımı, örneklem büyüklüğü, uygulanan müdahale türü ve elde edilen temel bulgular gibi veriler standart bir veri toplama formu kullanılarak çıkarılmıştır. Elde edilen veriler tematik olarak analiz edilmiş ve Tip 2 diyabet yönetiminde kullanılan başlıca yaklaşımlar şu başlıklar altında değerlendirilmiştir:

- yaşam tarzı müdahaleleri
- farmakolojik tedaviler
- hasta eğitimi ve öz-yönetim programları
- dijital sağlık uygulamaları

Bu yaklaşım sayesinde literatürde yer alan güncel kanıtların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sistematik literatür taraması sonucunda, Tip 2 diyabet yönetiminde son on yılda yayımlanmış 20 çalışma dahil edilmiştir. Bu çalışmaların çoğunluğu randomize kontrollü denemeler (n=12), gözlemsel çalışmalar (n=6) ve meta-analizler (n=2) şeklindedir. Elde edilen bulgular dört ana tema altında sınıflandırılmıştır: yaşam tarzı müdahaleleri, farmakolojik tedaviler, hasta eğitimi ve öz-yönetim programları ile dijital sağlık uygulamaları (Tablo 1).

Tablo 1. Tip 2 Diyabet Yönetiminde Dahil Edilen Çalışmaların Özeti

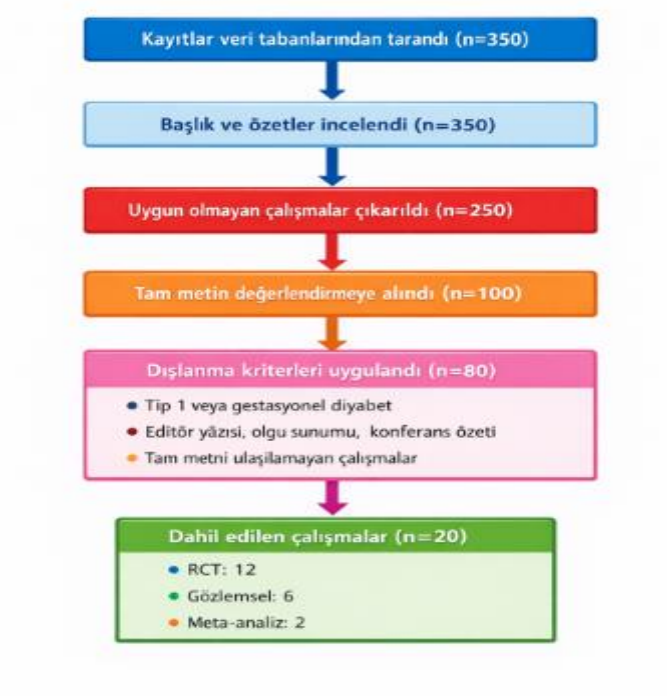
Tema	Çalışma Sayısı	Örnek Müdahaleler	Temel Bulgular
Yaşam Tarzı Müdahaleleri	6	Bireyselleştirilmiş diyet, egzersiz, kilo yönetimi	HbA1c'de anlamlı düşüş, kardiyovasküler risklerin azalması
Farmakolojik Tedaviler	5	Metformin, SGLT2 inhibitörleri, GLP-1 analogları	Glisemik kontrolün iyileşmesi, kardiyovasküler ve böbrek koruma
Hasta Eğitimi & Öz-Yönetim	5	Eğitim programları, danışmanlık, öz-yönetim desteği	Tedaviye uyum artışı, yaşam kalitesinde yükselme
Dijital Sağlık Uygulamaları	4	Mobil uygulamalar, tele-sağlık, sürekli glikoz izleme	Hasta katılımında artış, HbA1c kontrolünde iyileşme

1. Yaşam Tarzı Müdahaleleri
Diyet değişiklikleri, düzenli fiziksel aktivite ve kilo yönetimi programları, HbA1c düzeylerinde anlamlı düşüş sağlamaktadır. Bireyselleştirilmiş diyet ve egzersiz planlarının standart müdahalelere kıyasla daha etkili olduğu bulunmuştur.

2. Farmakolojik Tedaviler
Metformin ve modern antidiabetik ilaçlar (SGLT2 inhibitörleri, GLP-1 analogları) glisemik kontrolü iyileştirmekte ve kardiyovasküler riskleri azaltmaktadır. Bireyselleştirilmiş ilaç seçimleri, tedavi başarısını artırmaktadır.

3. Hasta Eğitimi ve Öz-Yönetim Programları
Eğitim programları, diyabet bilgisi ve öz-yönetim becerilerini güçlendirerek tedaviye uyumu artırmaktadır. Düzenli danışmanlık alan hastaların glisemik kontrol ve yaşam kalitesi anlamlı şekilde yükselmiştir.

4. Dijital Sağlık Uygulamaları
Mobil sağlık uygulamaları, tele-sağlık ve sürekli glikoz izleme sistemleri, hasta katılımını artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır. Uzaktan izleme ve geri bildirim sağlayan sistemler HbA1c kontrolünde olumlu katkılar sağlamaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. PRISMA akış diyagramı

Bulgular, Tip 2 diyabet yönetiminde bütüncül ve kanıta dayalı yaklaşımların etkinliğini göstermektedir. Yaşam tarzı müdahaleleri, farmakolojik tedaviler, hasta eğitimi ve dijital sağlık uygulamalarının bir arada kullanılması glisemik kontrolü iyileştirmekte ve komplikasyon riskini azaltmaktadır.
Dijital sağlık uygulamaları, özellikle hastaların kendi bakım sorumluluğunu üstlenmesini teşvik etmektedir. Ancak, yaşlı bireyler ve dijital okuryazarlığı düşük gruplarda etkinliğin sınırlı olabileceği vurgulanmıştır.
Hasta eğitimi ve öz-yönetim programları, sadece bilgi vermekle kalmayıp davranış değişikliğini de desteklemektedir. Hemşirelerin, motivasyonu artırma, tedaviye uyumu güçlendirme ve yaşam tarzı değişikliklerini sürdürme rolü kritik önemdedir.

Sonuç olarak, Tip 2 diyabet yönetiminde bireyselleştirilmiş tedavi, multidisipliner yaklaşım, yaşam tarzı müdahaleleri ve teknoloji destekli izlem sistemlerinin bir arada kullanılması, hem klinik hem de toplum sağlığı açısından sürdürülebilir ve etkili sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır.

SONUÇ

Bu sistematik derleme, Tip 2 diyabet yönetiminde güncel ve kanıta dayalı yaklaşımların etkinliğini ortaya koymaktadır. Bulgular, bireyselleştirilmiş yaşam tarzı müdahaleleri, farmakolojik tedaviler, hasta eğitimi ve öz-yönetim programları ile dijital sağlık uygulamalarının birlikte kullanılmasının glisemik kontrolü iyileştirdiğini ve komplikasyon riskini azalttığını göstermektedir. Özellikle multidisipliner ekip yaklaşımı ve hemşirelerin eğitim ile danışmanlık rolleri, hastaların tedaviye uyumunu ve yaşam kalitesini artırmada kritik öneme sahiptir.

Dijital sağlık teknolojileri, hasta katılımını ve öz-yönetimi güçlendirerek etkin diyabet kontrolünü desteklemekte, ancak yaş, dijital okuryazarlık ve erişim farklılıkları bazı hasta gruplarında sınırlayıcı olabilmektedir. Bu nedenle, teknolojik çözümler bireyselleştirilmiş planlarla ve destekleyici eğitim programlarıyla bütünleştirilmelidir.

Sonuç olarak, Tip 2 diyabet yönetiminde sürdürülebilir başarı, bireyselleştirilmiş tedavi stratejileri, multidisipliner yaklaşım, yaşam tarzı değişiklikleri ve yenilikçi teknolojilerin entegre kullanımıyla mümkün olmaktadır. Gelecekteki araştırmalar, özellikle uzun dönem etkinlik, maliyet-etkinlik ve dijital müdahalelerin farklı hasta gruplarındaki uygulanabilirliği üzerine odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

American Association of Diabetes Educators. 2015. AADE7 Self-Care Behaviors for effective diabetes management. *The Diabetes Educator*, 41: 85–89.

American Diabetes Association. 2022. Standards of medical care in diabetes — 2022. *Diabetes Care*, 45(Suppl. 1): S1–S264.

Bonoto, B. C., de Araújo, V. E., Godói, I. P., de Lemos, L. L. P., Godman, B., et al. 2017. Efficacy of mobile apps to support diabetes self-management: a systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *JMIR mHealth and uHealth*, 5: e4.

Chrvala, C. A., Sherr, D., Lipman, R. D. 2016. Diabetes self-management education for adults with type 2 diabetes: a systematic review of the effect on glycemic control. *Patient Education and Counseling*, 99: 926–943.

Davies, M. J., D'Alessio, D. A., Fradkin, J., Kernan, W. N., Mathieu, C., etc. 2018. Management of hyperglycemia in type 2 diabetes, 2018: A consensus report. *Diabetes Care*, 41: 2669–2701.

Herman, W. H., Ye, W., Griffin, S. J., Simmons, R. K., Davies, M. J., et al. 2015. Early detection and management of type 2 diabetes to prevent cardiovascular disease: a modeling study. *Diabetes Care*, 38: 1761–1768.

Hu, F. B., Manson, J. E., Stampfer, M. J., Colditz, G., Liu, S., et al. 2001. Diet, lifestyle, and the risk of type 2 diabetes mellitus in women. *New England Journal of Medicine*, 345: 790–797.

Lee, S. W. H., Ooi, L., Lai, Y. K. 2018. Telemedicine for the management of glycemic control and clinical outcomes of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 24: 347–364.

Look AHEAD Research Group. 2014. Eight-year weight losses with an intensive lifestyle intervention: the Look AHEAD study. *Obesity*, 22: 5–13.

Marso, S. P., Daniels, G. H., Brown-Frandsen, K., Kristensen, P., Mann, J. F., et al. 2016. Liraglutide and cardiovascular outcomes in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 375: 311–322.

Maruthur, N. M., Tseng, E., Hutfless, S., Wilson, L. M., Suarez-Cuervo, C., et al. 2016. Diabetes medications as monotherapy or metformin-based combination therapy for type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Annals of Internal Medicine*, 164: 740–751.

Nathan, D. M., Buse, J. B., Davidson, M. B., Ferrannini, E., Holman, R. R., et al. 2009. Medical management of hyperglycemia in type 2 diabetes: a consensus algorithm. *Diabetes Care*, 32: 193–203.

Pal, K., Eastwood, S. V., Michie, S., Farmer, A., Barnard, M. L., et al. 2013. Computer-based diabetes self-management interventions for adults with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes Care*, 36: 838–848.

Polonsky, W. H., Henry, R. R. 2016. Poor medication adherence in type 2 diabetes: recognizing scope and contributors. *Patient Preference and Adherence*, 10: 1299–1307.

Powers, M. A., Bardsley, J., Cypress, M., Funnell, M. M., Harms, D., et al. 2017. Diabetes self-management education and support in type 2 diabetes: a position statement. *The Diabetes Educator*, 43: 40–53.

Stratton, I. M., Adler, A. I., Neil, H. A., Matthews, D. R., Manley, S. E., et al. 2000. Association of glycaemia with complications of type 2 diabetes (UKPDS 35). *BMJ*, 321: 405–412.

Timpel, P., Oswald, S., Schwarz, P. E., Harst, L. 2020. Mapping evidence on the effectiveness of mobile health interventions for diabetes patients: a scoping review. *Journal of Medical Internet Research*, 22: e16486.

Tuomilehto, J., Lindström, J., Eriksson, J. G., Valle, T. T., Hämäläinen, H., et al. 2001. Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *New England Journal of Medicine*, 344: 1343–1350.

World Health Organization. 2016. Global report on diabetes 2016. *World Health Organization Publication*, Geneva: WHO Press.

Zinman, B., Wanner, C., Lachin, J. M., Fitchett, D., Bluhmki, E., et al. 2015. Empagliflozin, cardiovascular outcomes, and mortality in type 2 diabetes. *New England Journal of Medicine*, 373: 2117–2128.

DETERMINING THE FACTORS AFFECTING ADJUSTMENT TO THE DEFINED REGIMENS OF INDIVIDUALS IN HEMODIALYSIS PROGRAM: FOCUS GROUP INTERVIEW

HEMODİYALİZ PROGRAMINDA OLAN BİREYLERİN TANIMLANAN REJİMLERİNE UYUMU ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN BELİRLENMESİ: ODAK GRUP GÖRÜŞMESİ

Filiz SELEN
Assist. Prof., Selçuk University Faculty Of Nursing, Department of Internal Medicine Nursing
ORCID ID: 0000-0003-0913-9044

Yaren GÜNER
Nurse, Not Employed By Any Institution
ORCID ID: 0009-0000-0837-9834

ABSTRACT

Aim: Haemodialysis (HD) is a set of invasive procedures with numerous mechanical characteristics, serving to control complications of end-stage renal disease (ESRD). While haemodialysis is a method that increases life expectancy and quality of life from a physiological perspective, it also brings with it symptoms and conditions that compromise physical, psychological, and social comfort. This study aimed to evaluate the compliance of individuals receiving treatment and care in the haemodialysis unit with their defined regimens. This was achieved through a multidimensional assessment of general health perception, compliance with diet and fluid restrictions, compliance with medication use, quality of life, and sexual life, resulting in an original study.

Method: The population of this study consisted of 145 individuals receiving services at the haemodialysis clinic of a university hospital, and it was completed with 122 participants after 23 participants withdrew from the study. The study consisted of two phases. In the first phase, the Participant Information Form, Modified Morisky Medication Adherence Questionnaire, Short Form-12, Arizona Sexual Experiences Scale (ACYÖ), and Dialysis Diet and Fluid Restriction Non-Compliance Scale were used to collect data. In the second stage, the scores obtained on the applied scales were ranked, and focus group discussions were conducted with groups of 10 participants each, selected based on the lowest and highest total scale scores.

Findings: The mean age of participants was determined to be 62.52±14.75. According to the SF-12 Quality of Life Scale, participants reported difficulties in their general social relationships and that their chronic illness hindered an active social life. Based on the Modified Morisky Medication Adherence Scale average result (4.74±1.19), their medication adherence level was approximately moderate. According to the Dialysis Diet and Fluid Restriction Non-Compliance Scale, they were found to be moderately to mildly compliant, and the Arizona Sexual Functioning Scale mean was found to be 22.30±8.47, indicating mild sexual dysfunction. The focus group discussion was conducted with the groups that received the highest and lowest total scores based on the scales used in the research. It was found that participants in the low average score group expressed that they did not believe their health would improve, while those in the high average score group believed their health would improve.

Conclusion: In light of the findings obtained from the study, it is considered necessary to plan more detailed studies aimed at positively supporting their lifestyle in their daily lives and increasing their chronic disease self-management skills. It is thought that the identification of participants' needs that prevent the application of knowledge, despite continuing their education through healthcare professionals, should not be overlooked, and it has been concluded that studies and projects should be planned in this regard.

Keywords: Haemodialysis, nursing care, health education.

PEDİATRİK HASTALARDA STOMA VE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMI

STOMAS AND NURSING CARE IN PEDIATRIC PATIENTS

Hüsniye ÇEKİÇ
Hemşire, Tarsus University, Graduate School of Education, Department of Pediatric Nursing
ORCID ID: 0009-0004-4990-2731

Atiye KARAKUL
Assistant Professor, Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing
ORCID ID: 0000-0001-6580-9976

Duygu SÖNMEZ DÜZKAYA
Prof. Dr., Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing
ORCID NO: 0000-0002-1815-8821

ÖZET

Stoma; gastrointestinal, üriner veya solunum sistemine ait bir yapının cerrahi olarak vücut yüzeyine ağızlaştırılması olup tedavi edici, koruyucu ya da palyatif amaçlarla uygulanmaktadır. Çocuklarda en sık konjenital anomaliler, nekrotizan enterokolit, Hirschsprung hastalığı ve travmatik barsak yaralanmaları gibi durumlarda gereksinim duyulmaktadır.

Stoma açılması yalnızca cerrahi bir girişim olmayıp çocuğun büyüme-gelişimini, beden algısını, sosyal uyumunu ve aile dinamiklerini etkileyen çok yönlü bir süreçtir. Yenidoğan döneminden adölesanlığa kadar her gelişim evresinde stomanın etkileri farklılık göstermekte; bağlanma sorunları, otonomi çatışmaları, beden imajı kaygıları ve akran ilişkilerinde güçlükler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle bakım sürecinde gelişimsel özelliklerin dikkate alınması ve aile merkezli yaklaşım benimsenmesi gerekmektedir.

Stoma bakımında hemşire; ameliyat öncesi hazırlık, uygun stoma yerinin belirlenmesi, hasta ve aile eğitimi, ameliyat sonrası izlem ve komplikasyonların erken tanılanmasında temel rol üstlenmektedir. Özellikle preoperatif stoma yeri işaretlemesinin komplikasyon oranlarını azalttığı bildirilmektedir. Postoperatif dönemde stomanın canlılığının değerlendirilmesi, peristomal cilt bütünlüğünün korunması ve sıvı-elektrolit dengesinin izlenmesi önem taşımaktadır.

Pediatrik hastalarda görülebilecek komplikasyonlar arasında prolapsus, nekroz, retraksiyon, stenoz, parastomal herni ve yüksek debili stoma yer almakta; bu sorunların önemli bir kısmı doğru bakım ve düzenli hemşirelik izlemi ile önlenebilmektedir. Hasta ve aile eğitimi ise bakımın sürdürülebilirliği, komplikasyonların erken fark edilmesi ve yaşam kalitesinin korunması açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar kelimeler: Pediatri, stoma, hemşire

ABSTRACT

A stoma is the surgical creation of an opening on the body surface for a structure belonging to the gastrointestinal, urinary, or respiratory system, and is used for therapeutic, protective, or palliative purposes. In children, it is most commonly required in cases such as congenital anomalies, necrotizing enterocolitis, Hirschsprung's disease, and traumatic bowel injuries.

Stoma creation is not merely a surgical procedure but a multifaceted process that affects the child's growth and development, body image, social adjustment, and family dynamics. The effects of stoma vary at each stage of development, from the neonatal period to adolescence; attachment issues, autonomy conflicts, body image concerns, and difficulties in peer relationships may arise. Therefore, developmental characteristics must be taken into account in the care process, and a family-centered approach must be adopted.

In stoma care, nurses play a fundamental role in preoperative preparation, determining the appropriate stoma site, patient and family education, postoperative follow-up, and early diagnosis of complications. In particular, it has been reported that preoperative stoma site marking reduces complication rates. In the postoperative period, it is important to assess the viability of the stoma, maintain the integrity of the peristomal skin, and monitor fluid and electrolyte balance.

Complications that may occur in pediatric patients include prolapse, necrosis, retraction, stenosis, parastomal hernia, and high-flow stoma; a significant portion of these problems can be prevented with proper care and regular nursing follow-up. Patient and family education is critical for the sustainability of care, early detection of complications, and maintenance of quality of life.
Keywords: Pediatrics, stoma, nurse

GİRİŞ

Stoma, içi boş bir organın cerrahi olarak vücut yüzeyine ağızlaştırılması ile oluşturulan yapay bir açıklık olup; yaşamın sürdürülmesi, komplikasyonların önlenmesi ve mevcut semptomların azaltılması amacıyla uygulanmaktadır (1,2). Pediatrik cerrahi pratiğinde stoma uygulamaları; konjenital anomaliler, nekrotizan enterokolit, Hirschsprung hastalığı, mekonyum ileusu ve travmatik barsak yaralanmaları gibi çeşitli klinik durumlarda sıklıkla gerekli hale gelmektedir. Bununla birlikte, çocuklarda stoma açılması yalnızca cerrahi bir girişim olarak değerlendirilmemeli; büyüme ve gelişme, beden imajı, psikososyal uyum ve aile dinamiklerini etkileyen çok boyutlu bir bakım sürecinin başlangıcı olarak ele alınmalıdır. Bu bağlamda pediatrik stoma yönetimi, çocuğun gelişimsel özelliklerini ve aile merkezli bakım ilkelerini bütüncül bir yaklaşımla dikkate almayı gerektirmektedir (3).

Çocuklarda stoma açılması; imperfore anüs, nekrotizan enterokolit, Hirschsprung hastalığı, mesane ekstrofisi, inflamatuar barsak hastalıkları, mekonyum ileusu, intestinal tümörler ve abdominal travmalar gibi farklı etiyolojik nedenlere bağlı olarak gerçekleştirilebilmektedir (4,8).

1. Pediatrik Hastalarda Stoma Türleri ve Endikasyonları

Çocuklarda stoma; gastrointestinal, üriner ya da solunum sistemine ait yapıların cerrahi olarak cilt yüzeyine ağızlaştırılmasıyla oluşturulan yapay açıklıklardır. Klinik uygulamada en sık karşılaşılan stoma türleri kolostomi, ileostomi, gastrostomi ve üriner stomalardır. Stoma açılması; tedavi edici, koruyucu veya palyatif amaçlarla planlanabilmektedir. Özellikle perforasyon, obstrüksiyon veya şiddetli inflamasyon gibi acil cerrahi gerektiren durumlarda geçici stoma tercih edilirken, bazı konjenital anomalilerde uzun süreli ya da kalıcı kullanım söz konusu olabilmektedir. Stoma tipinin belirlenmesinde hastalığın doğası, cerrahi gereksinimler ve çocuğun genel klinik durumu temel belirleyici unsurlardır (5).

İntestinal stomalar, birçok gastrointestinal hastalığın tedavisinde kullanılan en önemli cerrahi girişimlerden biridir. Geçici ostomiler, anastomozdan kaçınmak veya feçesin uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla daha sık tercih edilir. Ostominin tipi ise hastalığın özelliklerine, hastanın koşullarına ve cerrahın deneyimine bağlı olarak belirlenir (6).

Ostomi endikasyonları; tedavi, semptomların giderilmesi (palyatif) ve profilaktik amaçlarla başlıca üç kategoride ele alınır. Tedavi amaçlı ostomiler, özellikle elverişsiz koşullarda anastomoz riskinden kaçınmak için, acil durumlarda (organ perforasyonu, tümör, kolit vb.) yapılan rezeksiyonlar sonrasında uygulanır. Fekal kontrol kaybı ve geniş rektovajinal fistül gibi sorunların giderilmesi amacıyla palyatif ostomiler uygulanır. Profilaktik ostomilerde amaç, septik komplikasyonları azaltmak ve divertikülit ile anastomoz kaçakları gibi inflamatuvar süreçlerin iyileşmesini sağlamaktır (7).

2. Pediatrik Stomanın Gelişim Dönemlerine Göre Etkileri

Stomanın çocuk üzerindeki etkileri, çocuğun bilişsel, duygusal ve sosyal gelişim özelliklerine bağlı olarak yaş dönemlerine göre farklı biçimlerde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle stomaya uyum süreci her gelişim döneminde farklı gereksinimler ve tepkiler içermektedir.

2.1. Yenidoğan dönemi

Yenidoğanlarda stoma açılması çoğunlukla doğumdan hemen sonra veya acil cerrahi girişimler sırasında planlanmaktadır. Bu durum bebeğin anneden erken dönemde ayrılmasına neden olabilmekte ve anne-bebek bağlanma sürecini olumsuz etkileyebilmektedir. Annenin bebeğinden ayrı kalması hem iyileşme sürecini uzatabilmekte hem de annede yoğun kaygı ve stres oluşturabilmektedir. Bu dönemde ebeveynler sıklıkla suçluluk, öfke, şok ve güvensizlik gibi karmaşık duygular yaşayabilmektedir. Stomaya dokunmaktan kaçınma, bakıma katılmada isteksizlik ve bebeğe zarar verme korkusu ebeveyn davranışlarına yansıyabilmektedir (12).

2.2. Oyun dönemi (1–3 yaş)

Bu dönemde çocuklar, çevreyi keşfetme, bağımsızlık geliştirme ve otonomi kazanma çabası içindedir. Sihirsel ve egosantrik düşünme özellikleri nedeniyle hastalık ve hastaneye yatış sürecini kendi davranışlarının bir sonucu olarak algılayabilmektedirler. Vücut bütünlüğünü tehdit eden girişimler ile kısıtlayıcı uygulamalar çocuk tarafından reddedilebilir. Bu nedenle stoma bakımına çocuğun katılımının desteklenmesi ve kendisiyle ilgili küçük seçimler yapmasına olanak tanınması, güven duygusunun gelişimine katkı sağlamaktadır. Aksi durumda çocukta pasiflik, ilgisizlik ve bağımlı davranış örüntüleri gelişebilmektedir. Ayrıca, işlemler sırasında ebeveyn varlığının sürdürülmesi, çocuğun kendini güvende hissetmesi açısından önemli bir destekleyici unsurdur (12).

2.3. Okul öncesi dönem (3–6 yaş)

Okul öncesi dönemde çocuklar bedenlerini diğer çocuklarla karşılaştırmaya başlamakta ve farklılıkları fark edebilmektedir. Hastalık nedeniyle barsak veya mesane kontrolünün kaybı, çocukta yetersizlik ve aşağılık duygularına yol açabilmektedir. Günlük yaşam rutinlerinden uzak kalma, akran oyunlarına katılamama ve sosyal etkileşim azalması görülebilmektedir. Bazı çocuklar stomayı kendi davranışlarının sonucu olarak algılayarak kendilerini suçlayabilmekte ve yalnızlık eğilimi gösterebilmektedir (12).

2.4. Okul dönemi (6–12 yaş)

Okul çağındaki çocuklar stomayla birlikte sosyal yaşama uyum konusunda çeşitli kaygılar yaşayabilmektedir. Okula stomayla devam etme, gerektiğinde sınıftan ayrılma, torba değişimi, olası sızıntı durumları ve kullanılan materyalin gizliliği gibi konular çocukların en sık merak ettiği ve endişe duyduğu başlıklardır. Kronik hastalık varlığı, değişen beden imajı, hastalık nedeniyle akran grubundan uzak kalma, stoma aparatına bağlı sorunlar ve okul ortamındaki güçlükler öz güveni olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca akademik olarak geri kalma korkusu da görülebilmektedir. Bebeklik döneminde stoma açılmış ve sağlıklı kardeşi olmayan bazı çocuklar, kendilerinin farklı olduğunu ancak okula başladıklarında fark edebilmektedir. Bu durum bazı çocuklarda stomayı cezalandırılma olarak algılamaya yol açabilmektedir (12).

2.5. Adölesan dönem:

Adölesanlar hastalıklarına diğer bireylerin nasıl tepki vereceği konusunda yoğun kaygı yaşayabilmektedir. Stoma varlığı, özgürlük ve yaşam üzerindeki kontrolün kaybı hissi oluşturabilmekte ve utanma duygusuna neden olabilmektedir. Ergenler çoğunlukla stoma bakımını bağımsız olarak sürdürebilse de akranlarından farklı olma gerçeği ile baş etmede desteğe gereksinim duyabilmektedir. Bu dönemde fertilite, kontrasepsiyon ve gebelik gibi konular hem adölesan hem de aile için önem kazanmaktadır. Ostominin cinsel yaşam üzerindeki olası etkilerinin ameliyat öncesi ve sonrası süreçte ele alınması gereklidir. Ayrıca oral kontraseptif kullanan kız adölesanların barsak emilimindeki olası değişiklikler konusunda bilgilendirilmesi önem taşımaktadır (12).

3. Pediatrik stomada hemşirenin rolü ve önemi

Stoma ve yara bakım hemşireliği, hemşirelik tarihi kadar eski olmasına rağmen, modern anlamda 1960'lardan itibaren hızla gelişmiş ve günümüzde vazgeçilmez bir alan haline gelmiştir (9).

Stoma bakımında hemşireler; doğrudan bakım sunumu, eğitim ve danışmanlık rolleriyle kritik bir konumda yer almaktadır. Hemşireler, stomanın düzenli olarak değerlendirilmesini, uygun bakım ürünlerinin seçimini ve kanıta dayalı bakım uygulamalarının sürdürülmesini sağlar. Bunun yanı sıra, çocuk ve ailesinin stoma bakımına ilişkin bilgi ve beceri kazanımını destekleyerek günlük yaşama uyum sürecini kolaylaştırırlar. Bu bütüncül yaklaşım; komplikasyonların önlenmesine, yaşam kalitesinin sürdürülmesine ve psikososyal gereksinimlerin karşılanmasına katkı sağlamaktadır. Stoma bakımında hemşirenin rolü, multidisipliner ekibin etkin işleyişinde temel bir unsur olup, çağdaş hemşirelik pratiğinde vazgeçilmez bir öneme sahiptir (10,11).

4. Stomanın Aile Üzerine Etkisi

Ostomi cerrahisinin temel hedefi altta yatan patolojiyi ortadan kaldırmak, yaşam süresini uzatmak ve yaşam kalitesini artırmaktır. Ancak çocuğa stoma açılacağı bilgisinin verilmesi, daha ilk andan itibaren hem çocuk hem de aile için fiziksel, psikolojik ve sosyal açıdan zorlayıcı bir sürecin başlamasına neden

olabilmektedir (13,14). Stoma açılmasına karar verildiğinde ebeveynler, stomaya ilişkin bakım gereksinimleri, görünüm özellikleri ve bakımın nasıl sürdürüleceği konusunda yoğun kaygı yaşayabilmektedir. Bunun yanı sıra çocukta ortaya çıkabilecek beden imajı değişiklikleri, hastalığın seyri, olası komplikasyonlar, sürekli bakım gereksinimi, toplumsal damgalanma ve belirsizlikler ebeveynleri duygusal açıdan riskli bir konuma getirebilmektedir. Stoması olan çocuklarda cilt bütünlüğündeki değişiklikler ve fiziksel görünüm farklılıkları, çocuğun sosyal ilişkilerden uzaklaşmasına hatta zaman zaman aile içi etkileşimde bile geri çekilmesine yol açabilecek psikolojik etkiler oluşturabilmektedir. Stomaya bağlı yaşanan bu güçlükler, ailelerin yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (15). Stoma ya da eğitim hemşiresi tarafından ailelere bakım konusunda bilgi verilirken, bu sürece duygusal açıdan uyum sağlamalarına yardımcı olacak rehber materyallerin de sunulması önemlidir. Bu kapsamda ailelere güvenilir internet kaynakları, stomalı çocuğa sahip ailelerin oluşturduğu destek grupları ile kitap ve dergi gibi yazılı materyaller hakkında yönlendirme yapılmalıdır. Given ve arkadaşları (1993), hastaların duygusal gereksinimlerini karşılamanın bakım vericiler için en zorlayıcı sorumluluklardan biri olduğunu bildirmiştir (16). Stomalı çocuğa sahip olmak ve bakım sorumluluğunu üstlenmek, ailelerin bakım yükünü artırarak yaşam kalitesini azaltabilmekte ve günlük yaşam aktivitelerinde kısıtlanmaya yol açabilmektedir. Ebeveynlerin bu sürece uyumunu; aile içi destek düzeyi, sosyal destek ağlarının varlığı, sağlık hizmetlerine erişim olanakları ve sunulan bakımın niteliği gibi faktörler belirlemektedir (17).

5. Ameliyat Öncesi Hemşirelik Bakımı

Ameliyat öncesi bakım, cerrahi girişim kararının alınması ile başlayan ve ameliyatın gerçekleştirilmesine kadar devam eden hazırlık sürecini kapsamaktadır. Pediatrik hastalarda ameliyat öncesi hemşirelik bakımının temel amacı; çocuğun fiziksel durumunu stabilize etmek, psikolojik uyumunu desteklemek ve sosyal açıdan ameliyata hazır hale gelmesini sağlamaktır (18). Stoma ve yara bakım hemşiresi, yara, ostomi ve inkontinans sorunları bulunan bireylere yönelik özel bilgi ve beceri gerektiren bakım uygulamalarıyla yaşam kalitesinin artırılmasını hedefleyen uzmanlaşmış bir hemşirelik alanında görev yapmaktadır (8). Bu kapsamda ameliyat öncesi dönemde en önemli uygulamalardan biri stoma yerinin uygun şekilde belirlenmesi ve işaretlenmesidir.

5.1. Stoma yeri işaretleme sürecinde hemşirenin rolü

Ameliyat öncesinde stoma yerinin işaretlenmesi hem cerrahi ekip hem de hasta açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu uygulama, Amerikan Kolon ve Rektal Cerrahlar Derneği (ASCRS) ile Yara, Ostomi ve Kontinans Hemşireleri Derneği tarafından önerilen standart bakım uygulamaları arasında yer almaktadır (19,20).

Stoma yeri belirlenirken hastanın karın konturu ve vücut yapısı farklı pozisyonlarda değerlendirilmelidir. Bu nedenle hasta oturma, ayakta durma, öne eğilme ve sırtüstü yatma pozisyonlarında incelenmelidir. Değerlendirme sırasında stoma torbasının yerleşimini ve kullanımını etkileyebilecek anatomik ve fiziksel özelliklere dikkat edilmelidir. Özellikle belirgin veya çıkıntılı karın yapısı, abdominal kıvrımlar ve cilt katlantıları, mevcut cerrahi skarlar, ventral herni varlığı, bel ve kemer hattı, umbilikus, sarkık meme dokusu ile kaburga ve iliak krest gibi kemik çıkıntıları stoma yerinin seçiminde dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir (20).

5.2. Ameliyat öncesi stoma yeri işaretlemesinin klinik faydaları

Ameliyat öncesinde stoma yerinin doğru şekilde işaretlenmesi, stoma ile ilişkili komplikasyonların azaltılmasında etkili bir uygulama olarak kabul edilmektedir (21). Bass ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, ameliyat öncesi hasta eğitimi ve enterostomal terapistler tarafından yapılan stoma yeri işaretlemesinin ameliyat sonrası komplikasyonlara etkisi değerlendirilmiştir (22).

Çalışma bulgularına göre ameliyat öncesinde stoma yeri işaretlemesi yapılan hastalarda erken dönem (≤30 gün) komplikasyon oranı %23,3 olarak saptanmış, işaretleme yapılmayan grupta ise bu oranın %31,6 olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, ameliyat öncesi stoma yeri işaretlemesinin erken komplikasyonları anlamlı düzeyde azalttığını göstermektedir (22).

6. Ameliyat Sonrası Erken Dönem Hemşirelik Bakımı

Ameliyat sonrası erken dönemde hemşirelik bakımı; stomanın canlılığının değerlendirilmesi, peristomal cilt bütünlüğünün korunması ve stoma torba sisteminin uygun şekilde kullanılmasının sağlanmasını kapsamaktadır. Bu dönemde stomada ödem, renk değişikliği, kanama, dolaşım bozukluğu veya nekroz bulguları açısından düzenli gözlem yapılmalıdır. Özellikle ileostomili çocuklarda sıvı ve elektrolit kayıpları daha belirgin olabildiğinden sıvı-elektrolit dengesi yakından izlenmelidir(23).

Postoperatif bakım sürecinde aileye stoma bakımı uygulamalı olarak gösterilmeli, torba değişimi, cilt bakımı ve komplikasyon belirtilerinin tanınması konusunda eğitim verilerek taburculuğa hazırlık sağlanmalıdır(24).

7. Stoma Komplikasyonları ve Önleme

Pediatrik hastalarda stoma açılmasına bağlı olarak çeşitli komplikasyonlar gelişebilmektedir. Bu komplikasyonlar arasında parastomal herni, prolapsus, nekroz, mukokütanöz ayrılma, retraksiyon, stenoz, fistül oluşumu, travma ve yüksek volümlü stoma yer almaktadır.

Parastomal herni, stoma çevresindeki abdominal fasyada oluşan defekt nedeniyle bağırsak segmentlerinin bu alandan dışarı doğru protrüde olmasıdır.

Stomal prolapsus, stomayı oluşturan barsak segmentinin teleskopik şekilde dışarı doğru uzaması ile karakterizedir.

Stomal nekroz, kanlanmanın bozulmasına bağlı olarak stoma dokusunda gelişen doku ölümünü ifade eder.

Mukokütanöz ayrılma, stoma mukozası ile çevre cilt arasındaki bağlantının ayrılması durumudur.

Stomal retraksiyon, normalde cilt yüzeyinin üzerinde olması gereken stomanın cilt seviyesine çekilmesi ya da bu seviyenin altına gerilemesi şeklinde tanımlanır.

Stomal stenoz ise stoma lümeninin daralması sonucu stomal çıkışın azalması ile karakterizedir.

Stomal fistül, stoma ile çevre dokular arasında anormal bir kanal oluşması durumunu ifade ederken, stomal travma çoğunlukla basınç veya mekanik etkilere bağlı olarak stoma mukozasında gelişen hasarı tanımlar. Yüksek volümlü stoma ise özellikle ileostomili hastalarda günlük dışkı miktarının 1500 mL'nin üzerine çıkması ve buna bağlı sıvı-elektrolit dengesizliklerinin gelişmesi ile karakterizedir (23).

Bu komplikasyonların önemli bir bölümü uygun stoma yeri seçimi, doğru torba sistemi kullanımı, peristomal cilt bakımının sürdürülmesi ve düzenli hemşirelik izlemi ile önlenebilmektedir. Hemşirelerin erken belirti ve bulguları tanıması, komplikasyonların ilerlemesini önlemede kritik öneme sahiptir (23).

8. Hasta ve Aile Eğitimi

Stoma bakımına yönelik eğitim sürecinde ilk adım, çocuğun ve ailenin öğrenme gereksinimlerinin, öğrenmeye hazır oluş düzeyinin ve tercih edilen öğrenme biçiminin belirlenmesidir. Bu değerlendirme; ailenin mevcut bilgi düzeyinin, öğrenme beklentilerinin, gereksinim duyduğu bakım becerilerinin ve hangi öğretim yöntemlerinden daha fazla yarar sağlayabileceğinin anlaşılmasını içerir. Hasta ve aile gereksinimleri bütüncül olarak değerlendirilmeden hasta merkezli bakımın etkili biçimde yürütülmesi mümkün değildir (24).

Stoma hemşiresi tarafından yeni ostomili çocuk ve ailesi için planlanan eğitim programı, bakımın sürdürüleceği ortama bakılmaksızın temel bazı içerikleri kapsamalıdır. Bu kapsamda eğitimde öncelikle stoma açılmasına neden olan tıbbi durumun nedeni ve hastalık süreci hakkında anlaşılır bilgi verilmelidir. Aileye stomanın anatomik yapısı ve işlevi açıklanmalı, kullanılan ostomi malzemelerinin uygulanması, çıkarılması ve bakımı uygulamalı olarak gösterilmelidir(1).

Eğitim sürecinde ayrıca beslenme düzeni, günlük sıvı gereksinimi ve olası diyet kısıtlamaları ele alınmalı; stoma ve peristomal cildin korunmasına yönelik bakım ilkeleri ayrıntılı biçimde anlatılmalıdır. Çocuğun günlük yaşam aktivitelerinde (banyo, giyim, okul/oyun yaşamı) stoma ile uyumlu davranışların nasıl sürdürüleceği konusunda rehberlik yapılmalıdır. Gelişim dönemine uygun olarak beden algısı ve cinsellik ile ilişkili konuların da ele alınması önem taşımaktadır(8).

Bunun yanı sıra ailelerin sağlık profesyonellerine ulaşabilecekleri iletişim kanalları, destek grupları, güvenilir yazılı ve görsel eğitim materyalleri ile ostomi malzemelerine erişim kaynakları hakkında bilgilendirilmesi eğitimin önemli bir parçasıdır(11).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Pediatrik hastalarda stoma uygulamaları çocuk ve aile üzerinde fiziksel, psikolojik ve sosyal etkiler oluşturan çok boyutlu bir süreçtir. Hemşireler ameliyat öncesi hazırlık, stoma yeri işaretleme, komplikasyonların önlenmesi ve aile eğitimi basamaklarında temel sorumluluğa sahiptir. Pediatrik stoma bakımında gelişim dönemine özgü yaklaşımın benimsenmesi, aile merkezli bakımın güçlendirilmesi ve taburculuk sonrası izlem programlarının yaygınlaştırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Altay, B. (2008). Çocuk sağlığı ve hastalıklarında hemşirelik uygulamaları. Ankara: Nobel Tıp Kitabevleri.

Ayik, C., & Özden, D. (2023). Stoma Komplikasyonları ve Hemşirelik Bakımı: Güncel Yaklaşımlar. Etkili Hemşirelik Dergisi, 16(3), 401-415.

Bass EM, Del Pino A, Tan A, Pearl RK, Orsay CP, Abcarian H. Does preoperative stoma marking and education by the enterostomal therapist affect outcome? Dis Colon Rectum. 1997 Apr;40(4):440-2. doi: 10.1007/BF02258389. PMID: 9106693.

Bonita,A (2008) Colostomy for anorectal anomalies: high incidence of complications. J PediatrSurg,36,(5),795-8.

Coldicutt, P., Hill, B. (2013) An overview of surgical stoma construction and its effects on the child and their family. Nurs Child Young People, 25(4),26-35.

Colwell, JC., Beitz, J. (2007) Survey of wound, ostomy and continence (WOC) nurse clinicians on stomal and peristomal complications: a content validation study. J Wound Ostomy Continence Nurs, 34(1),57-69.

Çelik, SŞ., Tuna, Z., Yıldırım, M.(2015) The experience of urostomists who do not have access to pre-operative and post-operative stoma care nursing intervention. Int J Urol Nurs, 9,101-107.

Dereköy, E. (2022). Stomalı Bireylerin Fiziksel Aktivite ve Beslenme Alışkanlıklarının Yaşam Kalitesine Etkisinin İncelenmesi (Master's thesis, Dokuz Eylul Universitesi (Turkey).

Given ,CW., Stommel, M., Given, B., Osuch, J., Kurtz, ME., Kurtz, JC. (1193) The influence of the cancer patient's symptoms, functional states on patient's depression and family caregiver's reaction and depression. Health Psychology, 12(4),277-285.

Hendren, S., Hammond, K., Glasgow, S. C., Perry, W. B., Buie, W. D., Steele, S. R., & Rafferty, J. (2015). Clinical practice guidelines for ostomy surgery. Diseases of the Colon & Rectum, 58(4), 375-387.

Karadağ, A. (2015). Stoma ve yara bakım hemşireliği: Yaşam kalitesi üzerine etkileri. İstanbul: Nobel Tıp Kitabevleri.

Kasuya, RT., Polgar-Bailey, P., Takeuchi, R. (2000) Caregiver burden and burnout. A guide for primary care physicians. Postgrad Med, 108,119-123.

Kaya, F., & Arslan, S. (2020). Stoma bakımında hemşirenin rolü ve önemi. Florence Hemşirelik Dergisi, 28(2), 105–112.

Kumcağız H, Malazgirt Z, Kaya E, Stoma tipleri ve sorunları, O.M.Ü. Tıp Dergisi, 17(84):284-292. 2000

Kyle, T., Carman, S. (2013) Nursing care of whith a gastrointestinal disorder. Esssentials of Pediatric Nursing. 2nd ed. Lippincott Wiliams & Wilkins, 694-749.

Mulita, F., & Lotfollahzadeh, S. (2023). Intestinal stoma. In StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. PMID: 33351447.

Parmar, KL, Zammit, M., Smith, A., Kenyon, D., Lees, NP ve Greater Manchester ve Cheshire Kolorektal Kanser Ağı. (2011). Greater Manchester ve Cheshire kolorektal kanser ağı genelinde kolorektal kanser tedavisinde erken stoma komplikasyonlarının prospektif bir denetimi. Kolorektal hastalık , 13 (8), 935-938.

Salvadalena, G., Hendren, S., McKenna, L., Muldoon, R., Netsch, D., Paquette, I., & Steinberg, G. (2015). WOCN Society and ASCRS position statement on preoperative stoma site marking for patients undergoing colostomy or ileostomy surgery. Journal of Wound Ostomy & Continence Nursing, 42(3), 249-252.

Sayar, S. ve Cihan, E. (Ed.). (2023). Stoma Bakım Hemşireliği. Akademisyen Kitabevi.

Seyedin H, Goharinezhad S, Vatankhah S, Azmal M. Patient education process in teaching hospitals of Tehran University of Medical Sciences. Med J Islam Rep Iran 2015;29(1).

Slatter, R. (2011) Paediatric stoma care: surgery and management. Gastrointestinal Nursing, 9(6),20-6.

Tanyel, FC. (2015) Çocuklarda Stoma Endikasyonları, Tipleri ve Cerrahi İle İlişkili Komplikasyonlar. Türkiye Klinikleri J Pediatri Nurs-Special Topics, 1(1),9-14.

Uzşen, H., Binay, Ş., Gümüş, M., & Başbakkal, Z. (2018). Stoması olan çocuk hastalarda hemşirelik yaklaşımı. Hemşirelik Bilimi Dergisi, 1(3), 39-45.

Yıldız, H. (2018). Çocuklarda stoma bakımı ve ailelerin yaşadığı zorluklar. Hemşirelik Bilimi Dergisi, 1(3), 39–45.

REFORMER PİLATES'İN SEDANTER YAŞAM TARZINA SAHİP BİREYLERDE ÜST EKSTREMİTE FONKSİYONELLİĞİNE ETKİLERİ: ANLATIMSAL DERLEME

THE EFFECTS OF REFORMER PILATES ON UPPER EXTREMITY FUNCTIONALITY IN INDIVIDUALS WITH A SEDENTARY LIFESTYLE: A REVIEW ARTICLE

Elif KARATEPE
Yüksek Lisans Öğrencisi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı
ORCID ID: 0009-0002-2603-5781

Hanım Eda SELVİ
Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı
ORCID ID: 0000-0002-0550-0595

ÖZET

Amaç: Bu anlatımsal derleme, 2016–2026 yılları arasında yayımlanan ulusal ve uluslararası araştırmaları inceleyerek Reformer Pilates'in sedanter yaşam tarzına sahip bireylerde üst ekstremite fonksiyonelliği üzerindeki etkilerini kapsamlı biçimde değerlendirmeyi amaçlamaktadır.
Yöntem: Literatür taraması PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, Google Scholar ve DergiPark veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. "Reformer Pilates", "sedanter bireyler", "üst ekstremite fonksiyonelliği", "skapular stabilite" ve "postüral kontrol" anahtar terimleriyle yürütülen taramada, dahil etme ve dışlama kriterleri belirlenerek uygun çalışmalar seçilmiştir.
Bulgular: Sekiz ila on iki haftalık Reformer Pilates programlarının omuz propriyosepsiyonu (Altunalan ve ark., 2024; d = 1,49–3,07), skapular kas koordinasyonu (Mun ve ark., 2025; Seo ve ark., 2025), üst ekstremite kuvveti ve dayanıklılığı (Gökalp ve Kirmizigil, 2025) ile postüral kontrol (Li ve ark., 2024a, 2024b) üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı ve klinik açıdan büyük düzeyde iyileşmeler sağladığı belirlenmiştir. Reformer'ın yaylı direnç sistemi, skapular stabilizatör kasların —özellikle alt trapezius ve serratus anterior'un— seçici aktivasyonunu desteklemekte; 135° omuz abdüksiyon açısında üst trapez/alt trapez oranını optimize etmektedir. Güngör ve ark. (2026) Reformer'ın Cadillac ve Chair'e kıyasla esneklikte daha kalıcı kazanımlar sağladığını göstermiş; Zhong ve ark. (2024) ise skapular stabilizasyon egzersizlerinin subakromiyal ağrı sendromunun tedavisinde anlamlı düzeyde etkili olduğunu meta-analitik olarak kanıtlamıştır.
Sonuç: Reformer Pilates, sedanter bireylerde üst ekstremite fonksiyonelliğini çok boyutlu biçimde geliştiren, güvenli ve bireyselleştirilebilir bir egzersiz yöntemidir. Elde edilen kanıtlar, yöntemin fizyoterapi kliniklerine ve koruyucu sağlık programlarına entegre edilmesini desteklemektedir. Program parametrelerini, uzun dönem etkilerini ve elektromiyografik ölçüm içeren ileri araştırmalar bu kanıt tabanını güçlendirecektir.
Anahtar Sözcükler: Reformer Pilates, sedanter yaşam, üst ekstremite fonksiyonelliği, skapular stabilite, postüral kontrol, egzersiz.

ABSTRACT

Objective: This narrative review aims to comprehensively evaluate the effects of Reformer Pilates on upper extremity functionality in sedentary individuals by examining national and international studies published between 2016 and 2026.
Methods: A literature search was conducted using PubMed/MEDLINE, Web of Science, Scopus, Google Scholar, and DergiPark databases. Studies were identified using the keywords "reformer Pilates", "sedentary individuals", "upper extremity function", "scapular stability", and "postural control". Inclusion and exclusion criteria were applied to select eligible studies.
Results: Eight to twelve-week Reformer Pilates programs were found to produce statistically significant and clinically large improvements in shoulder proprioception (Altunalan et al., 2024; d = 1.49–3.07), scapular muscle coordination (Mun et al., 2025; Seo et al., 2025), upper extremity strength and endurance (Gökalp & Kirmizigil, 2025), and postural control (Li et al., 2024a, 2024b). The spring-resistance system of the Reformer supports selective activation of scapular stabilizer muscles—

particularly the lower trapezius and serratus anterior—and optimizes the upper/lower trapezius ratio at 135° shoulder abduction. Güngör et al. (2026) demonstrated that the Reformer produces more durable flexibility gains compared to the Cadillac and Chair, while Zhong et al. (2024) meta-analytically confirmed the effectiveness of scapular stabilization exercises in reducing pain and dysfunction in subacromial impingement syndrome.

Conclusion: Reformer Pilates is a safe and individualizable exercise method that comprehensively improves upper extremity functionality in sedentary individuals. The available evidence supports the integration of this method into physiotherapy clinics and preventive health programs. Further research examining training parameters, electromyographic measurements, and long-term follow-up is needed to strengthen this evidence base.

Keywords: Reformer Pilates, sedentary lifestyle, upper extremity functionality, scapular stability, postural control, exercise.

BESLENME BİLİMİNDE OMİK YAKLAŞIMLAR VE ENTEGRE KİŞİSEL OMİK PROFİLLEME (İPOP)

OMICS APPROACHES IN NUTRITIONAL SCIENCE AND INTEGRATED PERSONAL OMICS PROFILING (İPOP)

Nihat TELLİ
Assoc. Prof. Dr., Konya Technical University, Technical Sciences Vocational School, Department of Food Processing
ORCID NO: 0000-0002-4121-4588

Arife Ezgi TELLİ
Assoc. Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology
ORCID NO: 0000-0001-8899-4537

Gamze TURKAL
Dr. Research Assistant., Selcuk University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene and Technology
ORCID NO: 0000-0003-4796-5961

ÖZET
İnsan genomunun dizilenmesi ve birçok kronik hastalığın etiyopatogenezinin tanımlanması, genetik çeşitlilik ile fenotipik farklılıklar arasındaki ilişkinin aydınlatılmasına olanak sağlamıştır. Ancak, geleneksel beslenme bilimi yaklaşımları, söz konusu etkileşimin mekanistik düzeyde izahında yetersiz kalmıştır. Bu durum, bütüncül ve mekanizma temelli analitik yaklaşımlara olan gereksinimi zorunlu hale getirmiştir. Kronik hastalıkların çok sayıda genetik varyantın kümülatif etkileriyle ortaya çıkan poligenik ve omnigenik bir genetik organizasyon sergilediği bilinmektedir. Çevresel faktörler ve beslenme stratejileri ile etkileşim gösteren genetik yapı, bireyler arasındaki farklı metabolik yanıtların ve hastalık risklerinin oluşmasının temel belirleyicisidir. Beslenme düzenlerine yönelik biyolojik cevapların etkin değerlendirilebilmesi, genotip ve fenotipin eş zamanlı ve bütüncül ele alınmasıyla mümkündür. Bu noktada, omik ve sistem biyolojisi hedefli yaklaşımlar giderek önem arz eder hale gelmiştir. Omik teknolojiler; çok katmanlı biyolojik sistemleri moleküler düzeyde değerlendirerek aralarındaki ilişkiyi tüm bileşenleriyle kapsamlı biçimde analiz etmeyi hedeflemektedir. Hassas beslenme yaklaşımlarının bilimsel temelini oluşturan nutrigenomik, besin bileşenlerinin gen ekspresyonu ve gen düzenleyici mekanizmalar üzerindeki etkilerini, bireyler arası biyolojik yanıt farklılıkları bağlamında ele almaktadır. Transkriptomik analizler, diyet protokollerinin mRNA düzeyindeki etkilerini karakterize ederek, beslenme düzenlerinin biyobelirteçler aracılığıyla değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Proteomik yaklaşımlar, proteinlerin ekspresyonel profillerini ve fonksiyonel etkileşimlerini çözümleyerek, hassas beslenme çerçevesinde biyolojik etkilerin yorumlanmasına katkı sağlamaktadır. Metabolomik ise metabolit profilleri üzerinden bireylerin gerçek zamanlı metabolik durumunu yansıtan işlevsel bir omik katmandır. Tanımlanan omik katmanların her biri için bağımsız analizlerle elde edilen veriler, biyolojik sistemlerin çok katmanlı etkileşimlerinin bütüncül olarak yorumlanmasında metodolojik sınırlılıklar oluşturmaktadır. Bu sınırlılık, çoklu omik katmanların birlikte değerlendirilmesine dayalı entegre analiz yaklaşımlarını kaçınılmaz hale getirmiştir. Bu gereksinim doğrultusunda geliştirilen Entegre Kişisel Omik Profilleme (iPOP) yaklaşımı, bireyin genomik altyapısını temel alarak zamana duyarlı moleküler profillerin izlenmesini sağlayan bütüncül bir analitik yöntemdir. Bireysel sağlık durumunun dinamik olarak değerlendirilmesine, hastalık risklerinin daha etkin belirlenmesine ve kişiye özgü beslenme stratejilerinin tasarlanmasına olanak tanımaktadır. Mevcut metodolojik ve analitik sınırlılıklarına karşın, iPOP yaklaşımının beslenme biliminin yöneldiği kişiselleştirilmiş hassas beslenme geleceğinin önemli bir bileşeni olacağı yönündeki öngörü, güçlü bir bilimsel temele dayanmaktadır.
Anahtar kelimeler: Hassas beslenme, Omik teknolojiler, Nutrigenomik, Metabolomik, Entegre Kişisel Omik Profilleme (iPOP).

ABSTRACT
Sequencing the human genome and identifying the etiopathogenesis of many chronic diseases have allowed us to elucidate the relationship between genetic diversity and phenotypic differences. However, traditional nutritional science approaches have been insufficient in explaining this interaction at the mechanistic level. This has made the need for holistic and mechanism-based analytical approaches imperative. Chronic diseases are known to exhibit a polygenic and omnigenic genetic organization resulting from the cumulative effects of numerous genetic variants. Genetic structure, interacting with environmental factors and dietary patterns, is a key determinant of the different metabolic responses and disease risks among individuals. Effective evaluation of biological responses to dietary patterns is possible only through a simultaneous and holistic approach to both genotype and phenotype. In this regard, omics and systems biology-oriented approaches are becoming increasingly important. Omics technologies aim to comprehensively analyze the relationships between multi-layered biological systems at the molecular level, considering all their components. Nutrigenomics, which forms the scientific basis of precision nutrition approaches, examines the effects of nutritional components on gene expression and gene regulatory mechanisms in the context of differences in biological responses between individuals. Transcriptomic analyses characterize the effects of dietary protocols at the mRNA level, enabling the evaluation of dietary patterns through biomarkers. Proteomic approaches contribute to the interpretation of biological effects within the framework of precision nutrition by analyzing the expression profiles and functional interactions of proteins. Metabolomics, is a functional omics layer that reflects the real-time metabolic status of individuals through metabolite profiles. Data obtained from independent analyses for each defined omics layers creates methodological limitations in the holistic interpretation of the multi-layered interactions of biological systems. This limitation has made integrated analyses approaches based on the simultaneous evaluation of multiple omics layers inevitable. Developed in line with this need, the Integrated Personal Omics Profiling (iPOP) approach is a holistic analytical method that enables the monitoring of time-sensitive molecular profiles based on the individual's genomic background. It allows for the dynamic assessment of individual health status, more effective identification of disease risks, and the design of personalized nutritional strategies. Despite its current methodological and analytical limitations, the prediction that the iPOP approach will be a key component of the personalized precision nutrition future that nutritional science is heading towards is based on a strong scientific foundation.
Keywords: Precision nutrition, Omics technologies, Nutrigenomics, Metabolomics, Integrated Personal Omics Profiling (iPOP).

INTRODUCTION

Nutritional science emerged in the early 19th century as a biochemical discipline aiming to evaluate foods by reducing them to their fundamental chemical components. This approach has formed the conceptual foundation nutritional education and practice for a considerably long time (Cannon and Leitzmann, 2022). However, since the introduction of the term "functional foods" into scientific literature, research on the physiological regulatory effects of foods and their contributions to reducing risk factors in disease states has increased. This development has shifted the focus of nutritional science from nutrient adequacy to the modulation of metabolic processes that play a role in the etiopathogenesis of chronic diseases (Bassaganya-Riera et al., 2021).

Following the initial sequencing of the human genome, elucidating the relationship between genetic variations and individual phenotypes has become a fundamental area of nutritional science, reflecting this new perspective. Many chronic diseases, particularly multifactorial diseases such as coronary atherosclerosis, cannot be reduced to a single genetic alteration. It is known that disease phenotypes exhibit a polygenic architecture where numerous genetic variants play a role with small but cumulative effects. Furthermore, not only genes directly related to the disease but also genes located throughout the genome and regulating fundamental cellular processes can shape the phenotype through indirect effects. This necessitates the evaluation of diseases within an omnigenic framework, where numerous genes across the genome contribute indirectly.

This genetic structure interacts with environmental factors, particularly dietary patterns, leading to significant differences in disease risk among individuals. However, the existence of potentially interacting factors and the limited sample sizes of current research compared to the complexity of the human genome make it difficult to accurately estimate disease risk at the individual level (Kellogg et al., 2018).

Identifying foods and food components that affect the metabolic processes underlying the onset and/or progression of diseases has become increasingly important. The consept that foods should not only be safe but also contribute to health protection has been interpreted using genomic information. Genomic-based technologies and model systems offer a range of new tools for use in human nutrition and food science. These new technologies are used to examine the molecular basis of the interaction of individual food components with both the genome and metabolism (Rist et al., 2006). In this context, simultaneous assessment of genotype and phenotype is necessary to better understand how genetic variations shape nutritional responses and complex phenotypes. Personal omics profiling forms the basis of precision nutrition approaches, enabling the holistic integration of multiple omics layers such as genome, epigenome, transcriptome, proteome, and metabolome. Through this deep phenotyping strategy, the metabolic and molecular responses of individuals to nutrients, dietary patterns, and nutritional interventions can be characterized in detail. In this way, the aim is to move beyond monolithic dietary approaches and develop individualized, evidence-based nutritional strategies (Kellog et al., 2018).

OMICS APPROACHES IN NUTRITIONAL SCIENCE

Traditional nutritional science relies heavily on the interpretation of epidemiological data and correlational findings derived from observations. This perspective has led to the prominence of population-level recommendations that disregard causality and ignore individual biological differences. The ability to interpret the variability in metabolic responses between individuals more effectively with advancing technologies has made the limitations of classical population-based frameworks visible. However, it has also paved the way for the evolution of nutritional science towards new approaches based on individual metabolic phenotypes (Li-Pook-Than and Snyder, 2013).

One of the main challenges in nutritional science is the accurate and reliable measurement of individuals' food intake and its effects on the organism. Current practices largely rely on self-reported dietary records and questionnaires to assess food intake, methods prone to various measurement errors and systematic biases. Therefore, the use of biomarkers that can reflect food intake independently of personal reports is considered an important approach to reducing methodological limitations. Furthermore, nutritional research aims not only to quantify food intake but also to reveal the effects of food on biological systems and their health-related outcomes. System-based analyses, which allow for the time-dependent and holistic examination of biological responses, enable the identification of markers that simultaneously reflect both food intake and the physiological or pathological responses to that intake. Today, these approaches are considered within the framework of precision nutrition. Holistic analysis strategies based on omics technologies, which have the capacity to generate high amounts of multilayered data, offer significant opportunities for the discovery of new biomarkers and a deeper understanding of the role of nutrition in health and disease processes (Pico et al., 2019). In contemporary nutritional science, it has become essential to consider genetic background, environmental exposures, and lifestyle factors together. The effects of environmental exposures, such as pathogens, foods, and other contacts, can also shape the physiology of individuals. Their effects on other omics dimensions such as the epigenome, transcriptome, proteome, metabolome, autoantichromome, and microbiome can be measured with many new technologies (e.g., DNA sequencing, mass spectrometry, protein microarrays) (Li-Pook-Than and Snyder, 2013).

The term omics, a concept of Latin origin, is used to describe the simultaneous and holistic analysis of all components of a biological organizational level. Omics technologies approach the molecules that make up a cell, tissue, or organism from a holistic perspective. In this context, genomic, transcriptomic, proteomic, and metabolomic approaches aim at the comprehensive, non-targeted, and unbiased detection of genes, mRNAs, proteins, and metabolites, respectively, in a given biological sample. These approaches are also described as high-dimensional biology. The integration of different omics layers is addressed under the concept of systems biology.

The fundamental assumption of these approaches is that complex biological systems can only be understood more deeply and meaningfully when examined as a whole. Systems biology and omics technologies differ from traditional approaches, which are largely hypothesis-driven or reductionist, in this respect. Systems biology-based research relies on hypothesis-generating, discovery-oriented, and holistic experimental designs. There is no predefined hypothesis; all data are collected comprehensively, and testable hypotheses are developed as a result of the analysis of the collected data (Horgan and Kenny, 2011).

THE ROLE OF THE GENOME IN NUTRITIONAL SCIENCE

Nutrigenomics is an interdisciplinary field that integrates genomic data into nutritional science, drawing on physiology, pathology, genetics, and molecular biology. It aims to examine the effects of dietary nutrients on gene expression and regulatory mechanisms at the molecular level. This approach elucidates the role of individual genetic variation in biological responses to nutrition, thereby forming the scientific basis for precision nutrition. However, limitations such as small effect sizes and the challenge of translating polygenic risk scores directly into interventions suggest that an integrated assessment with other "omic" layers is necessary. Integrating nutrigenomic data enables the definition of nutritional requirements tailored to an individual's genomic profile, guiding personalized strategies for the prevention and management of chronic diseases (Jabeen et al., 2023). It systematically examines interactions between nutrient components and the human genome, alongside their health consequences. Specifically, nutrigenomics details: i) the effects of bioactive compounds on gene regulation; ii) the role of nutrient intake on functional gene activity; iii) the modulation of genetic pathways for disease prevention; and iv) the molecular interaction networks between nutrients and genomic responses (Uthpala et al., 2020).

THE ROLE OF TRANSCRIPTOMES IN NUTRITIONAL SCIENCE

Transcriptomic approaches enable the molecular-level characterization of diet–gene interactions by capturing global changes in gene expression in response to nutritional interventions. These approaches play a critical role in identifying transcriptional signatures and novel biomarkers for assessing nutritional status, thereby supporting the development of precision nutrition strategies through the detection of interindividual differences in gene expression responses. In nutrition and micronutrient research, transcriptomic methods have been widely applied, predominantly in studies employing cell lines and animal models. Through these approaches, numerous genes regulated at the mRNA level by dietary components have been identified, offering valuable insights into the biological processes and metabolic pathways influenced by nutritional factors. Nevertheless, inherent limitations, particularly tissue specificity and context-dependent gene expression, necessitate the integration of transcriptomic data with other biological layers to ensure accurate interpretation of nutritional effects (Elliott, 2008).
Transcriptomic analyses offer the possibility of evaluating changes in intracellular RNA levels caused by dietary interventions at the system level. Two main technologies are used in the measurement of the transcriptome: hybridization-based microarray platforms and sequence-based RNA sequencing methods. In nutritional transcriptomics studies, these technologies are applied to serve different research purposes. Mechanistic approaches aim to reveal the molecular targets affected by nutritional components and the associated signal transduction pathways. In this way, the regulatory effects of diet on cellular processes can be defined. Biomarker profiling approaches, on the other hand, focus on identifying early transcriptional markers associated with a specific phenotype or disease state. Such markers contribute to the objective assessment of nutritional status. Transcriptomic methods provide a strong scientific foundation for developing precise nutritional strategies that take individual biological responses into account and for creating personalized nutritional recommendations (Habib et al., 2022).

THE ROLE OF THE PROTEOME IN NUTRITIONAL SCIENCE

Proteomic analyses aim to comprehensively identfy and quantify the proteins expressed in a specific cell, tissue, or biological system. This approach allows for a more detailed understanding of cellular and physiological processes by revealing the dynamic structure of proteins, which are the direct agents of biological functions. However, it has limitations, such as technical difficulties in detecting low-density proteins (Carrera, 2023).

While the genome structure is relatively stable, the proteome structure is highly dynamic. Protein profiles are shaped by numerous factors, including genetic background, developmental stage, tissue-specific characteristics, metabolic status, and environmental interactions. Due to these characteristics, the proteome is considered a biological layer that can directly reflect the changes occurring in biological and chemical processes. roteomic analyses, which allow for the comprehensive study of protein composition and protein-protein interactions, are finding an increasingly growing field of application in food science thanks to the systematic perspective they offer. Today, the main areas where proteomics is effectively applied include: detailed analysis of food composition, safety assessments of genetically modified foods, identification of specific protein markers for food verification, identification of food allergens, examination of the physiological effects of foods at the system level, and food processing (Pischetsrieder and Baeuerlein, 2009; Turkal ve ark., 2024).

Proteomic approaches are considered an important tool in the development of precision nutrition applications. In this context, proteomic applications are grouped under three main headings. Firstly, the evaluation of food quality and safety at the protein level. This provides reliable data for individualized nutritional interventions. Secondly, the examination of the effects of food processing processes on protein structures and functions can be given as an example. In this regard, it provides information about the bioavailability and biological activity of nutrients. Finally, the identification and characterization of new food components that may have positive effects on human health at the proteomic level can be addressed. In this way, it contributes to the creation of precision nutrition strategies that take individual biological responses into account (Gallardo ve ark., 2013).

THE ROLE OF METABOLOME IN NUTRITIONAL SCIENCE

Metabolomics is a comprehensive approach to studying the composition, quantity, and interactions of small-molecule metabolites in a biological system. The metabolome is a dynamic structure that directly influences or is influenced by all cellular processes. Disruption of metabolic balance is considered a hallmark of many disease states and factors such as dietary strategies and environmental exposure (Chi et al., 2024). Among the integrated omics layers, the metabolome stands out as the level that provides the most direct and functional information from a nutritional science perspective. Metabolite profiles respond quickly to dietary components and reflect an individual's real-time metabolic status. However, difficulties can be encountered in revealing the relationships between diet, microbiota, and hypersensitivity to environmental factors (Chen et al., 2012).

The main classes of metabolites studied in metabolomic research include sugars, amino acids, lipids, and other low molecular weight organic compounds essential for maintaining cellular function. To comprehensively examine the metabolome, metabolomic approaches simultaneously measure the composition and quantity of numerous metabolites. This feature allows for detailed analysis of metabolic pathways, biochemical reactions, and physiological transformations occurring in biological systems. However, these comprehensive analyses often result in large and complex datasets. These large datasets enable metabolomic studies to contribute to the comprehensive analysis of the metabolic profiles of biological systems and to elucidate the biochemical mechanisms underlying intrinsic or environmental stimuli. For example, metabolomic approaches are effectively used in identifying metabolic markers and potential biomarker metabolites associated with specific diseases. The most commonly used analytical methods in metabolomic research are nuclear magnetic resonance spectroscopy and mass spectrometry (Chi et al., 2024).

INTEGRATED PERSONAL OMICS PROFILING-iPOP

Integrated Personal Omics Profiling (iPOP) has emerged as an approach that aims to track the molecular profiles of individuals over time, based on their genome. The iPOP approach offers a preventive and diagnostic framework that can monitor changes in an individual's health status over a long period. iPOP can support effective assessment of disease risk, increase diagnostic specificity, monitor prognosis, develop interventions, and better understand biological mechanisms. However, advanced analytical tools are required for the integration and interpretation of multidimensional data. Integrating such data with personalized integrative nutritional biomarker profiles contributes to the development of more accurate and individualized nutritional recommendations.

Such algorithms can also be supported by data obtained from longitudinal iPOP studies related to critical periods of life. In the first stage, the individual's current health status and metabolic and endogenous response profiles are defined. In the subsequent process, various exogenous factors, primarily dietary components, that can holistically transform the iPOP structure are identified. These assessments enable the planning of nutritional interventions that are compatible with the individual's biological characteristics. As a result, it becomes possible to develop more effective and long-term sustainable functional eating behaviors (Pico et al., 2019).

iPOP contributes to understanding the effects of nutrition not only at the energy and macro/micronutrient levels, but also at the molecular and systems biology levels. This approach reveals that the biological effects of nutrition are individual-specific and time-variable. While the genome defines an individual's potential response capacity to nutrients, the transcriptome, proteome, and especially the metabolome reflect real-time nutritional responses. In other words, the genome is limited to defining the individual's basic genetic structure. However, the integrated analysis of multiple omics layers such as the epigenome, transcriptome, proteome, and metabolome allows for the time-sensitive and functional assessment of individual physiology and health status. It is predicted that the iPOP approach represents a significant shift in personalized healthcare and can provide significant improvements in disease risk assessment, diagnostic accuracy, disease monitoring processes, the development of targeted therapies, and the understanding and prevention of disease pathophysiology (Li-Pook-Than and Snyder, 2013).

FUNDAMENTALS OF THE iPOP APPROACH

Individual health is shaped by the biological potential determined by the genome, as well as how encountered environmental and exposure factors modulate the expression of genomic information at the epigenetic, transcriptomic, proteomic, and metabolomic levels (Karczewski and Snyder, 2018; Sanches et al., 2024). The concept of individual health is rooted in personalized medicine. Personalized medicine aims to assess, monitor, diagnose, and treat medical risks based on patients' genetic makeup and molecular phenotypes. However, its use in predicting disease risk and analyzing healthy individuals to provide a basis for clinical interpretation still has limitations. Currently, the assessment of healthy and pathological conditions mostly relies on conventional tests targeting a limited number of biomarkers. However, with rapid advances in omics approaches such as genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics, it has become possible to analyze numerous molecular components simultaneously and holistically through high-throughput analytical platforms. This multi-layered data generation allows for a more detailed analysis of the complexity of biological systems and provides a strong foundation for the development of personalized nutrition and precision medicine applications. Thus, identifying individual disease risks and developing targeted preventive strategies becomes more accessible (Chen et al., 2012).

Integrated omics analyses are systems biology approaches based on combining high-dimensional data obtained at different molecular levels. These multi-layered strategies aim to reveal the dynamic and interactive nature of biological systems by providing comprehensive molecular insights that a single omics level cannot provide. While individual omics data provide information at a specific molecular level, integrated analyses, by evaluating this data together, can better explain both the relationship between gene expression and variations at the protein and metabolite levels, as well as their physiological consequences (Karczewski and Snyder, 2018; Sanches et al., 2024).

Omics layers such as genomics, transcriptomics, proteomics, and metabolomics offer different types of biological information. Examining each layer in isolation reflects only a limited dimension of biological processes. In contrast, integrated omics analyses provide a more holistic understanding by revealing the system-level interactions of molecular mechanisms (Morabito et al., 2025). The iPOP approach assumes that genomic information provides a time-independent and relatively stable baseline for individual disease risk, while transcriptomic, proteomic, and metabolomic profiles are sensitive to environmental exposures, particularly nutrition, and exhibit time-dependent variability. Therefore, iPOP studies adopt data collection designs from different time points to capture the dynamic nature of biological processes (Li-Pook-Than and Snyder, 2013).

The fact that the same dietary pattern leads to different metabolic outcomes in different individuals forms the basis of personalized nutrition approaches.

Chen and Snyder (2013) showed that these differences are related not only to genetic variants but also to post-transcriptional mechanisms such as allele-specific gene expression and RNA editing. These findings reveal that the nutrition-genome interaction is not one-way; diet creates individual-specific effects on gene expression and protein synthesis. Therefore, iPOP offers a strong analytical framework for nutrigenomic and nutriepigenomic approaches. Nutrigenomics is a branch of science that uses molecular tools to investigate, evaluate, and understand the diverse responses caused by a specific diet applied across individuals and population groups. The analysis of interaction networks between genes, proteins, and metabolites, along with data at the transcriptomic, proteomic, and metabolomic levels, and the adaptation of this multifaceted information to personalized nutrition approaches, constitute the core area of study in the nutrigenomic discipline. Nutriepigenomics, on the other hand, is the study of how nutrients affect human health through epigenetic modifications. In other words, it is a discipline that examines at the molecular level how nutritional components activate or silence gene expression through epigenetic mechanisms. This approach explains the effects of nutrition on health not only through genetic variations but also within the framework of the dynamic regulation of gene expression that occurs through DNA methylation, histone modifications, and non-coding RNAs (Pavlidis et al., 2015; Curtis, 2017).

LIMITATIONS AND EVALUATION FROM A CLINICAL PRACTICE PERSPECTIVE

The iPOP approach offers a powerful framework for personalized medicine and precision nutrition. Despite this strong potential, it has not been routinely integrated into clinical practice due to certain structural, technical, and organizational limitations. The high cost factor is a primary limitation. Indeed, its applicability requires advanced sequencing technologies, high-capacity laboratory infrastructure, bioinformatics analysis software, and qualified human resources. Another significant limitation is the difficulty in interpreting multidimensional data. Omics data, exhibiting a dense and heterogeneous structure, must be interpreted within the context of biological systems in addition to statistical analysis for meaningful findings. When it comes to biological systems, issues such as the clinical significance of genomic data, metabolomic changes and their physiological interaction responses, and individual health effects cannot be explained with clear boundaries. One of the biggest challenges in nutritional science is the bioinformatic limitations experienced in interpreting metabolomic data together with other omics layers. This difficulty in interpretation and uncertainty negatively impacts decision-making processes at the clinical level. Regarding the integration of different omics layers, the limitations of standardized methods and interpretation frameworks in data analysis present another constraint in clinical reliability. Misra et al. (2019) emphasize that the scaling, normalization, and statistical integration of different omics data types have not yet reached a standard structure. Furthermore, the lack of data sharing, reproducibility, and large cohort studies slows down the integration of iPOP into clinical nutrition practices. To improve and accelerate integration, effective communication networks must be established among dietitians, physicians, bioinformaticians, molecular biologists, and data scientists. The lack of decision support systems needed for the practical application of this data is another problem that needs to be addressed. To this end, intelligent systems should be provided that integrate iPOP data with clinical findings, laboratory results, and lifestyle data to transform it into an understandable and practically applicable form. While current AI-based applications are promising, ethical responsibility and regulatory aspects need to be improved.

From a future perspective, the current literature clearly demonstrates the high potential of the iPOP approach for nutritional science. Promising developments are particularly evident in its integration into clinical practice. The gradual reduction in costs, the development of qualified human resources, the increased usability of data analysis tools, advancements in AI-powered clinical decision-making systems, and the growing evidence regarding the clinical significance of omics data will enable iPOP to gain a stronger foothold in precision nutrition. The widespread adoption of policies focused on preventive medicine-based health practices will further increase the need for personalized approaches like iPOP. In conclusion, while not yet fully integrated into clinical practice, its molecular and individualized data-driven approach creates a future-oriented functional platform in the fields of nutrition, preventive medicine, and analytical assessment.

REFERENCES

Bassaganya-Riera, J., Berry, E. M., Blaak, E. E., Burlingame, B., le Coutre, J., van Eden, W., El-Sohemy, A., German, J. B., Knorr, D., Lacroix, C., Muscaritoli, M., Nieman, D. C., Rychlik, M., Scholey, A., Serafini, M. (2021). Goals in Nutrition Science 2020-2025. Frontiers in Nutrition, 7:606378.

Cannon, G., Leitzmann, C. (2022). Food and Nutrition Science: the New Paradigm. Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition, 31(1), 1-15.

Carrera, M. (2023). Food Safety-Transcriptomics and Proteomics. International Journal of Molecular Sciences, 24(24), 17127.

Chen, R., Snyder, M. (2013). Systems Biology: Personalized Omics Profiling Reveals Dynamic Molecular Changes**.** *Science*, 339(6119), 1099-1100.

Chen, R., Mias, G. I., Li-Pook-Than, J., Jiang, L., Lam, H. Y. K., Chen, R., Miriami, E., Karczewski, M. H., Dewey, F.E., Cheng, Y., Clark, M. J., Im, H., Habegger, L., Balasubramanian, S., O'Huallachain, m., Dudley, J. T., Hillenmeyer, S., Haraksingh, R., Sharon, D., Euskirchen, G., Lacroute, P., Bettinger, K., Boyle, A. P., Kasowski, M., Grubert, F., Seki, S., Garcia, M., Whirl-Carrillo, M., Gallardo, M., Blasco, M. A., Greenberg, P. L., Snyder, P., Klein, T. E., Altman, R. B., Butte, A. J., Ashley, E. A., Gerstein, M., Nadeau, K. C., Tang, H., Snyder, M. (2012). Personal Omics Profiling Reveals Dynamic Molecular and Medical Phenotypes**.** *Cell*, 148(6), 1293-1307.

Chi, J., Shu, J., Li, M., Mudappathi, R., Jin, Y., Lewis, F., Boon, A., Qin, X., Liu, L., Gu, H. (2024). Artificial Intelligence in Metabolomics: A current review. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 178, 117852.

Curtis, J. (2017). Nutriepigenomics Advances into Personalized Nutrition. Biomedical Journal of Scientific & Technical Research, 1(2), 273-280.

Elliott, R. M. (2008). Transcriptomics and Micronutrient Research. British Journal of Nutrition, 99(S3), 59-65.

Gallardo, J. M., Carrera, M., Ortea, I. (2013). Proteomics in Food Science. In: Foodomics: Advanced Mass Spectrometry in Modern Food Science and Nutrition, John Wiley & Sons, Inc., 125-165.

Habib, N., Idrissi Azami, A., Aberkani, K., Motaib, I., Bakkali, F., Ghazal, H. (2022). Nutrigenomics and Transcriptomics for a Personalized Nutrition. In: Nutrition and Human Health: Effects and Environmental Impacts, Springer International Publishing., 131-150.

Horgan, R. P., Kenny, L. C. (2011). Omic Technologies: Genomics, Transcriptomics, Proteomics and Metabolomics. Obstetrician & Gynaecologist, 13(3).

Jabeen, A., Malik, G., Mir, J. I., Rasool, R. (2023). Nutrigenomics: Linking Food to Genome. Italian Journal of Food Science, 35(1), 26-40.

Karczewski, K. J., Snyder, M. P. (2018). Integrative Omics for Health and Disease. Nature Reviews Genetics, 19(5), 299-310.

Kellogg, R. A., Dunn, J., Snyder, M. P. (2018). Personal Omics for Precision Health. Circulation Research, 122(9), 1169-1171.

Li-Pook-Than, J., Snyder, M. (2013). iPOP Goes the World: Integrated Personalized Omics Profiling and the Road Toward Improved Health Care**.** *Chemistry & Biology*, 20(5), 660-666.

Misra, B. B., Langefeld, C. D., Olivier, M., Cox, L. A. (2019). Integrated Omics: Tools, Advances and Future Approaches**.** *Journal of Molecular Endocrinology*, 62(1), R21-R45.

Morabito, A., De Simone, G., Pastorelli, R., Brunelli, L., Ferrario, M. (2025). Algorithms and Tools for Data-Driven Omics Integration to Achieve Multilayer Biological İnsights: A Narrative Review. Journal of Translational Medicine, 23(1), 425.

Pavlidis, C., Patrinos, G. P., Katsila, T. (2015). Nutrigenomics: A Controversy. Applied & Translational Genomics, 4, 50-53.

Picó, C., Serra, F., Rodríguez, A. M., Keijer, J., Palou, A. (2019). Biomarkers of Nutrition and Health: New Tools for New Approaches. Nutrients, 11(5), 1092.

Pischetsrieder, M., Baeuerlein, R. (2009). Proteome Research in Food Science. Chemical Society Reviews, 38(9), 2600-2608.

Rist, M. J., Wenzel, U., Daniel, H. (2006). Nutrition and Food Science Go Genomic. Trends in Biotechnology, 24(4), 172-178.

Sanches, P. H. G., de Melo, N. C., Porcari, A. M., de Carvalho, L. M. (2024). Integrating Molecular Perspectives: Strategies for Comprehensive Multi-omics Integrative Data Analysis and Machine Learning Applications in Transcriptomics, Proteomics, and Metabolomics. Biology, 13(11), 848.

Turkal, G., Telli, A. E., Doğruer, Y. (2024). Gıda Endüstrisinde Proteomikler. In: Sağlık Bilimlerinde Aktüel Yaklaşımlar, Duvar Yayınları, 93-117.

Uthpala, T. G., Fernando, H. N., Thibbotuwawa, A., Jayasinghe, M. (2020). Importance of Nutrigenomics and Nutrigenetics in Food Science. MOJ Food Processing & Technology, 8(3):114–119.

KRONİK BÖBREK HASTALIKLARINDA BESLENME PLANLAMASI

NUTRITIONAL PLANNING IN CHRONIC KIDNEY DISEASE

Serkan BENTLİ
Öğr.Gör. Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-4029-7289

Usame ELBIRHAVİ
Öğrenci, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID ID: 0009-0009-0988-9516

ÖZET

Böbrekler, vücudun homeostazının sağlanmasında kritik rol oynayan, metabolik atıkların uzaklaştırılması, sıvı-elektrolit dengesinin korunması ve hormonal düzenlemede görev alan hayati organlardır. Kronik böbrek hastalığı (KBH), glomerüler filtrasyon hızında (GFH) kalıcı azalma ile karakterize olup zamanla böbrek fonksiyonlarının geri dönüşümsüz kaybına yol açabilmektedir. Hastalığın ilerlemesinde ileri yaş, diyabetes mellitus, hipertansiyon, obezite ve genetik yatkınlık gibi birçok risk faktörü rol oynamaktadır. Ayrıca yaşam tarzı faktörleri, düzensiz beslenme alışkanlıkları ve fiziksel inaktivite de hastalığın gelişiminde etkili olabilmektedir.

KBH sürecinde ortaya çıkan sıvı-elektrolit dengesizlikleri, metabolik asidoz, anemi ve nörolojik bulgular hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte kardiyovasküler hastalık riski de bu bireylerde artış göstermektedir. Bu nedenle hastalığın erken tanısı ve uygun yönetimi büyük önem taşımaktadır.

Beslenme tedavisi, kronik böbrek hastalığının yönetiminde temel yaklaşımlardan biri olup hastalığın ilerlemesini yavaşlatmayı, metabolik komplikasyonları önlemeyi ve üremik toksinlerin birikimini azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda protein, karbonhidrat ve yağ alımının dengelenmesi, ayrıca potasyum, fosfor, sodyum ve kalsiyum gibi minerallerin kontrollü alınması büyük önem taşımaktadır. Özellikle düşük proteinli ve bitki bazlı diyetlerin böbrek yükünü azaltarak hastalık progresyonunu yavaşlatabileceği bildirilmektedir. Aynı zamanda yeterli enerji alımının sağlanması, malnütrisyonun önlenmesi açısından da kritik bir unsurdur.

Sonuç olarak, kronik böbrek hastalığında bireye özgü planlanan beslenme tedavisi, hem hastalığın seyrini olumlu yönde etkilemekte hem de yaşam kalitesinin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Multidisipliner bir yaklaşımla yürütülen tedavi süreci, hastaların prognozunun iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Kronik böbrek hastalığı, beslenme tedavisi, protein kısıtlaması, elektrolit dengesi

ABSTRACT

The kidneys are vital organs that play a critical role in maintaining the body’s homeostasis by eliminating metabolic waste products, regulating fluid and electrolyte balance, and contributing to hormonal functions. Chronic kidney disease (CKD) is characterized by a persistent decline in glomerular filtration rate (GFR), which may lead to irreversible loss of kidney function over time. Several risk factors contribute to the progression of the disease, including advanced age, diabetes mellitus, hypertension, obesity, and genetic predisposition. In addition, lifestyle factors such as unhealthy dietary habits and physical inactivity may also play a role in the development of CKD.During the course of CKD, fluid and electrolyte imbalances, metabolic acidosis, anemia, and neurological manifestations can significantly impair patients’ quality of life. Furthermore, the risk of cardiovascular diseases is increased in these individuals. Therefore, early diagnosis and appropriate management of the disease are of great importance.Nutritional therapy is one of the fundamental approaches in the management of chronic kidney disease. It aims to slow disease progression, prevent metabolic complications, and reduce the accumulation of uremic toxins. In this context, balancing the intake of protein, carbohydrates, and fats, as well as controlling minerals such as potassium, phosphorus, sodium, and calcium, is crucial. Low-protein and plant-based diets have been reported to reduce renal workload and slow disease progression. In addition, ensuring adequate energy intake is essential to prevent malnutrition.

In conclusion, individualized nutritional therapy in chronic kidney disease not only positively affects the course of the disease but also contributes to improving patients' quality of life. A multidisciplinary approach to treatment plays a key role in improving patient prognosis.
Keywords: Chronic kidney disease, nutritional therapy, protein restriction, electrolyte balance

1. GİRİŞ

Böbrekler, insan vücudunda homeostazın sağlanmasında merkezi rol oynayan, metabolik atıkların uzaklaştırılması, sıvı ve elektrolit dengesinin korunması, asit-baz dengesinin düzenlenmesi ve çeşitli hormonların sentezlenmesi gibi hayati fonksiyonları yerine getiren önemli organlardır. Glomerüler filtrasyon, tübüler geri emilim ve sekresyon mekanizmaları aracılığıyla kanın içeriğini düzenleyen böbrekler, organizmanın iç ortam dengesinin sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca eritropoietin üretimi ile eritrosit sentezine katkıda bulunmakta, renin-anjiyotensin-aldosteron sistemi üzerinden kan basıncını düzenlemekte ve D vitamini metabolizmasında rol alarak kemik sağlığının korunmasına destek olmaktadır.Kronik böbrek hastalığı (KBH), glomerüler filtrasyon hızında (GFH) kalıcı azalma ile karakterize, ilerleyici ve çoğunlukla geri dönüşümsüz bir klinik durumdur. Hastalık genellikle uzun süre asemptomatik seyretmekte, bu nedenle erken evrelerde tanı konulması güç olabilmektedir. Ancak ilerleyen dönemlerde sıvı-elektrolit dengesizlikleri, metabolik asidoz, üremi bulguları ve çoklu organ sistemlerini etkileyen komplikasyonlar ortaya çıkabilmektedir. Günümüzde KBH, artan prevalansı ve neden olduğu morbidite ve mortalite ile küresel ölçekte önemli bir halk sağlığı sorunu olarak kabul edilmektedir.

KBH'nin etiyolojisi multifaktöriyel olup diyabetes mellitus ve hipertansiyon en sık görülen nedenler arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra obezite, genetik yatkınlık, otoimmün hastalıklar, enfeksiyonlar ve nefrotoksik ilaç kullanımı gibi çeşitli faktörler de hastalığın gelişiminde ve ilerlemesinde etkili olmaktadır. Bu çok yönlü etiyoloji, hastalığın yönetiminde bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir.

Kronik böbrek hastalığının tedavisinde farmakolojik yaklaşımların yanı sıra yaşam tarzı değişiklikleri ve özellikle beslenme düzenlemeleri önemli bir yer tutmaktadır. Beslenme tedavisi, hastalığın ilerlemesini yavaşlatmayı, metabolik komplikasyonları önlemeyi ve hastanın genel sağlık durumunu iyileştirmeyi amaçlayan temel yaklaşımlardan biridir. Uygun şekilde planlanan bir diyet ile böbrek üzerindeki yük azaltılabilir, üremik toksinlerin birikimi sınırlandırılabilir ve hastaların yaşam kalitesi artırılabilir.

2. BÖBREĞİN YAPISI VE FONKSİYONLARI

Böbrekler, korteks ve medulla olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Korteks bölgesi glomerülleri içerirken, medulla kısmında tübüler yapılar yer almaktadır. Bu yapılar filtrasyon, geri emilim ve sekresyon süreçlerinde aktif rol oynar. Nefron adı verilen fonksiyonel birimler sayesinde kanın süzülmesi sağlanır ve vücudun iç dengesi korunur. Böbreklerin temel işlevi, kan plazmasını filtre ederek vücudun ihtiyaç duyduğu maddeleri geri kazanmak ve zararlı atıkları idrar yoluyla uzaklaştırmaktır. Bunun yanı sıra sıvı-elektrolit dengesinin sağlanması, asit-baz dengesinin korunması ve toksik maddelerin elimine edilmesi gibi önemli görevleri bulunmaktadır. Ayrıca renin-anjiyotensin-aldosteron sistemi aracılığıyla kan basıncının düzenlenmesinde, eritropoietin üretimi ile kırmızı kan hücrelerinin oluşumunda ve D vitamini aktivasyonu yoluyla kemik sağlığının korunmasında da önemli rol oynar.

3. KRONİK BÖBREK HASTALIĞI

Tanım ve Evreler

Kronik böbrek hastalığı, glomerüler filtrasyon hızının (GFH) 60 mL/dk/1.73 m²'nin altına düşmesi veya böbrek hasarının en az üç ay süreyle devam etmesi ile tanımlanmaktadır. Hastalık, böbrek fonksiyonlarındaki azalmaya bağlı olarak evre 1'den evre 5'e kadar sınıflandırılmaktadır. Erken evrelerde hastalık genellikle asemptomatik seyrederken, ilerleyen evrelerde belirgin klinik bulgular ortaya çıkmaktadır. Hastalığın son evresi olan evre 5, son dönem böbrek yetmezliği olarak kabul edilmekte olup diyaliz veya böbrek nakli gerektirebilmektedir.

Risk Faktörleri

Kronik böbrek hastalığının gelişiminde diyabetes mellitus, hipertansiyon, obezite, ileri yaş ve genetik yatkınlık başta olmak üzere birçok risk faktörü rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra kronik enfeksiyonlar, nefrotoksik ilaç kullanımı, sigara tüketimi, sağlıksız beslenme alışkanlıkları ve fiziksel inaktivite de hastalığın gelişimini ve ilerlemesini hızlandırabilmektedir. Bu risk faktörlerinin kontrol altına alınması, hastalığın önlenmesi ve progresyonunun yavaşlatılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Klinik Özellikler

Kronik böbrek hastalığında sıvı-elektrolit dengesizlikleri, metabolik asidoz, nörolojik bozukluklar, kas güçsüzlüğü ve yorgunluk gibi birçok klinik belirti görülebilmektedir. Bununla birlikte ödem, hipertansiyon, iştahsızlık, bulantı ve kusma gibi semptomlar da sıklıkla ortaya çıkmaktadır. İlerleyen dönemlerde anemi, kemik mineral yoğunluğunda azalma ve kardiyovasküler komplikasyonlar gelişebilir. Bu klinik bulgular hastaların yaşam kalitesini önemli ölçüde düşürmekte ve hastalığın ciddiyetini artırmaktadır.

4. KRONİK BÖBREK HASTALIĞINDA BESLENME TEDAVİSİ



Beslenme planı bireysel olarak düzenlenmeli ve düzenli olarak izlenmelidir.

5. BESİN ÖĞELERİ VE BESLENME YAKLAŞIMI

Proteinler

Kronik böbrek hastalarında günlük protein alımı genellikle 0.6–0.8 g/kg olarak önerilmektedir. Bu kısıtlama, azotlu atık ürünlerin oluşumunu azaltarak böbreklerin yükünü hafifletmeyi amaçlamaktadır. Ancak diyaliz tedavisi alan hastalarda protein gereksinimi artabileceğinden bireysel değerlendirme yapılması gerekmektedir. Yüksek biyolojik değere sahip proteinlerin tercih edilmesi önemlidir. Bununla birlikte bitki bazlı protein kaynaklarının (baklagiller, sebzeler ve tahıllar) daha fazla tercih edilmesi, fosfor yükünü azaltması ve metabolik asidoz riskini düşürmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Yeterli enerji alımı ile birlikte protein-enerji malnütrisyonunun önlenmesi de dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır.

Karbonhidratlar
Günlük enerji ihtiyacının yaklaşık %55–60'ının karbonhidratlardan sağlanması önerilmektedir. Karbonhidrat seçiminde basit şekerler yerine kompleks karbonhidratların tercih edilmesi, kan glukoz düzeyinin dengelenmesine katkı sağlamaktadır. Tam tahıllar, sebzeler ve lif açısından zengin besinler sindirim sistemini desteklerken aynı zamanda tokluk hissini artırmaktadır. Özellikle diyabet eşlik eden hastalarda karbonhidrat alımının dengeli ve kontrollü olması büyük önem taşımaktadır.

Yağlar
Toplam enerjinin yaklaşık %25–30'unun yağlardan sağlanması önerilmektedir. Doymuş yağ ve trans yağ tüketimi sınırlandırılmalı, bunun yerine zeytinyağı gibi tekli doymamış yağ asitlerinden zengin bitkisel yağlar tercih edilmelidir. Omega-3 yağ asitleri içeren besinler (örneğin balık ve bazı bitkisel kaynaklar) inflamasyonu azaltıcı etkileri nedeniyle önerilmektedir. Yağ alımının dengelenmesi, kardiyovasküler hastalık riskinin azaltılması açısından da önem taşımaktadır.

6. VİTAMİN VE MİNERALLER
Kronik böbrek hastalığında vitamin ve mineral dengesinin sağlanması, metabolik komplikasyonların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle mikro besin ögelerinin alımı dikkatle planlanmalı ve gerektiğinde diyetisyen kontrolünde düzenlenmelidir.

Potasyum
Potasyum alımı genellikle <1800 mg/gün ile sınırlandırılmalıdır. Yüksek potasyum düzeyleri (hiperkalemi), kalp ritim bozukluklarına yol açabileceğinden ciddi risk oluşturur. Bu nedenle potasyum içeriği yüksek olan muz, patates ve bazı yeşil yapraklı sebzelerin tüketimi kontrol altında tutulmalıdır.

Kalsiyum
Günlük kalsiyum alımı genellikle 800–1000 mg arasında önerilmektedir. Kalsiyum dengesi, kemik sağlığının korunması ve sekonder hiperparatiroidizmin önlenmesi açısından önemlidir. Ancak aşırı kalsiyum alımından da kaçınılmalıdır.

Fosfor
Fosfor alımı 800–1000 mg/gün ile sınırlandırılmalıdır. Yüksek fosfor düzeyleri kemik-mineral bozukluklarına ve damar kalsifikasyonuna yol açabilmektedir. Bu nedenle süt ürünleri, işlenmiş gıdalar ve katkı maddesi içeren besinlerin tüketimi dikkatli şekilde kontrol edilmelidir.

Sodyum ve Sıvı
Sodyum alımı genellikle <2300 mg/gün olacak şekilde sınırlandırılmalıdır. Bu durum hipertansiyon ve ödem kontrolü açısından önem taşımaktadır. Sıvı alımı ise hastanın günlük idrar miktarı, ödem durumu ve klinik bulgularına göre bireysel olarak ayarlanmalıdır. Aşırı sıvı alımı, özellikle ileri evre hastalarda ciddi komplikasyonlara yol açabileceğinden dikkatli olunmalıdır.

7. SONUÇ
Kronik böbrek hastalığı (KBH), progresif seyir gösteren ve zamanla böbrek fonksiyonlarının geri dönüşümsüz kaybına neden olabilen önemli bir sağlık sorunudur. Hastalığın gelişiminde genetik yatkınlık, diyabetes mellitus, hipertansiyon, obezite ve çevresel faktörler gibi birçok etken rol oynamaktadır. Bu çok yönlü yapı, KBH yönetiminde yalnızca farmakolojik tedavilerin yeterli olmadığını, aynı zamanda yaşam tarzı değişiklikleri ve beslenme düzenlemelerinin de büyük önem taşıdığını göstermektedir beslenme tedavisi, KBH'nin ilerlemesini yavaşlatmada ve komplikasyonların önlenmesinde temel yaklaşımlardan biridir. Özellikle protein alımının kontrollü şekilde sınırlandırılması, böbrek üzerindeki yükün azaltılmasına katkı sağlarken; yeterli enerji alımının sağlanması malnütrisyon riskini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra karbonhidrat ve yağ dağılımının dengelenmesi, hastaların metabolik durumunun korunmasında önemli rol oynamaktadır. Son yıllarda bitki bazlı beslenme yaklaşımlarının ön plana çıkması, hem böbrek fonksiyonlarının korunması hem de eşlik eden kardiyovasküler hastalık risklerinin azaltılması açısından dikkat çekmektedir.

Elektrolit ve mineral dengesinin sağlanması da KBH yönetiminde kritik bir unsurdur. Potasyum, fosfor ve sodyum alımının kontrol altına alınması, hastalarda görülebilecek kardiyak komplikasyonlar, kemik metabolizması bozuklukları ve sıvı dengesizliklerinin önlenmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca sıvı alımının hastanın klinik durumuna göre düzenlenmesi, özellikle ileri evre ve diyaliz hastalarında yaşam kalitesinin artırılmasında önemli rol oynamaktadır.

Bununla birlikte KBH'de uygulanan beslenme tedavisi her hasta için standart bir yaklaşım içermemekte, bireysel ihtiyaçlara göre planlanması gerekmektedir. Hastanın yaşı, hastalık evresi, eşlik eden hastalıkları ve beslenme durumu dikkate alınarak oluşturulan kişiselleştirilmiş diyet programları daha etkili sonuçlar vermektedir. Bu süreçte düzenli takip ve multidisipliner yaklaşım, tedavi başarısını artıran önemli faktörler arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak, kronik böbrek hastalığında beslenme tedavisi yalnızca destekleyici bir unsur değil, hastalığın seyrini doğrudan etkileyen temel bir tedavi bileşenidir. Gelecekte yapılacak geniş kapsamlı ve uzun süreli çalışmalar, farklı beslenme yaklaşımlarının KBH üzerindeki etkilerini daha net ortaya koyarak klinik uygulamalara yön verecektir. Bu doğrultuda, bireye özgü planlanan ve uzman kontrolünde yürütülen beslenme tedavisinin, hastaların yaşam süresi ve yaşam kalitesi üzerinde belirgin iyileşmeler sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Nefroloji Hemşireliği Dergisi 2023
https://dergipark.org.tr/tr/pub/hemsire/article/1747454

Nefroloji Hemşireliği Dergisi 2022; 17(1): 29-38 İrem Gözütok Nutrition And Dietetic Master Programme August 2019,
https://turkmedline.net/detay/kronik-hemodiyaliz-programinda-olan-hastada-basarili-gebelik-sonrasi-gelisen-postpartum-kardiyomiyopati-olgu-sunumu/58c3c341676837bb/tr/668%2B2026%2B21%2B1

Espen Nütrisyon Rehberi
https://www.kepan.org.tr/userfiles/espen_en_kilavuz/espen_en_kilavuz_turkce.pdf

Nefroloji Hemşireliği Dergisi 2022;
https://dergipark.org.tr/en/pub/hemsire/article/1408370

Bes Diyt Derg 2019
https://beslenmevediyetdergisi.org/index.php/bdd/issue/archive

MAKRO BESİN ÖĞELERİNİN METABOLİK ETKİLERİ: KARBONHİDRATLARIN ROLÜ VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

METABOLIC EFFECTS OF MACRONUTRIENTS: THE ROLE OF CARBOHYDRATES AND CURRENT APPROACHES

Serkan BENTLİ
Öğr. Gör. Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-4029-7289

Nail CAN
Öğrenci, Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü
ORCID ID: 0009-0005-2419-3390

ÖZET

Karbonhidratlar, insan metabolizmasının temel enerji kaynaklarından biri olup organizmanın fizyolojik işlevlerinin sürdürülebilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle merkezi sinir sistemi, eritrositler ve kas dokusu gibi glukoza bağımlı dokuların enerji gereksinimlerinin karşılanmasında karbonhidratlar vazgeçilmezdir. Günümüzde beslenme alışkanlıklarının değişmesi, rafine gıda tüketiminin artması ve fiziksel aktivitenin azalması karbonhidratların metabolik sağlık üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini gerekli kılmıştır.

Karbonhidratlar kimyasal yapılarına göre monosakkaritler, disakkaritler ve polisakkaritler olarak sınıflandırılmakta ve sindirim sürecinde enzimatik reaksiyonlarla parçalanarak glukoza dönüştürülmektedir. Glukoz, hücresel düzeyde enerji üretiminde kullanılmakta, fazla miktarı ise glikojen veya yağ olarak depolanmaktadır. Bu süreçlerde glikoliz, sitrik asit döngüsü ve oksidatif fosforilasyon gibi biyokimyasal mekanizmalar önemli rol oynamaktadır.

Karbonhidrat metabolizması, başta insülin ve glukagon olmak üzere çeşitli hormonlar tarafından düzenlenmekte olup bu hormonal denge metabolik homeostaz açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca glisemik indeks ve glisemik yük kavramları, karbonhidratların metabolik etkilerinin değerlendirilmesinde önemli parametreler olarak kullanılmaktadır.

Bu derlemede karbonhidratların sınıflandırılması, sindirimi, metabolizması ve metabolik etkileri ayrıntılı olarak ele alınmış; ayrıca düşük karbonhidrat diyeti, ketojenik diyet ve aralıklı oruç gibi güncel beslenme yaklaşımlarının etkileri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak karbonhidrat tüketiminde yalnızca miktarın değil, aynı zamanda kalite, kaynak ve işlenme düzeyinin de metabolik sağlık üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Karbonhidrat, Metabolizma, Glisemik İndeks, Beslenme

ABSTRACT

Carbohydrates are one of the primary energy sources in human metabolism and play a crucial role in maintaining physiological functions. They are essential for glucose-dependent tissues such as the brain, red blood cells, and skeletal muscles. Modern dietary patterns, characterized by increased consumption of processed foods and reduced physical activity, have highlighted the importance of understanding the metabolic effects of carbohydrate intake.

Carbohydrates are classified as monosaccharides, disaccharides, and polysaccharides. During digestion, they are broken down into glucose and utilized for cellular energy production. Excess glucose is stored as glycogen or converted into fat. These processes involve metabolic pathways such as glycolysis, the citric acid cycle, and oxidative phosphorylation.

Carbohydrate metabolism is regulated by hormones including insulin and glucagon, which maintain metabolic homeostasis. Glycemic index and glycemic load are also important parameters in evaluating the metabolic effects of carbohydrates.

This review discusses carbohydrate classification, metabolism, and metabolic effects in detail. Additionally, current dietary approaches such as low-carbohydrate diets, ketogenic diets, and intermittent fasting are evaluated.

In conclusion, both the quantity and quality of carbohydrate intake are important determinants of metabolic health.

GİRİŞ

Karbonhidratlar, insan beslenmesinde temel enerji sağlayıcı makro besin öğelerinden biridir. Günlük enerji gereksiniminin önemli bir bölümü karbonhidratlardan karşılanmakta olup bu durum özellikle merkezi sinir sistemi açısından kritik öneme sahiptir. İnsan beyni enerji ihtiyacının büyük bir kısmını glukozdan sağlamaktadır ve bu nedenle karbonhidrat tüketimi fizyolojik süreçlerin devamlılığı için gereklidir.

Modern yaşam tarzı ile birlikte karbonhidrat tüketiminde önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Özellikle rafine karbonhidratların tüketimindeki artış, metabolik hastalıkların görülme sıklığında artışa neden olmuştur. Yüksek glisemik indeksli besinlerin aşırı tüketimi kan glukoz seviyelerinde ani dalgalanmalara yol açarak insülin direnci gelişimine katkıda bulunmaktadır.

Buna karşın, kompleks karbonhidratların ve diyet lifinin yeterli miktarda tüketilmesi metabolik sağlık üzerinde olumlu etkiler sağlamaktadır. Lifli besinler bağırsak sağlığını desteklemekte, tokluk hissini artırmakta ve glisemik kontrolü iyileştirmektedir.

YÖNTEM

Bu çalışma, karbonhidratların metabolik etkilerini değerlendirmek amacıyla hazırlanmış sistematik literatür derlemesi niteliğindedir. Çalışma kapsamında ulusal ve uluslararası düzeyde yayımlanmış bilimsel makaleler, derleme çalışmaları ve klinik araştırmalar incelenmiştir. Literatür taraması yapılırken özellikle son 20 yıl içerisinde yayımlanan güncel çalışmalar öncelikli olarak değerlendirilmiştir.

Araştırma sürecinde karbonhidrat metabolizması ile ilişkili temel başlıklar belirlenmiş ve bu başlıklar çerçevesinde veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda karbonhidratların kimyasal sınıflandırılması, sindirim ve emilim mekanizmaları, hücresel düzeyde metabolik yolakları (glikoliz, glikogenez, glikojenoliz ve glukoneogenez), hormonal düzenlenmesi ve metabolik hastalıklarla ilişkisi detaylı şekilde incelenmiştir.

Çalışmada ayrıca karbonhidrat kalitesini belirlemede kullanılan glisemik indeks (GI) ve glisemik yük (GY) kavramları ele alınmış, bu parametrelerin metabolik sağlık üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu amaçla farklı besinlerin glisemik indeks değerleri karşılaştırılmış ve bu değerlerin insülin yanıtı ile ilişkisi analiz edilmiştir.

Güncel beslenme yaklaşımlarının değerlendirilmesi amacıyla düşük karbonhidrat diyetleri, ketojenik beslenme modeli ve aralıklı oruç yöntemlerine ilişkin klinik çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların seçiminde, örneklem büyüklüğü, çalışma süresi ve metodolojik güvenilirlik gibi kriterler dikkate alınmıştır.

Verilerin analizinde karşılaştırmalı yorumlama yöntemi kullanılmıştır. Farklı çalışmaların bulguları karşılaştırılarak ortak eğilimler belirlenmiş ve çelişkili sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca metabolik süreçlerin daha iyi anlaşılması amacıyla biyokimyasal mekanizmalar açıklayıcı bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Bu çalışmanın temel sınırlılığı, deneysel veri üretimine dayanmaması ve mevcut literatür ile sınırlı olmasıdır. Ancak geniş kapsamlı kaynak taraması sayesinde karbonhidrat metabolizmasına ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunulmuştur.

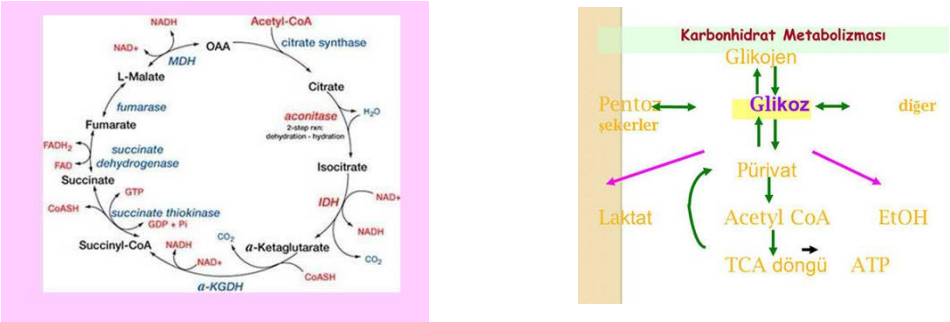
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Karbonhidrat metabolizması, insan vücudunda enerji üretimi ve metabolik dengenin sağlanmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Bu süreç, sindirimden başlayarak hücresel düzeyde enerji üretimine kadar uzanan çok aşamalı bir mekanizmayı kapsamaktadır. Elde edilen bulgular, karbonhidratların yalnızca enerji kaynağı olarak değil, aynı zamanda metabolik düzenleyici bir unsur olarak da önemli işlevlere sahip olduğunu göstermektedir.

Karbonhidratların sindirimi ağızda başlamakta ve ince bağırsakta tamamlanmaktadır. Tükürük amilazı ile başlayan parçalanma süreci, pankreatik enzimlerin etkisiyle daha küçük moleküllere ayrılma ile devam etmektedir. Son aşamada monosakkaritler bağırsak epitelinden emilerek dolaşıma katılmaktadır. Bu süreçte özellikle glukozun sodyum bağımlı taşıyıcılar aracılığıyla hücre içine alınması, metabolik süreçlerin başlangıç noktası olarak değerlendirilmektedir.

Elde edilen bulgular, karbonhidratların sindirim hızının metabolik yanıt üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Hızlı sindirilen basit karbonhidratlar, kan glukoz düzeyinde ani yükselmelere neden olurken, kompleks karbonhidratlar daha dengeli bir artış sağlamaktadır. Bu durum, insülin sekresyonu üzerinde doğrudan etkili olup uzun vadede metabolik sağlık açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır.



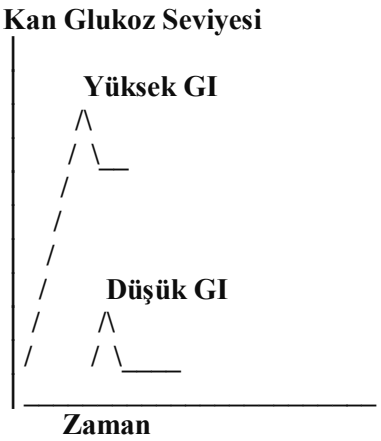
Şekil 1. Karbonhidrat Metabolizmasının Temel Aşamaları

Ağız
↓ (Tükürük amilazı)
Mide
↓
İnce Bağırsak
↓ (Pankreatik amilaz, disakkaridazlar)
Monosakkaritler (Glukoz, Fruktoz, Galaktoz)
↓
Kan Dolaşımı
↓
Hücre
↓
Glikoliz → Pirüvat
↓
(Sitrik Asit Döngüsü + ETS)
↓
ATP (Enerji)

Fazla Glukoz:
→ Glikojen (Karaciğer/Kas)
→ Yağ (Adipoz doku)

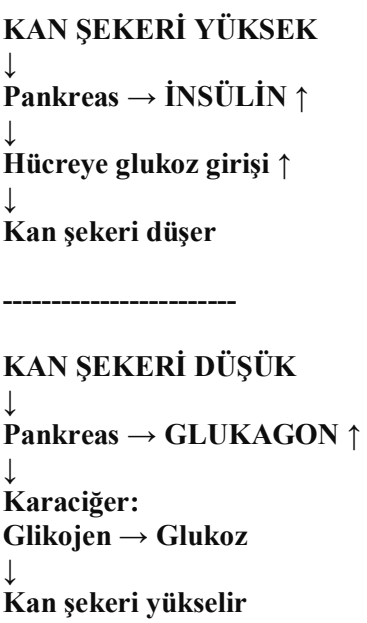
Karbonhidratların hücresel metabolizması glikoliz süreci ile başlamaktadır. Glikoliz sonucunda oluşan pirüvat, oksijen varlığında sitrik asit döngüsüne girerek ATP üretimini sağlamaktadır. Oksijen yetersizliğinde ise laktat oluşumu gerçekleşmektedir. Fazla glukoz ise glikojen olarak depolanmakta veya lipogenez yoluyla yağ asitlerine dönüştürülmektedir.
Yorum: Bu süreçler, enerji ihtiyacına bağlı olarak dinamik bir şekilde düzenlenmektedir. Metabolik esnekliğin bozulması, obezite ve diyabet gibi hastalıkların gelişiminde önemli rol oynamaktadır.

Karbonhidrat metabolizmasının hormonal kontrolü, metabolik dengenin korunmasında kritik öneme sahiptir. İnsülin, glukozun hücre içine alınmasını sağlayarak kan şekerini düşürürken; glukagon, karaciğerde glikojen yıkımını artırarak kan şekerini yükseltmektedir. Bu iki hormon arasındaki denge, metabolik homeostazın sağlanmasında temel mekanizma olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2. Glisemik İndeks ve İnsülin Yanıtı

Glisemik indeks, karbonhidrat içeren besinlerin kan şekerini yükseltme hızını ifade eden önemli bir parametredir. Yüksek glisemik indeksli besinlerin tüketimi, hızlı insülin yanıtına neden olurken, düşük glisemik indeksli besinler daha kontrollü bir hormonal yanıt oluşturmaktadır.
Yorum: Uzun süreli yüksek glisemik indeksli beslenme, pankreas üzerinde yük oluşturmakta ve insülin direnci gelişimine zemin hazırlamaktadır.
Karbonhidratların bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkileri de önemli bulgular arasında yer almaktadır. Özellikle diyet lifleri, bağırsakta fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin oluşumuna katkı sağlamaktadır. Bu bileşikler, inflamasyonun azaltılması ve bağırsak sağlığının korunmasında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 3. Karbonhidratların Bağırsak Mikrobiyotası Üzerindeki Etkisi

Lifli karbonhidratlar bağırsak bakterileri tarafından fermente edilerek bütirat, asetat ve propiyonat gibi kısa zincirli yağ asitlerine dönüştürülmektedir.
Yorum: Bu metabolitler, bağışıklık sistemi üzerinde düzenleyici etki göstermekte ve metabolik hastalık riskini azaltmaktadır.

KARBONHİDRATLARIN SINIFLANDIRILMASI

Karbonhidratlar kimyasal yapılarına göre üç ana gruba ayrılmaktadır:

- Monosakkaritler
- Disakkaritler
- Polisakkaritler

Monosakkaritler en basit yapıdaki karbonhidratlar olup doğrudan emilebilmektedir. Disakkaritler sindirim sırasında monosakkaritlere ayrılmakta, polisakkaritler ise daha kompleks yapıları nedeniyle daha uzun sürede sindirilmektedir.

Tablo 1. Karbonhidrat Türlerinin Metabolik Etkilerinin Karşılaştırılması

Karbonhidrat Türü	**Sindirim Hızı**	**İnsülin Yanıtı**	**Uzun Vadeli Etki**
Basit KH	Çok hızlı	Yüksek	Diyabet riski
Kompleks KH	Yavaş	Dengeli	Metabolik koruma
Lif	Sindirilmez	Yok	Bağırsak sağlığı

Araştırma bulguları, karbonhidrat tüketiminin metabolik sağlık üzerindeki etkilerinin yalnızca miktar ile açıklanamayacağını göstermektedir. Karbonhidratın türü, işlenme düzeyi ve tüketim şekli bu etkiler üzerinde belirleyici rol oynamaktadır.

Düşük karbonhidrat diyetlerinin kısa vadede kilo kaybı sağladığı, ancak uzun vadeli etkilerinin tartışmalı olduğu belirlenmiştir. Ketojenik diyetin bazı metabolik avantajlar sağladığı, ancak sürdürülebilirliğinin düşük olduğu görülmüştür. Aralıklı oruç ise insülin duyarlılığını artırma potansiyeli açısından dikkat çekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, karbonhidrat metabolizmasının çok boyutlu bir yapıya sahip olduğu ve bu yapının hem fizyolojik hem de patolojik süreçler üzerinde belirleyici olduğu görülmektedir. Elde edilen bulgular, dengeli ve kaliteli karbonhidrat tüketiminin metabolik sağlık açısından kritik öneme sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

KARBONHİDRAT METABOLİZMASI

Karbonhidrat metabolizması yalnızca enerji üretimi ile sınırlı olmayıp aynı zamanda metabolik esneklik ve homeostaz açısından da önemli bir rol oynamaktadır. Glukozun hücre içine alınması, insülin hormonunun etkisiyle gerçekleşmekte olup bu süreç özellikle kas ve yağ dokusunda belirgindir. İnsülin, hücre zarında bulunan glukoz taşıyıcı proteinlerin (GLUT) aktivasyonunu sağlayarak glukozun hücre içine girişini artırmaktadır.

Karaciğer, karbonhidrat metabolizmasının merkezinde yer almakta ve kan glukoz seviyesinin düzenlenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Karaciğerde glikojen sentezi ve yıkımı dengeli bir şekilde gerçekleşirken, gerektiğinde glukoneogenez yoluyla yeni glukoz üretimi sağlanmaktadır. Bu durum özellikle açlık ve uzun süreli egzersiz gibi durumlarda hayati önem taşımaktadır.

Kas dokusu ise enerji ihtiyacının yüksek olduğu durumlarda glikojen depolarını kullanarak hızlı bir şekilde ATP üretimi sağlamaktadır. Ancak kas dokusunda glukozun kana verilmesi mümkün olmadığından, bu süreç yalnızca lokal enerji ihtiyacının karşılanmasına yöneliktir.

GLİSEMİK İNDEKS VE GLİSEMİK YÜK

Glisemik indeks (GI), karbonhidrat içeren besinlerin kan glukoz seviyesini yükseltme hızını ifade eden bir ölçüttür. Yüksek glisemik indeksli besinler hızlı sindirilerek kan şekerinde ani yükselmelere neden olurken, düşük glisemik indeksli besinler daha yavaş sindirilmekte ve daha dengeli bir glukoz yanıtı oluşturmaktadır.

Glisemik yük (GL) ise yalnızca karbonhidratın kalitesini değil aynı zamanda miktarını da dikkate alarak daha kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Bu nedenle glisemik yük, diyet planlamasında daha güvenilir bir parametre olarak kabul edilmektedir.

Yüksek glisemik indeksli besinlerin uzun süreli tüketimi, insülin direnci gelişimi ve metabolik sendrom riskinin artışı ile ilişkilendirilmiştir. Buna karşılık düşük glisemik indeksli besinlerin tercih edilmesi, kan glukoz kontrolünü iyileştirmekte ve kronik hastalık riskini azaltmaktadır.

KARBONHİDRATLARIN HORMONAL DÜZENLENMESİ

Karbonhidrat metabolizmasının düzenlenmesinde insülin ve glukagon başta olmak üzere çeşitli hormonlar rol oynamaktadır. İnsülin, pankreasın beta hücrelerinden salgılanmakta ve kan glukoz seviyesini düşürücü etki göstermektedir. Hücre içine glukoz girişini artırmakta ve glikojen sentezini desteklemektedir.

Glukagon ise pankreasın alfa hücrelerinden salgılanmakta olup kan glukoz seviyesini artırıcı etki göstermektedir. Glikojen yıkımını ve glukoneogenezi teşvik ederek özellikle açlık durumlarında enerji dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır.

Bunun yanı sıra kortizol ve adrenalin gibi stres hormonları da karbonhidrat metabolizmasını etkileyerek kan glukoz seviyesinin artmasına neden olmaktadır. Bu hormonlar özellikle stres ve egzersiz sırasında enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rol oynamaktadır.

KARBONHİDRAT TÜKETİMİNİN METABOLİK ETKİLERİ

Karbonhidrat tüketiminin metabolik etkileri, tüketilen karbonhidratın türü, miktarı ve işlenme düzeyine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Basit karbonhidratların aşırı tüketimi, kan glukoz seviyelerinde ani yükselmelere ve insülin yanıtında artışa neden olmaktadır. Bu durum uzun vadede insülin direnci gelişimine zemin hazırlamaktadır.

Kompleks karbonhidratlar ise daha yavaş sindirilmekte ve daha dengeli bir enerji salınımı sağlamaktadır. Bu durum tokluk hissinin artmasına ve enerji dengesinin korunmasına katkı sağlamaktadır.

Diyet lifi, karbonhidratların önemli bir bileşeni olup sindirilememesine rağmen bağırsak sağlığı üzerinde önemli etkiler göstermektedir. Lifli besinler bağırsak hareketlerini düzenlemekte, mikrobiyota dengesini desteklemekte ve metabolik hastalık riskini azaltmaktadır.

GÜNCEL BESLENME YAKLAŞIMLARI

Düşük Karbonhidrat Diyeti

Düşük karbonhidrat diyeti, karbonhidrat alımının azaltıldığı ve protein ile yağ tüketiminin artırıldığı bir beslenme modelidir. Bu diyet genellikle kilo kaybı ve kan glukoz kontrolünün sağlanması amacıyla uygulanmaktadır.

Ketojenik Diyet

Ketojenik diyet, karbonhidrat alımının ciddi şekilde sınırlandığı ve vücudun enerji kaynağı olarak yağları kullanmaya yönlendirildiği bir beslenme modelidir. Bu diyet, keton cisimlerinin üretimini artırarak enerji ihtiyacının karşılanmasını sağlamaktadır.

Aralıklı Oruç

Aralıklı oruç, belirli zaman dilimlerinde beslenmeyi sınırlayan bir yaklaşımdır. Bu yöntem metabolik esnekliği artırmakta ve insülin duyarlılığını iyileştirebilmektedir.

KARBONHİDRATLAR VE KRONİK HASTALIKLAR

Karbonhidrat tüketiminin türü ve miktarı, birçok kronik hastalığın gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle rafine karbonhidratların ve yüksek şeker içeren besinlerin aşırı tüketimi, obezite, Tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar ile güçlü bir şekilde ilişkilendirilmiştir. Bu tür besinler genellikle yüksek enerji içeriğine sahip olup düşük besin değeri sunmakta ve aşırı tüketim durumunda enerji dengesinin bozulmasına neden olmaktadır.

Obezite, enerji alımı ile enerji harcaması arasındaki dengesizlik sonucu ortaya çıkan kompleks bir hastalıktır. Yüksek glisemik indeksli karbonhidratların tüketimi, insülin seviyelerinde artışa neden olarak yağ depolanmasını teşvik edebilmektedir. Bu durum uzun vadede kilo artışı ve metabolik bozukluklara yol açabilmektedir.

Tip 2 diyabet, insülin direnci ve pankreatik beta hücre fonksiyon bozukluğu ile karakterize kronik bir hastalıktır.

Yüksek karbonhidrat tüketimi, özellikle rafine karbonhidratların aşırı alımı, kan glukoz seviyelerinde sürekli yükselmelere neden olarak pankreas üzerinde yük oluşturmakta ve diyabet gelişimini hızlandırabilmektedir.
Kardiyovasküler hastalıklar açısından değerlendirildiğinde, yüksek şeker tüketiminin lipid profilini olumsuz etkilediği, trigliserid seviyelerini artırdığı ve HDL kolesterol düzeylerini düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum ateroskleroz gelişimi açısından risk oluşturmaktadır.
Buna karşılık, kompleks karbonhidratlar ve lif açısından zengin besinlerin tüketimi, kronik hastalık riskini azaltıcı etki göstermektedir. Diyet lifinin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumlu etkileri, inflamasyonun azaltılmasına ve metabolik sağlığın korunmasına katkı sağlamaktadır.

KARBONHİDRATLARIN BAĞIRSAK MİKROBİYOTASI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Son yıllarda yapılan çalışmalar, karbonhidratların bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkilerinin oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle diyet lifleri ve kompleks karbonhidratlar, bağırsak bakterileri tarafından fermente edilerek kısa zincirli yağ asitlerinin (SCFA) oluşumunu sağlamaktadır.
Bu yağ asitleri bağırsak sağlığını desteklemekte, inflamasyonu azaltmakta ve bağışıklık sisteminin düzenlenmesine katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda bağırsak bariyer fonksiyonunun korunmasına yardımcı olmakta ve metabolik hastalıklara karşı koruyucu etki göstermektedir.
Buna karşın, rafine karbonhidratların ve düşük lifli beslenmenin bağırsak mikrobiyotasını olumsuz etkilediği ve disbiyozise yol açabileceği bildirilmektedir. Bu durum inflamatuar hastalıkların gelişiminde önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.

KARBONHİDRATLAR VE FİZİKSEL PERFORMANS

Karbonhidratlar, özellikle sporcular için önemli bir enerji kaynağıdır. Egzersiz sırasında kas glikojen depoları enerji üretiminde kullanılmakta ve bu depoların yeterli düzeyde olması performans açısından büyük önem taşımaktadır.
Uzun süreli ve yüksek yoğunluklu egzersizlerde karbonhidrat tüketimi, performansın korunmasına ve yorgunluğun geciktirilmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedenle sporcuların diyetlerinde yeterli miktarda karbonhidrat bulunması önerilmektedir.
Ayrıca egzersiz sonrası karbonhidrat tüketimi, glikojen depolarının yeniden doldurulmasına katkı sağlayarak toparlanma sürecini hızlandırmaktadır.

KARBONHİDRATLARIN METABOLİK ESNEKLİK ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Metabolik esneklik, organizmanın farklı enerji kaynaklarını kullanabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Sağlıklı bireylerde vücut, karbonhidrat ve yağ metabolizması arasında kolayca geçiş yapabilmektedir.
Ancak insülin direnci gibi durumlarda bu esneklik azalmakta ve enerji metabolizmasında bozulmalar meydana gelmektedir. Dengeli karbonhidrat tüketimi, metabolik esnekliğin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır.

SONUÇ

Karbonhidratlar, insan metabolizmasının temel enerji kaynaklarından biri olarak yaşamın sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir role sahiptir. Özellikle merkezi sinir sistemi ve kas dokusu gibi glukoza bağımlı organ ve dokuların enerji gereksiniminin karşılanmasında kritik bir işlev üstlenmektedir. Bununla birlikte, karbonhidratların metabolik etkileri yalnızca enerji üretimi ile sınırlı olmayıp hormonal denge, metabolik esneklik, bağırsak sağlığı ve kronik hastalıkların gelişimi gibi birçok fizyolojik süreç üzerinde belirleyici olmaktadır.
Bu derleme kapsamında elde edilen bulgular, karbonhidrat tüketiminin miktarından ziyade türü, kalitesi ve işlenme düzeyinin metabolik sağlık açısından daha önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle rafine karbonhidratların ve yüksek glisemik indeksli besinlerin aşırı tüketiminin, kan glukoz düzeyinde ani dalgalanmalara yol açarak insülin direnci gelişimini tetiklediği ve uzun vadede obezite, Tip 2 diyabet ve kardiyovasküler hastalıklar gibi kronik hastalıkların riskini artırdığı görülmektedir.
Buna karşılık, kompleks karbonhidratlar ve diyet lifinden zengin beslenme modellerinin metabolik sağlık üzerinde koruyucu etkiler sağladığı açıkça ortaya konmuştur.

Lifli besinlerin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki olumlu etkileri, inflamasyonun azaltılması ve bağışıklık sisteminin desteklenmesi açısından önem taşımaktadır. Ayrıca düşük glisemik indeksli besinlerin tercih edilmesi, kan glukozunun daha stabil seyretmesini sağlayarak metabolik kontrolün iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

Günümüzde popüler olan düşük karbonhidrat diyeti, ketojenik diyet ve aralıklı oruç gibi beslenme yaklaşımları kısa vadede bazı metabolik iyileşmeler sağlayabilmektedir. Ancak bu diyetlerin uzun vadeli sürdürülebilirliği ve olası yan etkileri dikkate alınmalı, bireysel gereksinimler doğrultusunda değerlendirilmelidir. Bu nedenle tek tip diyet yaklaşımlarından ziyade, bireye özgü, dengeli ve sürdürülebilir beslenme modellerinin benimsenmesi daha uygun bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

Karbonhidratların metabolik etkileri değerlendirildiğinde, beslenme planlamasında yalnızca makro besin dağılımına odaklanmanın yeterli olmadığı, aynı zamanda besin kalitesinin ve diyet örüntüsünün de dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bağlamda tam tahıllar, sebzeler, meyveler ve baklagiller gibi doğal ve işlenmemiş karbonhidrat kaynaklarının tercih edilmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak, karbonhidratlar sağlıklı bir diyetin önemli bir bileşeni olmaya devam etmekte olup, bilinçli ve dengeli tüketimleri metabolik sağlığın korunmasında anahtar rol oynamaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların, farklı karbonhidrat türlerinin uzun vadeli etkilerini daha ayrıntılı olarak incelemesi ve bireysel beslenme yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

KAYNAKÇA

American Diabetes Association. (2024). *Standards of medical care in diabetes—2024*. Diabetes Care.
Astrup, A., Meinert Larsen, T., & Harper, A. (2004). Low-fat diets and energy balance. *International Journal of Obesity*.
Brouns, F., et al. (2005). Glycaemic index methodology. *Nutrition Research Reviews*.
Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*.
Cani, P. D., & Delzenne, N. M. (2009). Gut microbiota and metabolic disorders. *Current Opinion in Clinical Nutrition*.
Cordain, L., et al. (2005). Origins and evolution of the Western diet. *American Journal of Clinical Nutrition*.
FAO. (2022). *Carbohydrates in human nutrition*. Food and Agriculture Organization.
Feinman, R. D., et al. (2015). Dietary carbohydrate restriction as the first approach in diabetes management. *Nutrition*.
Flint, H. J., Scott, K. P., Duncan, S. H., Louis, P., & Forano, E. (2012). Microbial degradation of complex carbohydrates. *Gut Microbes*.
Gibson, G. R., & Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of gut microbiota. *Journal of Nutrition*.
Goodpaster, B. H., & Sparks, L. M. (2017). Metabolic flexibility in health and disease. *Cell Metabolism*.
Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2021). *Textbook of medical physiology*. Elsevier.
Hall, K. D., & Guo, J. (2017). Obesity energetics. *Gastroenterology*.
Hu, F. B. (2013). Dietary patterns and chronic disease. *New England Journal of Medicine*.
Jenkins, D. J. A., et al. (2024). Glycemic index and metabolic health. *American Journal of Clinical Nutrition*.
Keys, A. (1970). Coronary heart disease and diet. *Circulation*.
Ludwig, D. S., & Ebbeling, C. B. (2018). Carbohydrate-insulin model. *JAMA Internal Medicine*.
Lustig, R. H. (2013). Fructose and metabolic disease. *Nature Reviews Endocrinology*.
Mann, J., et al. (2007). FAO/WHO carbohydrate report. *European Journal of Clinical Nutrition*.
Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger principles of biochemistry*.
Paoli, A., Rubini, A., Volek, J. S., & Grimaldi, K. A. (2013). Ketogenic diet. *European Journal of Clinical Nutrition*.
Patterson, R. E., & Sears, D. D. (2017). Intermittent fasting. *Annual Review of Nutrition*.
Slavin, J. (2013). Dietary fiber and body weight. *Nutrients*.
Swinburn, B. A., et al. (2011). Global obesity pandemic. *Lancet*.
Willett, W. C. (2012). Nutritional epidemiology. Oxford University Press.
World Health Organization. (2023). *Guideline on carbohydrate intake*.
Zhang, C., et al. (2015). Gut microbiota and metabolic disorders. *Nature*.

RECURRENT PREGNANCY LOSS ASSOCIATED WITH ROBERTSONIAN TRANSLOCATION ROB(14;21): A CASE REPORT

Aytakin HASANOVA PhD
Azerbaijan Medical University, Department of Medical biology and genetics, Assoc. Prof.
ORCID ID: 0009-0002-9784-4391

Naila MEMMEDOVA
Azerbaijan Medical University, Department of Medical biology and genetics, teacher
ORCID ID: 0009-0004-4871-1394

ABSTRACT
Structural chromosomal abnormalities play a significant role in reproductive failure and congenital disorders. Among them, Robertsonian translocations are relatively common rearrangements involving the fusion of the long arms of two acrocentric chromosomes. Carriers of balanced Robertsonian translocations are usually phenotypically normal but have an increased risk of infertility, recurrent pregnancy loss, and the possibility of conceiving offspring with chromosomal abnormalities such as trisomy.
In this report, we describe a case of a 29-year-old woman who was referred to a genetic clinic due to a history of recurrent miscarriages. The patient had experienced three consecutive spontaneous abortions during the first trimester of pregnancy. Routine clinical examinations revealed no apparent anatomical or hormonal abnormalities that could explain the recurrent pregnancy loss. Therefore, cytogenetic analysis was performed to investigate a possible chromosomal cause.
Conventional karyotyping revealed a balanced Robertsonian translocation between chromosomes 14 and 21, described as rob(14;21)(q10;q10). This chromosomal rearrangement is clinically significant because it is associated with an increased risk of producing gametes that may lead to trisomy 21, the chromosomal condition responsible for Down syndrome. Subsequent family studies indicated that the translocation was inherited from the patient's father, who was an asymptomatic carrier.
This case highlights the critical role of cytogenetic testing in the evaluation of couples experiencing recurrent pregnancy loss. Early identification of balanced chromosomal translocations can provide valuable information regarding reproductive risks and possible outcomes in future pregnancies. Genetic counseling is essential for carriers of Robertsonian translocations to help them understand their reproductive options, including prenatal diagnosis, preimplantation genetic testing, and assisted reproductive technologies.
Keywords: genetic counseling, cytogenetic analysis, primary amenorrhea, acrocentric, robertsonian translation

NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL SIGNIFICANCE OF LYSOZYME AS A NATURAL ANTIMICROBIAL ADDITIVE IN POULTRY PRODUCTION SYSTEMS

Sababa FATIMA
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Afyon Kocatepe University, 03204 Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0009-0006-0021-8730

Prof. Dr. İsmail BAYRAM
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine, Afyon Kocatepe University, 03204 Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5090-7474

ABSTRACT
Lysozyme, a naturally occurring antimicrobial enzyme present in egg white, milk, and other secretions, is gaining popularity as a functional feed ingredient in poultry nutrition due to restrictions on antibiotic growth promoters and global need for sustainable production. The molecular characteristics, mode of action, and nutritional uses of lysozyme in poultry diets are summarized in this article. Lysozyme targets Gram-positive bacteria and modifies intestinal microbial balance by hydrolyzing β-1,4 glycosidic linkages in peptidoglycan, which is the main way it exhibits bacteriolytic activity. Recent research shows that when broilers and laying hens are given dietary supplements, their growth performance, feed efficiency, gut condition, immunological responses, and antioxidant status all improve. More importantly, lysozyme has been demonstrated to improve the integrity of the intestinal barrier, decrease pathogenic colonization, and lessen inflammatory reactions, all of which improve nutrient utilization and overall health. The review also assesses variables that affect efficacy, such as bird age, diet composition, stability, dosage, and source. Comparisons with traditional antibiotics and substitute additives demonstrate lysozyme's promise as a biologically acceptable and safe method of boosting production while encouraging antimicrobial use. Variability in research findings suggests the need for standardized protocols, long-term trials, and cost-benefit evaluations under commercial conditions, regardless of encouraging results. All things considered, lysozyme is an effectively applicable and scientifically validated supplement with substantial potential to promote sustainable poultry nutrition and health management.Future studies should concentrate on synergistic effects with probiotics or enzymes, molecular interactions with gut flora, and optimal delivery mechanisms to maximize stability and bioavailability in real-world poultry feeding strategies around the globe.
Keywords: Lysozyme; poultry nutrition; antimicrobial enzymes; gut microbiota; growth performance; antibiotic alternatives.

INTRODUCTION
Antibiotic growth promoters (AGPs) have long been used in poultry production to improve feed efficiency, increase growth performance, and limit disease incidence (Abd El-Aziz et al., 2026). However, a number of countries now have strict regulations and prohibitions on the use of antibiotics due to the rise of antimicrobial resistance and increasing concerns about food safety. As a result, there is a greater demand for sustainable, safe, and natural substitutes that can preserve productivity while protecting public and animal health (Abd El-Aziz et al., 2026; Ferraboschi et al., 2021).Lysozyme is one of the possible substitutes that has attracted a lot of interest because of its many biological functions. Lysozyme is an antibacterial enzyme with a low molecular weight (~14 kDa) that is extensively found in nature, especially in egg whites, tears, saliva, and other secretions (Ferraboschi et al., 2021; Ercan & Demirci, 2016).By hydrolyzing β-1,4-glycosidic linkages between N-acetylmuramic acid and N-acetylglucosamine in bacterial cell walls, it contributes significantly to innate immunity by causing bacterial lysis (Khorshidian et al., 2022; Oliver & Wells, 2015). There are several types of lysozyme, such as c-type, g-type, and i-type, all of which support host defense systems (Ferraboschi et al., 2021). Furthermore, biotechnology advancements have made it possible to produce modified and recombinant lysozyme with increased antibacterial action, especially against Gram-negative bacteria (Yang & Yan, 2025).

Beyond its antibacterial activity, lysozyme has biological relevance (Leśnierowski et al., 2012). It is a useful functional feed additive due to its immunomodulatory, antioxidant, and anti-inflammatory qualities (Abd El-Aziz et al., 2026; Zantioti & Malandrakis, 2026). Dietary lysozyme supplementation has been shown in numerous trials to enhance poultry growth performance, feed conversion ratio (FCR), and carcass characteristics. For instance, supplementing dosages between 50 and 150 mg/kg greatly increased broiler feed efficiency and body weight gain (Ashmawy, 2024; El-Ratel et al., 2024). Similarly, 60 mg/kg of recombinant lysozyme enhanced growth performance and food consumption while regulating immunological responses (Tian et al., 2024). Lysozyme has been shown to boost egg production, quality, and reproductive performance in laying hens and quails without having any negative side effects (Sindaye et al., 2023; Elkhaiat et al., 2025a).Lysozyme's capacity to alter gut health and microbiota composition is one of the main factors contributing to its efficacy in poultry nutrition. Research frequently shows increases in good bacteria like Lactobacillus spp. and decreases in harmful bacteria like Salmonella, Clostridium perfringens, and Escherichia coli. (Liu et al., 2010; Hassan et al., 2023; Abdel-Latif et al., 2017). Additionally, by raising villus height and enhancing the villus height-to-crypt depth ratio, lysozyme improves intestinal shape and facilitates nutrient absorption (Chen et al., 2025; Abdel-Latif et al., 2024). By increasing tight junction proteins and controlling immune-related gene expression, it also improves intestinal barrier function (Chen et al., 2025; Bastamy et al., 2024).
Lysozyme has been shown to increase growth performance, antioxidant status, and microbial balance not only in poultry but also in rabbits and pigs (Abu Hafsa et al., 2022; Wu et al., 2025; El-Deep et al., 2021). Additionally, by decreasing intestinal lesions and boosting immune responses, lysozyme has demonstrated protective effects under disease challenges, such as E. coli infection and necrotic enteritis (Hassan et al., 2023; Du & Guo, 2021).The effects of lysozyme supplementation on poultry growth performance, gut health, immunological response, antibacterial activity, and antioxidant status are compiled in Table 1. Lysozyme reduced pathogenic microorganisms and strengthened antioxidant defenses while reliably improving body weight gain, feed conversion ratio, intestinal morphology, and immunological function across investigations.There are still significant discrepancies in spite of these encouraging results. For example, lysozyme affects microbial activity and metabolic processes, although it may not have a substantial impact on growth performance in low microbial challenge settings (Gong et al., 2017; Xia et al., 2019). Its effectiveness can also be impacted by elements like dosage, source, and environmental circumstances.Consequently, a thorough assessment of lysozyme as a feed addition in poultry production is obviously necessary. In addition to identifying current research gaps concerning long-term safety, economic viability, and synergistic effects with other feed additives, this study attempts to consolidate findings from several studies, elucidate its methods of action, and determine the most effective inclusion levels.

ANTIMICROBIAL MECHANISMS AND FUNCTIONAL PROPERTIES

An essential component of innate immunity, lysozyme is a naturally occurring antimicrobial enzyme that has drawn a lot of interest as a useful feed addition in animal production systems. According to Ferraboschi et al. (2021) and Ercan & Demirci (2016), it is a low-molecular-weight (~14 kDa) cationic protein that is extensively present in biological secretions including egg white, saliva, and mucus, where it serves as the first line of defense against invasive pathogens. Its main antibacterial mechanism is the hydrolysis of β-1,4-glycosidic linkages between N-acetylglucosamine and N-acetylmuramic acid in the peptidoglycan layer of bacterial cell walls, which causes cell lysis, especially in Gram-positive bacteria (Khorshidian et al., 2022).An increasing amount of research suggests that lysozyme has broader antimicrobial effects through membrane instability and electrostatic interactions in addition to this traditional enzymatic activity. Even in Gram-negative bacteria, its positively charged nature permits attachment to negatively charged bacterial membranes, increasing permeability and ultimately causing cell death when structural changes increase its hydrophobicity (Yang & Yan, 2025). By increasing membrane disruption, modified or heat-treated lysozyme isoforms further increase bactericidal efficacy, underscoring the significance of physicochemical characteristics like charge, flexibility, and hydrophobicity in antimicrobial activity.These methods result in a substantial modification of the gut microbial ecology in practical animal nutrition (Masschalck et al., 2003).

Numerous in vivo investigations consistently show that dietary lysozyme promotes beneficial microbiota, such as Lactobacillus spp., while reducing harmful bacterial populations, such as Escherichia coli, Salmonella, and Clostridium perfringens (El-Ratel et al., 2024; Ashmawy, 2024; Abdel-Latif et al., 2017). El-Ratel et al. (2024) found that broilers treated with 50 mg/kg lysozyme had enhanced immunological indicators and significant decreases in intestinal pathogens and overall bacterial counts.

Liu et al. (2010) showed that lysozyme supplementation improved gut barrier function by successfully preventing C. perfringens colonization and lowering the severity of intestinal lesions.Lysozyme's antibacterial properties are more noticeable in pathogenic or stressful environments. According to Hassan et al. (2023), lysozyme supplementation (50–100 mg/kg) improved intestinal morphology, decreased pathogen load, and boosted immunological and antioxidant responses, all of which mitigated the detrimental consequences of E. coli infection. Similarly, Gong et al. (2017) found that lysozyme decreased ileal E. coli levels even when growth performance was not significantly impacted under clean conditions, indicating its function as a protective rather than strictly growth-promoting agent. Lysozyme affects both composition and functional activity at the microbial community level. Some studies showed increased microbial richness and beneficial taxonomic abundance, such as Lactobacillus, Blautia, and Romboutsia (Chen et al., 2025; Wang et al., 2025), whereas others found only slight changes in microbial diversity (Xia et al., 2019).

Increased production of short-chain fatty acids (SCFAs), especially butyrate and propionate, which support better gut health and energy metabolism, frequently coincides with these changes. Similar patterns have been shown in rabbits, where better caecal fermentation and volatile fatty acid synthesis are accompanied with higher beneficial bacteria and lower pathogenic counts (Abu Hafsa et al., 2022; El-Deep et al., 2021).In addition to its antibacterial actions, lysozyme has potent immunomodulatory and anti-inflammatory qualities.By decreasing pro-inflammatory mediators like TNF-α and IL-1β and increasing anti-inflammatory and immune-related markers like IL-10, IFN-γ, and immunoglobulins, it controls the production of cytokines (Tian et al., 2024; Abdel-Latif et al., 2024; Bastamy et al., 2024).This dual action enhances resistance to infections and supports immunological homeostasis. Additionally, lysozyme improves antioxidant defense systems by boosting the activity of enzymes including glutathione peroxidase (GPx) and superoxide dismutase (SOD), which lowers oxidative stress (Wang et al., 2025; Wu et al., 2025).In addition, lysozyme's antimicrobial actions go beyond straightforward bacteriolysis to encompass immunological regulation, membrane disruption, microbiota modulation, and metabolic improvement. Its versatile qualities account for its efficacy as a long-term substitute for antibiotics in poultry, rabbits, and other livestock systems, promoting animal well-being and productivity(Abd El-Aziz et al., 2026; Oliver & Wells, 2015).

EFFECTS ON GROWTH PERFORMANCE AND PRODUCTIVITY

A significant amount of research has been done on lysozyme dietary supplementation as a natural substitute for antibiotic growth promoters. The results show that lysozyme supplementation improves growth performance and productivity in both poultry and rabbit production systems. Because lysozyme has antibacterial, immunomodulatory, and gut health-promoting qualities, interest in it has increased due to the increasing restrictions on antibiotics (Abd El-Aziz et al., 2026; Ferraboschi et al., 2021). Although responses may differ according on dose, animal species, and environmental conditions, most studies find benefits in body weight gain, feed conversion ratio (FCR), and production efficiency.Many studies consistently demonstrate that lysozyme improves growth performance in broiler chicks. According to El-Ratel et al. (2024), supplementing with 50 mg/kg egg lysozyme improved FCR and carcass yield while dramatically increasing final body weight, weight gain, and dressing percentage. Similarly, Tian et al. (2024) showed that 60 mg/kg of recombinant human lysozyme enhanced feed efficiency and average daily growth, emphasizing its function in nutrient utilization. Ashmawy (2024) similarly reported positive results, with 100–150 mg/kg lysozyme improving productivity indicators, protein digestibility, and body weight gain on par with antibiotic treatment.

According to Abdel-Latif et al. (2017, 2024), lysozyme can successfully replace traditional antibiotics due to improved growth rate, FCR, and European production efficiency factor.There has also been investigation on higher levels of inclusiveness. While Wang et al. (2025) demonstrated better metabolic and antioxidant status supporting performance, Chen et al. (2025) found that 250 mg/kg lysozyme

significantly enhanced body weight, feed efficiency, and intestinal morphology. Furthermore, when lysozyme was given via water and spray, Bastamy et al. (2024) demonstrated increased FCR and production efficiency, suggesting flexibility in delivery techniques. Lysozyme is even more important in disease-challenged situations; Hassan et al. (2023) showed that supplementation (50–100 mg/kg) improved growth performance and lessened the pathological effects of infection. Similarly, during the necrotic enteritis challenge, improved FCR, decreased mortality, and improved intestinal integrity were demonstrated by Liu et al. (2010) and Du and Guo (2021). However, neither every investigation revealed significant growth responses. Growth performance under clean or non-stress conditions showed little to no improvement, according to Gong et al. (2017) and Xia et al. (2019), indicating that lysozyme's advantages are more noticeable under microbial or environmental obstacles than under ideal rearing conditions.In broilers grown under minimal microbial pressure, Gong et al. (2017) found no apparent growth improvement, suggesting that the growth-promoting effects of lysozyme may be dependent on pathogen load or stress. This is consistent with results from challenge experiments, where lysozyme considerably enhanced performance when ill (Hassan et al., 2023).Lysozyme treatment (200–300 mg/kg) increased egg production and decreased faulty eggs in laying hens without lowering egg quality (Sindaye et al., 2023). Lysozyme also improved growth and egg production in quails, although responses differed between genetic lines (Elkhaiat et al., 2025a), indicating genotype-dependent efficacy.Lysozyme frequently yields similar results when compared to antibiotics.

According to Abdel-Latif et al. (2024), lysozyme and avilamycin treatments performed similarly in terms of growth, while lysozyme demonstrated better immunological responses. This implies that lysozyme might offer physiological advantages that go beyond growth stimulation.Although lysozyme regularly increases production, its efficacy depends on species differences, environmental factors, and dosage, that signals for optimal feeding techniques.While Xu et al. (2026) reported increased egg weight and improved metabolic efficiency in laying quails, Sindaye et al. (2023) showed improved laying rate and reduced defective eggs at 200–300 mg/kg without negative effects on egg quality. In Japanese quail, Elkhaiat et al. (2025a, 2025b) showed enhanced body weight, feed efficiency, egg production, and hatchability, with responses influenced by dose and genetic background.Lysozyme supplementation has consistently improved growth and feed utilization in rabbit production. At inclusion levels of 50–150 mg/kg, Abu Hafsa et al. (2022) demonstrated improved body weight, daily growth, FCR, and nutritional digestibility. Similarly, El-Deep et al. (2021) discovered better growth performance in comparison to groups treated with antibiotics, demonstrating lysozyme's effectiveness as a substitute for traditional growth promoters. These results are supported by additional research on a variety of species. Oliver and Wells (2015) reported similar growth-promoting effects in pigs, while Khalil et al. (2020) showed improved body weight and FCR with lysozyme supplementation. Improved nutrient digestibility, decreased pathogenic load, improved gut health, and immunological and metabolic function modulation are all major contributors to these gains.Most of the information that is currently available suggests that supplementing poultry and rabbits with lysozyme (usually 50–200 mg/kg) enhances their productivity, feed efficiency, and growth performance. Lysozyme routinely shows equivalent performance to antibiotics, supporting its position as a safe and sustainable feed additive in contemporary animal production systems, even if responses may vary depending on environmental and management factors.

IMMUNOMODULATORY AND ANTIOXIDANT EFFECTS

Lysozyme is a useful functional feed ingredient in poultry and rabbit production systems because of its strong immunomodulatory and antioxidant properties. By controlling immune cell activity, cytokine production, and oxidative balance, lysozyme a naturally occurring antimicrobial enzyme implicated in innate immunity improves host defensive mechanisms (Abd El-Aziz et al., 2026; Ferraboschi et al., 2021). Its main mechanisms of action include bacterial cell wall hydrolysis, gut microbiota modification, and immune-related signaling pathway activation, all of which enhance oxidative stability and systemic immunity (Khorshidian et al., 2022; Oliver & Wells, 2015).Dietary lysozyme has been shown in numerous experiments to improve cellular and humoral immune responses. El-Ratel et al. (2024) found lower heterophil-to-lymphocyte ratios and higher lymphocyte numbers, serum globulins, and cytokines including interleukin-2 (IL-2) and interferon-gamma (IFN-γ), all of which indicate better immunological state. In the same way, Bastamy et al. (2024) confirmed promotion of both innate and adaptive immunity by seeing increased phagocytic activity, opsonic index, and greater antibody titers against avian

influenza and Newcastle disease. In broilers treated with lysozyme, upregulation of immune-related genes, such as IFN-γ, IL-10, and IL-18, has also been observed, underscoring its function in controlling immune gene expression (Abdel-Latif et al., 2017, 2024). By balancing pro- and anti-inflammatory cytokines, lysozyme also controls inflammatory reactions. At optimal supplementation levels, Tian et al. (2024) found decreased serum levels of IFN-γ and tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), suggesting anti-inflammatory effects.

Wang et al. (2025) showed reduced TNF-α and IL-1β and elevated IL-10, suggesting reduction of excessive inflammation. In accordance with this, Bastamy et al. (2024) discovered lower levels of CXCL8 and IL-1β, which supports lysozyme's anti-inflammatory function.Lysozyme improves barrier integrity and mucosal immunity at the gut level. Increased immunoglobulins (IgA, IgM, and IgY) and immunological signaling pathways such TLR4/NF-κB/NLRP3, which are critical for pathogen detection and immune activation, were observed by Chen et al. (2025). Furthermore, enhanced beneficial bacteria populations and better gut architecture indirectly support immunological enhancement (Ashmawy, 2024; Liu et al., 2010). In E. Coli-infected broilers (Hassan et al., 2023) and necrotic enteritis models (Du & Guo, 2021), lysozyme supplementation dramatically restored immunological competence and decreased pathological damage under disease challenge circumstances.

By strengthening natural antioxidant defense systems, lysozyme demonstrates potent antioxidant qualities beyond immunomodulation (Wu et al., 2025). Numerous studies have found decreased levels of malondialdehyde (MDA), a sign of lipid peroxidation, and elevated levels of important antioxidant enzymes like superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GPx), and catalase (CAT) (El-Ratel et al., 2024; Chen et al., 2025; Wang et al., 2025). Abdel-Latif et al. (2017) confirmed molecular-level antioxidant benefits by showing overexpression of antioxidant-related genes, such as SOD1 and GSH-Px.All species have shown comparable increases in antioxidant capacity.Lysozyme treatment reduced oxidative stress indicators in rabbits while increasing overall antioxidant capacity, SOD, CAT, and glutathione S-transferase (Abu Hafsa et al., 2022; El-Deep et al., 2021).Lysozyme increased antioxidant enzyme activity and altered oxidative stress-related gene expression in Japanese quail (Elkhaiat et al., 2025a). Additionally, research on piglets shows that lysozyme triggers the Nrf2 signaling pathway, which enhances hepatic antioxidant defense and metabolic control (Wu et al., 2025). According to recent research, lysozyme also reduces lipid peroxidation and endoplasmic reticulum stress, which enhances oxidative stability (Xu et al., 2026).However, other research suggests that microbial burden and environmental factors may influence immune responses. For instance, under non-challenged situations, Gong et al. (2017) and Xia et al. (2019) showed limited impacts on immunological measures, indicating that lysozyme's benefits are more noticeable under stress or disease exposure.Through the regulation of cytokines, immunoglobulins, gene expression, and oxidative defense mechanisms, dietary lysozyme continuously improves immunological competence and antioxidant capacity.

EFFECTS ON GUT HEALTH AND MICROBIOTA

Due to its significant impact on intestinal integrity, gut health, and microbial ecology in rabbits and poultry, lysozyme has drawn a lot of interest as a natural substitute for antibiotic growth promoters. Its main mechanism is the hydrolysis of β-1,4-glycosidic bonds in bacterial cell walls, which causes harmful bacteria to lyse and modifies the balance of intestinal microbes (Xia et al., 2019; Ferraboschi et al., 2021; Khorshidian et al., 2022). Lysozyme's immunomodulatory qualities and antibacterial action allow it to preserve gut homeostasis and enhance nutrition consumption (Abd El-Aziz et al., 2026; Oliver & Wells, 2015).The decrease of harmful bacteria including Salmonella, Escherichia coli, and Clostridium perfringens after lysozyme supplementation is a consistent finding across studies.El-Ratel et al. (2024) found that broilers given lysozyme had significantly lower levels of E. coli, Salmonella, Proteus, and total bacterial count.In a similar vein, Gong et al. (2017) found lower ileal E. coli numbers, especially in difficult environmental circumstances. Lysozyme successfully reduces pathogen colonization in disease models; Liu et al. (2010) showed better intestinal barrier function and decreased colonization of C. perfringens, while Hassan et al. (2023) reported restoration of gut microbial balance and morphology in broilers infected with E. coli. Du and Guo (2021) also reported similar protective benefits against necrotic enteritis, where lysozyme decreased bacterial translocation and intestinal lesions.Lysozyme simultaneously suppresses pathogens and encourages the growth of beneficial bacteria, including Lactobacillus species and other commensals.

According to Abdel-Latif et al. (2017) and Bastamy et al. (2024), there were notable drops in coliforms and increases in Lactobacillus populations. Ashmawy (2024) also verified higher levels of Lactobacillus and lower levels of Clostridium perfringens and total coliform. Deeper understanding of microbial modulation is possible through advanced sequencing research; Chen et al. (2025) showed a decrease in hazardous taxa and an increase in beneficial genera such Lactobacillus, Blautia, and Romboutsia. In the same manner, Wang et al. (2025) documented changes in the microbial composition of the cecum, including an increase in the production of short-chain fatty acids (SCFA) and an enrichment of beneficial taxa. However, other research suggests that lysozyme can improve the microbiota's functioning metabolic pathways, especially energy use and glucose metabolism, even though it might not significantly change microbial diversity (Xia et al., 2019). Lysozyme also exerts marked effects on intestinal morphology and barrier function, which are critical indicators of gut health as shown in Table 1.

Table 1: Effects of Lysozyme Supplementation on Growth, Immunity, Gut Health, and Antimicrobial Activity in Poultry

Species	Lysozyme Dose	Growth Performance	Gut Health	Immune Response	Antimicrobial Effects	Antioxidant Status	Reference
Broiler	100 ppm	—	—	—	↓ E. coli in ileum	—	Gong et al. (2017)
Broiler (E. coli infected)	50–100 mg/kg	↑ body performance	Improved gut morphology	↑ phagocytic activity	↓ hepatic and renal lesions	↑ antioxidant enzymes	Hassan et al. (2023)
Broiler	250–500 mg/kg	↑ BW, ↑ ADG, ↓ F:G	↑ villus height, ↑ VH/CD, ↑ tight junction proteins	↑ IgA, ↑ IgM, ↑ IgY	↑ beneficial microbiota (Lactobacillus, Blautia)	↑ SOD, ↓ MDA	Chen et al. (2025)
Broiler	70–120 g/ton	↑ growth performance	↑ villi length, ↑ crypt depth	↑ IFN-γ, ↑ IL-10, ↑ IL-18	↓ Coliform, ↓ Clostridia, ↑ Lactobacillus	↑ GSH-Px gene expression	Abdel-Latif et al. (2017)
Broiler	50 mg/kg	↑ FCR, ↑ European production efficiency	↑ intestinal Lactobacillus	↓ IL-1β, ↑ opsonic activity, ↑ HI titers	—	—	Bastamy et al. (2024)
Broiler	50–150 mg/kg	↑ BWG, ↓ FCR, ↑ dressing %	↑ intestinal villi	↑ IgG, ↑ IgM	↓ Clostridium perfringens, ↑ Lactobacillus	—	Ashmawy (2024)
Broiler	40–200 ppm	—	↑ bacterial outer membrane gene expression, ↑ carbohydrate	—	—	—	Xia et al. (2019)

			metabolism				
Broiler	50–200 mg/kg	↑ BWG	↑ gut integrity	↑ immune gene expression	↓ pathogens, ↑ beneficial bacteria	↑ antioxidant enzymes	Abd El-Aziz et al. (2026)
Broiler	60 mg/kg rhLYZ	↑ growth, ↑ nutrient utilization	—	↑ serum immune function	—	—	Tian et al. (2024)
Broiler	0–500 mg/kg	↑ immune status	↑ tight junction proteins	↑ IgA, ↑ IL-10	↑ beneficial microbiota	↑ SOD, ↓ MDA	Wang et al. (2025)
Broiler	90 mg/kg	↑ growth, ↑ feed efficiency	↑ intestinal integrity	↑ immunoglobulins, ↑ opsonic activity	↓ pathogenic bacteria	↑ antioxidant capacity	Abdel-Latif et al. (2024)
Layers	100–300 mg/kg	↑ egg weight	↑ intestinal villi, ↑ crypt depth	↑ immune efficiency	—	—	Sindaye et al. (2023)
Broiler	50 mg/kg	↑ BWG, ↑ FCR	Improved gut morphology	↑ lymphocytes, ↑ IFN-γ	↓ Salmonella, ↓ E. coli	↑ antioxidant capacity	El-Ratel et al. (2024)

A number of studies have revealed improved villus height-to-crypt depth ratios, decreased crypt depth, and higher villus height, all of which indicate improved absorptive capacity. This means that intestinal morphology in broilers and laying hens has significantly improved, according to Chen et al. (2025), Abdel-Latif et al. (2024), and Sindaye et al. (2023). Furthermore, lysozyme strengthens the integrity of the epithelial barrier and decreases intestinal permeability by upregulating tight junction proteins such occludin and claudins (Chen et al., 2025). Studies on quail have also shown improvements in goblet cell density and mucosal structure, which supports improved mucosal defense (Elkhaiat et al., 2025a).The control of intestinal fermentation and metabolites is another crucial factor. Lysozyme treatment boosted microbial fermentation efficiency in rabbits by raising total volatile fatty acids (VFAs), such as acetate and butyrate, while lowering cecal pH and ammonia levels (Abu Hafsa et al., 2022). Broilers have shown comparable increases in SCFAs, which improve gut health and energy metabolism (Chen et al., 2025; Wang et al., 2025). These metabolites are essential for preserving the health of intestinal epithelial cells and preventing the growth of pathogens.Additional evidence for lysozyme's wide range of applications comes from evidence across species.There have been consistent reports of decreased E. coli and increased Lactobacillus populations in rabbits (El-Deep et al., 2021; Abu Hafsa et al., 2022). Although there were some decreases in the overall bacterial burden, lysozyme enhanced gut shape and regulated microbial numbers in Japanese quail (Elkhaiat et al., 2025a). Furthermore, lysozyme might cause particular microbial modifications associated with host metabolic control even in the absence of significant changes in overall diversity, according to multi-omics techniques (Xu et al., 2026).Despite these advantages, the reaction to lysozyme can change according on dosage, microbial challenge, and environmental factors. Gong et al. (2017) and Xia et al. (2019), revealed minimal effects under low microbial pressure, indicating that lysozyme's benefits are more prominent under stress or pathogenic challenge.By lowering harmful bacteria, fostering a healthy microbiota, enhancing intestinal shape, and maximizing microbial metabolism, lysozyme dramatically improves gut health. In animal production systems, these combined benefits support its potential as a sustainable substitute for antibiotics by improving nutrition absorption, disease resistance, and overall productivity (Yang et al., 2025).

CONCLUSION

Lysozyme's antibacterial, immunomodulatory, antioxidant, and gut health-promoting qualities make it a possible natural substitute for antibiotic growth promoters in poultry production. Research continuously shows that it can boost immune responses, promote growth performance, and alter intestinal flora. However, dose, ambient factors, and microbiological problems all affect how effective it is. Although lysozyme frequently performs on par with or better than antibiotics in immune regulation, inconsistent growth responses underscore the need for optimal administration tactics. Long-term safety, cost-effectiveness, and synergistic interactions with other feed additives should be the main topics of future research. All things considered, lysozyme provides a long-term, multipurpose solution for enhancing the health and productivity of poultry in antibiotic-free production systems.

REFERENCES

Abd El-Aziz, A., Allam, A. A., Elbaz, A., Abo Ghanima, M., Youssef, I. M., Alawam, A. S., ... & Abd El-Hack, M. E. (2026). Lysozyme as a natural feed additive in poultry and rabbit production: implications for growth, health and sustainability–a review. Tropical Animal Health and Production, 58(1), 44.

Abdel-Latif, M. A., El-Far, A. H., Elbestawy, A. R., Ghanem, R., Mousa, S. A., & Abd El-Hamid, H. S. (2017). Exogenous dietary lysozyme improves the growth performance and gut microbiota in broiler chickens targeting the antioxidant and non-specific immunity mRNA expression. PLoS One, 12(10), e0185153.

Abdel-Latif, M. A., El-Hamid, H. S. A., Emam, M., Noreldin, A. E., Helmy, Y. A., El-Far, A. H., & Elbestawy, A. R. (2024). Dietary lysozyme and avilamycin modulate gut health, immunity, and growth rate in broilers. BMC Veterinary Research, 20(1), 28.

Abu Hafsa, S. H., Mahmoud, A. E., Fayed, A. M., & Abdel-Azeem, A. A. S. (2022). The effect of exogenous lysozyme supplementation on growth performance, caecal fermentation and microbiota, and blood constituents in growing rabbits. Animals, 12(7), 899.

Ashmawy, E. S. (2024). Effects of dietary lysozyme supplementation on performance, carcass traits, immunity and gut microbial of broiler chickens. Egyptian Journal of Nutrition and Feeds, 27(1), 89-96.

Bastamy, M., Raheel, I., Elbestawy, A., Diab, M., Hammad, E., Elebeedy, L., ... & Orabi, A. (2024). Postbiotic, anti-inflammatory, and immunomodulatory effects of aqueous microbial lysozyme in broiler chickens. Animal Biotechnology, 35(1), 2309955.

Chen, L., Peng, W., Wang, T., Ma, S., Wang, X., Dai, B., ... & Wu, Y. (2025). Effects of dietary lysozyme supplementation on growth performance, intestinal morphology, immune function, antioxidant capacity, and gut microbiota in broilers. Poultry Science, 105741.

El-Deep, M. H., Amber, K. A., Eid, Y. Z., Aboelenin, S. M., Soliman, M. M., Sakr, M. S., & Dawood, M. A. (2021). The influence of chicken egg lysozyme or zinc-bacitracin antibiotic on the growth performance, antibacterial capacity, blood profiles, and antioxidative status of rabbits: a comparative study. Animals, 11(6), 1731.

Elkhaiat, I. A., El-Kassas, S., Abdo, S. E., El-Naggar, K., Shalaby, H. K., Nofal, R. Y., ... & Lestingi, A. (2025a). Leverage of lysozyme dietary supplementation on gut health, hematological, antioxidant, and immune parameters in different plumage-colors Japanese quails. Poultry Science, 104(1), 104474.

Elkhaiat, I., El-Kassas, S., El-Naggar, K., Abdo, S., Shalaby, H. K., Azzam, M. M., ... & Nofal, R. Y. (2025b). Dietary supplementation of lysozyme can improve growth rate, laying performance, blood biochemistry, and mRNA levels of some related genes in different plumage-colored quails. Poultry Science, 104(1), 104491.

El-Ratel, I. T., EL-Deep, M. H., Alharbi, N. K., Alyoubi, W. A., El-Kholy, K. H., Badawy, A. A., ... & Fouda, S. F. (2024). Lysozyme as an alternative to antibiotics improves growth, antioxidants status, immunity, and intestinal bacteria in broiler chickens during the fattening period. Archives Animal Breeding, 67(2), 185-195.

Ercan, D., & Demirci, A. (2016). Recent advances for the production and recovery methods of lysozyme. Critical Reviews in Biotechnology, 36(6), 1078-1088.

Ferraboschi, P., Ciceri, S., & Grisenti, P. (2021). Applications of lysozyme, an innate immune defense factor, as an alternative antibiotic. Antibiotics, 10(12), 1534.

Gong, M., Anderson, D., Rathgeber, B., & MacIsaac, J. (2017). The effect of dietary lysozyme with EDTA on growth performance and intestinal microbiota of broiler chickens in each period of the growth cycle. Journal of Applied Poultry Research, 26(1), 1-8.

Hassan, R. A., Eid, Y. Z., Farouk, Z. M., El-Gbaly, M., & Mousa, M. A. M. (2023). The influence of dietary lysozyme on the growth performance, blood constituents, intestinal morphology and resistance against escherichia coli in the broiler chicks. Egyptian Journal of Nutrition and Feeds, 26(3), 397-409.

Khalil, K. K. I., Islam, M. A., Sujan, K. M., Mustari, A., Ahmad, N., & Miah, M. A. (2020). Dietary acidifier and lysozyme improve growth performances and hemato-biochemical profile in broiler chicken. Journal of Advanced Biotechnology and Experimental Therapeutics, 3(3), 241-247.

Khorshidian, N., Khanniri, E., Koushki, M. R., Sohrabvandi, S., & Yousefi, M. (2022). An overview of antimicrobial activity of lysozyme and its functionality in cheese. Frontiers in nutrition, 9, 833618.

Leśnierowski, G., & Cegielska-Radziejewska, R. (2012). Potential possibilities of production, modification and practical application of lysozyme. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 11(3), 223-230.

Liu, D., Guo, Y., Wang, Z., & Yuan, J. (2010). Exogenous lysozyme influences Clostridium perfringens colonization and intestinal barrier function in broiler chickens. Avian Pathology, 39(1), 17-24.

Masschalck, B., & Michiels, C. W. (2003). Antimicrobial properties of lysozyme in relation to foodborne vegetative bacteria. Critical reviews in microbiology, 29(3), 191-214.

Oliver, W. T., & Wells, J. E. (2015). Lysozyme as an alternative to growth promoting antibiotics in swine production. Journal of Animal Science and Biotechnology, 6(1), 35.

Sindaye, D., Xiao, Z., Wen, C., Yang, K., Zhang, L., Liao, P., ... & Deng, B. (2023). Exploring the effects of lysozyme dietary supplementation on laying hens: performance, egg quality, and immune response. Frontiers in Veterinary Science, 10, 1273372.

Tian, X., Cao, H., Yan, J., Li, C., Li, F., Li, Y., ... & Rao, Z. (2024). Effect of dietary supplementation with recombinant human lysozyme on growth performance, antioxidative characteristics, and intestinal health in broiler chickens. Journal of Animal Science, 102, skae121.

Wang, T., Xu, H., Zhang, S., Hu, Y., Wu, Y., Zhang, R., ... & Yang, C. (2025). Effect of lysozyme supplementation on growth performance, immune status, antioxidant function and intestinal microbiota in broilers. Poultry Science, 105829.

Wu, Y., Zhang, H., Zhang, Y., Xie, C., & Chen, G. (2025). Lysozyme supplement enhances antioxidant capacity and regulates liver glucolipid metabolism in weaned piglets. Frontiers in Veterinary Science, 12, 1721300.

Xia, Y., Kong, J., Zhang, G., Zhang, X., Seviour, R., & Kong, Y. (2019). Effects of dietary supplementation with lysozyme on the structure and function of the cecal microbiota in broiler chickens. PloS one, 14(6), e0216748.

Xu, Y., Li, S., Zhang, H., Yan, Y., Ma, Y., Lai, Y., ... & Liu, X. (2026). Integrative multi-omics analyses reveal the molecular mechanisms of lysozyme in alleviating hepatic lipid accumulation in post-peak laying quail. Poultry Science, 106885.

Yang, T., & Yan, W. (2025). Strategies for enhancing the antibacterial efficacy of lysozyme and the resulting outcome. International Journal of Biological Macromolecules, 310, 143137.

Zantioti, C., & Malandrakis, E. E. (2026). Exploring the Potential of Exogenous Dietary Lysozyme as a Bioactive Additive in Aquaculture: Lessons from Monogastric Livestock Nutrition. Probiotics and Antimicrobial Proteins, 1-11.

FEEDING FACTORS AS DRIVERS OF MICROBIAL DYNAMICS IN THE RUMINANT DIGESTIVE SYSTEM

Sababa FATIMA
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine,
Afyon Kocatepe University, 03204 Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID ID: 0009-0006-0021-8730

Prof. Dr. İsmail BAYRAM
Department of Animal Nutrition and Nutritional Diseases, Faculty of Veterinary Medicine,
Afyon Kocatepe University, 03204 Afyonkarahisar, Türkiye
ORCID:0000-0002-5090-7474

ABSTRACT
Ruminant gastrointestinal microbiomes are essential for immunological regulation, metabolic efficiency, nutritional digestion, and overall animal productivity. The most significant variables influencing the diversity, composition, and functional activity of these microbial communities are feeding factors. The current understanding of how dietary factors, including as the ratio of forage to concentrate, fiber structure, protein content, fat supplementation, feed additives, and phytochemicals, impact the microbial ecology in the rumen and lower digestive tract is summarized in this article. Changes in the composition of the diet can affect the physiology of the host and the efficiency of production by changing the production of volatile fatty acids, methane emissions, fermentation pathways, and microbial protein synthesis. Fiber-rich diets support cellulolytic bacteria necessary for ruminal stability, whereas high-concentrate diets tend to limit microbial diversity and increase acidogenic populations. Important modulators that might cause dysbiosis or adaptive microbial alterations are feed processing techniques, feeding frequency, and abrupt dietary changes. Furthermore, new molecular methods like metagenomics and metabolomics have improved our understanding of the interactions between diets and the microbiome by exposing intricate transnational relationships between bacteria, archaea, protozoa, and fungi. Developing precision feeding techniques that maximize microbial efficiency, enhance nutrient consumption, and lessen environmental effects requires a comprehensive knowledge of these interactions. The review highlights that in contemporary livestock systems, focused nutritional manipulation of the gut microbiota is a promising strategy for improved health status, increased feed conversion efficiency, and sustainable ruminant production.
Keywords: Ruminant microbiome; diet composition; rumen fermentation; feed additives; microbial diversity; nutrition microbiota interaction; digestive ecology; sustainable livestock.

Introduction
Ruminant livestock play an important part in global food systems because of their ability to convert fibrous plant components into high-quality animal products via a complex and highly specialized digestive tract (Souza et al., 2026). The rumen, an anaerobic fermentation chamber with a varied and metabolically active microbial community, is essential to this capacity because it allows the breakdown of both structural and non-structural carbohydrates into useful end products like microbial protein and volatile fatty acids (VFAs) (Baldwin et al., 1977; Cholewińska et al., 2020). A key component of ruminant nutrition and production is the symbiotic interaction between the host and its microbiome.Feeding factors determine microbial interactions, fermentation pathways, and substrate availability, all of which have a significant impact on the dynamics of rumen microbial populations. In order to comprehend how feed parameters affect nutritive value, early modeling approaches such as the dynamic simulation model created by Baldwin et al. (1977) emphasized the significance of combining biochemical, microbiological, and physiological processes. Although there were still issues with precisely forecasting passage rate and microbial development in nitrogen-deficient environments, their model included several digestive subunits and emphasized intake quantity and feeding frequency as crucial factors of nutrient utilization.Our knowledge of the rumen environment has greatly increased thanks to developments in molecular biology and microbiology. It is currently known that the rumen microbiota is a highly responsive and dynamic system that is largely influenced by dietary composition,

including protein availability, carbohydrate kinds, and forage-to-concentrate ratios (Souza et al., 2026). In order to facilitate nutrient absorption and host metabolism, the microbial community breaks down ingested biomass by breaking down complex plant polymers into simpler molecules (Cholewińska et al., 2020). In contrast to conventional forage-based systems, modern feeding systems, which are marked by a greater dependence on concentrate-rich diets, have brought about significant changes in microbial structure and function.One of the most important elements controlling rumen microbial ecology is dietary composition, especially the ratio of concentrate to forage. Changes in this ratio can have an impact on rumen health and animal performance by drastically changing microbial diversity, fermentation patterns, and metabolic outputs (Pang et al., 2022; Chishti et al., 2022). Increasing concentrate levels improves energy availability, but because of quick fermentation and acid buildup, they may put animals at risk for metabolic diseases such ruminal acidosis. CHigh-forage diets may restrict calorie intake and production, but they also stabilize rumen pH and increase fibrolytic bacteria populations.Apart from the general composition of the diet, certain feed ingredients like starch are important in determining microbial dynamics. The physicochemical characteristics and processing techniques of starch affect its degradability, which in turn affects the location of digestion and the ensuing impacts on microbial populations and host metabolism (Yin et al., 2026).Although their biological relevance varies, it has been demonstrated that plant secondary chemicals including isoflavones and alternate nitrogen sources, such as nitrate, can influence rumen fermentation and microbial activity (Arshad et al., 2026; Ntokome et al., 2026).

The functional relationships between nutrition, microbiota, and host physiology have been better understood because to recent advancements in omics technologies, such as metagenomics, transcriptomics, and metabolomics. These methods have demonstrated the intricate connections between microbial populations and host epithelial function, emphasizing the microbiome's significance in controlling immunological responses, metabolic pathways, and nutritional absorption (Ma et al., 2026). Additionally, early-life microbial interventions have shown long-term impacts on animal tolerance to dietary changes and microbial diversity, highlighting the significance of microbiome programming (Belanche et al., 2026).Understanding the complex relationships between feeding parameters and rumen microbial dynamics is still very difficult, despite tremendous advancements. The majority of recent studies have concentrated on microbial taxonomy rather than ecosystem-level processes and functional relationships. Therefore, maximizing feed efficiency, enhancing animal health, and minimizing environmental effects like methane emissions all depend on a thorough assessment of feeding practices and their effects on microbial ecology. This review aims to synthesize current knowledge on the role of feeding factors as primary drivers of microbial dynamics in the ruminant digestive system, with particular emphasis on dietary composition, nutrient synchronization, feed processing, and emerging nutritional interventions. By integrating findings from recent studies, this work seeks to provide a framework for developing precision feeding strategies that enhance both productivity and sustainability in ruminant production systems.

Rumen Microbial Ecosystem: Composition and Functional Roles

The rumen microbial ecosystem is a dynamic, anaerobic, and extremely complex biological system that supports ruminant animals' effective digestion and metabolic processes. This ecosystem is made up of a variety of microorganisms, including as bacteria, protozoa, archaea, and anaerobic fungus, that work together to break down ingested feedstuffs and transform them into products that the host can use for metabolism. Animal performance, nutrition utilization, and general health all depend on the composition and operation of this microbial community (Cholewińska et al., 2020).In the rumen, bacteria make up the bulk of microbial biomass and are the most prevalent and functionally varied species. Fibrolytic, amylolytic, proteolytic, and lipolytic groups are generically classified according to their substrate specificity. Acetate is the main byproduct of fermentation, and fibrolytic bacteria are essential in breaking down structural carbohydrates like cellulose and hemicellulose.The fermentation of starch and non-fiber carbohydrates by amylolytic bacteria increases the formation of propionate, a crucial gluconeogenic precursor for the host (Souza et al., 2026).Dietary composition, especially the ratio of forage to concentrate, has a major role in determining the balance between these functional categories.Despite making up a lesser portion of the microbial population, archaea are crucial for preserving the stability of rumen fermentation through methanogenesis.

By using the carbon dioxide and hydrogen generated during fermentation to produce methane, these microbes avoid hydrogen buildup, which could disrupt microbial metabolism. However, methanogens are a target for nutritional interventions because this process also results in a loss of dietary energy and increases greenhouse gas emissions(Zain et al., 2024).

By controlling bacterial populations through predation and taking part in the breakdown of proteins and carbohydrates, protozoa support rumen function. Additionally, they moderate fast fermentation and lower the danger of acidosis by temporarily retaining starch granules, which helps stabilize fermentation patterns. However, because of their predatory nature, protozoa can lower the effectiveness of microbial protein migration to the small intestine (Cholewińska et al., 2020).Even though they are comparatively rare, anaerobic fungi are essential for starting the enzymatic and physical degradation of lignified plant tissues. Their capacity to break through plant cell walls increases the availability of substrates for bacterial breakdown, which raises the digestibility of fiber overall.In forage-based diets where structural carbohydrates predominate, this cooperative relationship between bacteria and fungus is especially significant (Kholif & Patra, 2024).

Volatile fatty acids (VFAs), such as acetate, propionate, and butyrate, are the principal byproducts of rumen microbial fermentation and provide ruminants with their primary energy sources.Microbial makeup and food have an impact on the proportions of these VFAs. While high-concentrate diets raise levels of propionate and butyrate, high-fiber diets usually promote the synthesis of acetate (Zhang et al., 2025a).Maintaining ideal microbial growth conditions is crucial because microbial protein produced during fermentation is a significant source of amino acids for the host.Cross-feeding connections are a common term for the intricate networks of cooperation and competition that define microbial interactions inside the rumen.One microbial group's metabolites act as substrates for another, facilitating effective nutrient cycling within the ecosystem.Recent research has highlighted the importance of these relationships in determining the stability of rumen function rather than the presence of specific taxa alone (Souza et al., 2026). Methodologies like metagenomics, metatranscriptomics, and metabolomics have shown the functional potential and activity of microbial communities in addition to their taxonomic makeup.Integrated omics investigations have shown how microbial populations interact with rumen epithelial cells to control metabolic pathways and nutrient absorption, such as the transfer of short-chain fatty acids and the metabolism of amino acids (Ma et al., 2026).Increasing microbial diversity in the early stages of development can improve energy usage efficiency, lower the incidence of digestive problems, and improve response to dietary changes (Belanche et al., 2026). This emphasizes how crucial microbial programming is as a possible tactic for improving ruminant production.

Effect of Diet Composition (Forage vs. Concentrate)

It is commonly acknowledged that one of the most important feeding parameters influencing rumen microbial dynamics, fermentation patterns, and overall ruminant productivity is diet composition, specifically the ratio of forage to concentrate. Effects of Forage-to-Concentrate Ratios on Rumen Microbial Composition and Fermentation is summarized in Table 1. Both the availability of nutrients and the ecological stability of the rumen microbiome depend on the ratio of structural carbohydrates (fiber) to non-structural carbohydrates (starch and sugars). Changes in forage-to-concentrate (F:C) ratios are known to cause significant alterations in microbial composition, metabolic activity, and host physiological responses.In order to support the growth of fibrolytic microbes like Fibrobacter and Ruminococcus, ruminants have evolved to use high-forage diets high in structural polysaccharides. However, in order to increase productivity, greater concentrations are often incorporated into current production techniques. By promoting amylolytic and saccharolytic bacteria, such as Prevotella and Succinivibrio, which are linked to the quick fermentation of non-fibrous carbohydrates, dietary changes modify the microbial ecology (Souza et al., 2026).The reshaping of microbial cross-feeding networks affects fermentation efficiency and rumen stability.Numerous experimental investigations have measured the impacts of different F:C ratios. For example, Pang et al. (2022) showed that whereas greater forage diets (80:20) favored Bacteroidetes and fiber-degrading species like Rikenellaceae_RC9_gut_group, higher concentrate diets (50:50) boosted the relative abundance of Firmicutes.Changes in metabolic pathways, such as lipid and amino acid metabolism, coincided with these microbial changes.In lambs fed moderate concentrate levels (60:40 and 80:20), Chishti et al. (2022) observed better dry matter intake, nutritional digestibility, and growth performance, underscoring

the beneficial effects of balanced diets. Rumen fermentation characteristics are also significantly impacted by diet composition. High-forage diets typically support microbial stability and fiber breakdown by raising ruminal pH, increasing acetate synthesis, and improving chewing activity (Zhang et al., 2025a). High-concentrate diets, on the other hand, raise the generation of propionate and total volatile fatty acids (VFAs), but they frequently lower ruminal pH, which puts animals at risk for subacute ruminal acidosis (SARA). High-concentrate feeding decreased ruminal pH below 5.5 and raised toxic metabolites including lactic acid and endotoxins, but supplementing with yeast β-glucan prevented these negative effects by stabilizing microbial communities, according to Wang et al. (2025).Microbial activity is also influenced by physical attributes and the amount of dietary fiber. Moderate-fiber diets enhanced calves' growth performance and nutritional digestibility, according to Izadbakhsh et al. (2024), In contrast, diets high in fiber produced more acetate but decreased overall effectiveness. Forage particle size also affects microbial colonization and rumination behavior; smaller particle sizes improve feed intake and digestibility.Additionally, Zhang et al. (2025b) showed that increasing forage neutral detergent fiber (FNDF) improved rumen health and decreased the risk of acidosis by promoting fibrolytic bacteria and boosting microbial diversity.Another important factor influencing rumen function is the kind and quality of feed. In comparison to grass silage diets, Tayyab et al. (2022) demonstrated that diets based on maize silage boosted feed intake and milk production but decreased rumen pH and fiber digestibility. In a similar vein, de Sousa et al. (2026) found that a 50:50 F:C ratio in total mixed ration silage enhanced ruminal degradability and fermentative properties, highlighting the significance of balanced diet concept.

Table 1: Effects of Forage-to-Concentrate Ratios on Rumen Microbial Composition and Fermentation

Animal Model	Diet Details	Key Microbial Findings	Fermentation Outcomes	Reference
Sheep	Lucerne chaff, varying intake & frequency	Model predicted microbial growth dynamics	Changes in nutrient digestibility and passage rate	Baldwin et al. (1977)
Cattle	High-concentrate vs high-forage	Shifts in rumen microbiota and cross-feeding networks	Enhanced SCFA production, altered rumen stability	Souza et al. (2026)
Thalli lambs	F:C = 100:0, 80:20, 60:40	Improved microbial diversity with 60:40 F:C	Higher DM intake, feed efficiency	Chishti et al. (2022)
Hu sheep	FNDF varied, rumen-degradable starch fixed	Increased Fibrobacterota and Butyrivibrio	Better fiber degradability, stable pH	Zhang et al. (2025b)
Yaks	F:C = 50:50, 65:35, 80:20	Firmicutes/Bacteroidetes ratio shifts	Lipid and amino acid metabolite changes	Pang et al. (2022)

New studies also emphasize how diet content influences host-microbiome interactions. According to Ma et al. (2026), supplemental feeding in grazing systems modifies microbial gene expression and improves epithelial nutrient transport pathways, establishing a connection between systemic metabolism and diet composition. Additionally, early exposure to a variety of microbial populations enhances energy utilization, lowers digestive problems, and promotes adaption to high-concentrate meals (Belanche et al., 2026).A key factor in microbial dynamics is the content of carbohydrates, especially the degradability of starch. According to Yin et al. (2026), resistant starch lowers energy efficiency whereas excessive rumen-degradable starch (RDS) can cause acidosis.Therefore, preserving microbial balance requires balancing starch fractions.Similarly, Xie et al. (2025) emphasized that rumen environmental variables affect microbial colonization, with habitats rich in fiber encouraging the growth of fibrolytic bacteria and accelerating the breakdown of fodder.The balance of carbohydrates is important, but so is the synchronization of energy and nitrogen supply. Zain et al. (2024) showed that increasing the ratio of non-fiber carbohydrates (NFC) to rumen degradable protein (RDP) enhanced digestibility and decreased methane emissions, highlighting the significance of nutritional synchronicity in microbial metabolism.

Additionally, food composition interacts with alternative feed supplies and additives to affect microbial dynamics.Khattab et al. (2026) demonstrated the potential of unconventional feeds in sustainable systems by showing that substituting mulberry silage for soybean meal enhanced growth performance and antioxidant status without adversely impacting digestibility. Similar to this, nitrate supplementation can lower ammonia concentrations while replacing conventional nitrogen sources without changing fermentation patterns (Ntokome et al., 2026).These results show that optimal F:C ratios support a diversified and stable microbial ecosystem, improving animal performance, nutrient utilization, and environmental sustainability.

Influence of Carbohydrate Type on Microbial Dynamic

Carbohydrates are the main energy source for rumen microbes, they play a crucial role in controlling the microbial makeup, fermentation processes, and general rumen function. Microbial dynamics are significantly influenced by the kind, structure, and degradability of carbohydrates, which range from non-structural carbohydrates like starch and sugars to structural polysaccharides like cellulose and hemicellulose. The rumen environment and host nutrient use are ultimately shaped by variations in carbohydrate types, which also affect substrate availability, fermentation rate, and metabolite synthesis.Specialized fibrolytic microbes, such as Ruminococcus albus, Ruminococcus flavefaciens, and Fibrobacter succinogenes, slowly break down structural carbohydrates, which are primarily obtained from forages. These microorganisms break down plant cell walls via cellulolytic and hemicellulolytic enzymes, with acetate emerging as the predominant volatile fatty acid (VFA). Due to slower fermentation rates and less acid buildup, this method promotes the synthesis of milk fat and preserves rumen stability (Cholewińska et al., 2020).Additionally, high-fiber diets encourage salivation and rumination, which buffer ruminal pH and foster microbial activity.On the other hand, amylolytic bacteria such Streptococcus bovis, Ruminobacter amylophilus, and Prevotella spp. quickly ferment non-structural carbohydrates (NSCs), especially starch. This quick fermentation boosts the formation of propionate, a crucial gluconeogenic precursor that improves growth performance and energy efficiency. However, consuming too many easily fermentable carbs can cause organic acids to build up quickly, lowering ruminal pH and upsetting microbial equilibrium. High levels of rumen-degradable starch (RDS) are linked to a higher risk of subacute ruminal acidosis (SARA), decreased fiber digestion, and inhibition of fibrolytic bacterial populations, according to Yin et al. (2026). The physicochemical structure, processing techniques, and botanical origin of starch all affect its degradability. For example, the starch in cereal grains like wheat and barley is highly fermentable, but the starch in maize is more resistant because of its crystalline structure. By increasing the availability of starch, processing methods including grinding, steam flaking, and extrusion speed up microbial fermentation and change the composition of microbial communities. Because of this, diets high in processed grains frequently promote amylolytic bacteria that develop quickly, possibly at the price of rumen stability (Yin et al., 2026).Despite their comparatively modest concentration in the majority of bovine diets, soluble carbohydrates, including simple sugars, also have a major impact on microbial dynamics. Microbes use these sugars quickly, producing microbial biomass and VFAs. Excessive amounts of soluble carbohydrates may lead to acid buildup and microbial imbalance, whereas moderate levels can improve microbial protein synthesis. Therefore, to enhance microbial performance and reduce nutritional losses, the availability of nitrogen and rapidly fermentable carbohydrates must coincide (Zain et al., 2024).The significance of carbohydrate fractions in influencing microbial diversity and metabolic outputs has been emphasized by recent research. According to Xie et al. (2025), diets high in fiber encouraged fibrolytic bacterial colonization and improved the efficiency of fodder decomposition, whereas diets high in starch increased the number of microorganisms that produce propionate. These results support the idea that the specific type of carbohydrates in the rumen determines both the microbial composition and the functioning metabolic pathways.

Additionally, there has been a growing interest in the relationship between rumen epithelial function and the type of carbohydrates.Influence of Carbohydrate and Protein Sources on Microbial Dynamics is shown in Table 2. Different sources of carbohydrates affect the expression of genes linked to nutrient transport and barrier function in the rumen epithelium, as Ma et al. (2026) showed. Increased expression of transport proteins involved in the absorption of short-chain fatty acids was linked to high-starch diets, suggesting an adaptive reaction of the host to microbial fermentation products.

Maintaining microbial diversity also depends on the ratio of structural to non-structural carbohydrates. While meals high in fiber promote a more varied and stable microbial community, diets excessively high in starch tend to decrease microbial diversity by promoting a small group of fast-growing bacteria. Higher microbial diversity improves ecosystem resilience, allowing animals to more effectively adjust to nutritional changes and environmental stressors, according to Belanche et al. (2026).The potential of alternate feed ingredients with complex polysaccharides and resistant starches to modify microbial dynamics is being investigated in addition to conventional sources of carbohydrates. These carbohydrates provide a consistent supply of energy while reducing pH swings because they avoid fast ruminal fermentation and digest more slowly. This strategy can lower the risk of metabolic problems and increase rumen stability.In general, a key factor influencing the microbial ecology of the rumen is the type of carbohydrates. While non-structural carbs improve energy efficiency but must be carefully managed to avoid dysbiosis, structural carbohydrates promote steady fermentation and fiber absorption.

Protein Sources and Nitrogen Availability

Microbial communities in the rumen are vital for nitrogen metabolism, making protein nutrition in ruminants distinct from monogastric animals. Ruminants rely extensively on microbial protein produced in the rumen, which is the main source of metabolizable protein for the host, rather than only dietary amino acids. Therefore, the availability of rumen-degradable nitrogen and the source of dietary protein have a significant impact on microbial development, fermentation efficiency, and overall animal performance.Rumen degradable protein (RDP) and rumen undegradable protein (RUP) are the two main categories of dietary protein in ruminants. Microbes use RDP's quick breakdown in the rumen to produce ammonia, peptides, and amino acids for growth and protein synthesis.RUP, on the other hand, directly contributes to the host's supply of amino acids by avoiding ruminal degradation and being broken down in the small intestine. To guarantee effective microbial protein synthesis and satisfy the animal's nutritional needs, an ideal balance between RDP and RUP is necessary (Zain et al., 2024).Many rumen microorganisms use ammonia nitrogen (NH_3-N) as their main source of nitrogen, and it is an important intermediary in rumen nitrogen metabolism. Microbial growth requires sufficient NH_3-N concentrations, especially for fibrolytic bacteria that primarily use ammonia as a nitrogen source. However, nitrogen losses through absorption, conversion to urea, and excretion can result from excessive ammonia accumulation brought on by fast protein decomposition or unbalanced meals, decreasing nitrogen-use efficiency and raising environmental pollution.One important aspect controlling microbial efficiency is the synchronization of the nitrogen and energy sources. In addition to nitrogen, readily fermentable carbohydrates are also necessary for microbial development. Ammonia builds up and is used inefficiently when nitrogen is supplied in excess without enough energy. On the other hand, low nitrogen inhibits the growth of microorganisms and decreases the digestion of fiber. Zain et al. (2024) illustrated the significance of nutritional synchrony by showing that optimizing the ratio of rumen degradable protein to non-fiber carbohydrates (RDP:NFC) increased microbial protein synthesis, decreased methane emissions, and improved nutrient digestibility.Influence of Protein Sources on Microbial Dynamics is shown in Table 2.

Table 2: Influence of Carbohydrate and Protein Sources on Microbial Dynamics

Nutrient Factor	Animal Model	Key Microbial Response	Nutrient Metabolism / Performance	Reference
Starch type (rumen degradable starch, rumen escape starch, resistant starch)	Dairy cows & goats	Microbiota composition shifts	Propionate/acetate ratio, milk yield	Yin, Q., et al. (2026)
Isoflavones in baleage	Dairy cows	No major microbial shifts; high-forage diet slightly enhanced degradation	effective degradability of total isoflavones higher in high-forage diet	Arshad, M. A., et al. (2026)

Non-protein nitrogen (nitrate vs urea)	Sheep	Reduced ruminal ammonia with nitrate	Plasma glucose, triglycerides increased	Ntokome, K., et al. (2026)
Yeast β-glucan	Yaks	Modulated Firmicutes/Bacteroidetes; alleviated SARA	Improved rumen pH, SCFA profile, epithelial function	Wang, J., et al. (2025)
Pornunça foliage in TMR silages	Sheep	Yeast & Enterobacteria counts varied	Highest degradability with 50:50 F:C	de Sousa, A. R., et al. (2026)

The microbial makeup and fermentation characteristics of the rumen are also significantly affected by the protein source. Conventional protein feeds, such soybean meal, promote fast microbial growth and are highly degradable, but if the energy supply is not regulated, they may result in excessive ammonia generation.The functional and environmental advantages of alternative protein sources are drawing more attention.According to Khattab et al. (2026), substituting mulberry silage for soybean meal preserved nutritional digestibility while enhancing lamb development and antioxidant status.This implies that non-traditional protein sources can improve sustainability and successfully support microbial activity.In ruminant diets, nitrate has been studied as a substitute nitrogen source. In contrast to conventional protein sources, microbial activities convert nitrate to ammonia, which reduces methane emissions and provides a consistent supply of nitrogen while also serving as a hydrogen sink. Ntokome et al. (2026) discovered that while nitrate supplementation reduced ammonia concentrations and increased nitrogen use efficiency, it had not significant impact on rumen fermentation patterns.However, because of the possibility of nitrite toxicity, cautious handling is recommended.Crude protein levels in the diet also affect metabolic activity and microbial diversity.Zhu et al. (2022) demonstrated that lowering dietary protein levels resulted in lower levels of total VFAs, ammonia nitrogen, and nitrogen-metabolizing bacteria such Prevotella.Higher protein diets were found by Pang et al. (2024) to increase microbial richness and variety as well as changes in metabolite profiles, suggesting greater microbial activity and host metabolic responses.Strategies for protein supplementation can further alter the microbial communities in the rumen. According to Buryakov et al. (2022), supplementing with protein concentrate improved rumen health and feed efficiency by increasing cellulolytic bacterial populations and decreasing pathogenic microorganisms.Furthermore, Viquez-Umana et al. (2025) found that oscillating protein feeding patterns increased microbial diversity without substantially altering fermentation end products, indicating that temporal fluctuation in nitrogen supply may stabilize microbial ecosystems.Nitrogen availability influences host metabolism and rumen epithelial function in addition to microbial development. According to Ma et al. (2026), there is a significant relationship between microbial activity and host physiology since dietary nitrogen affects the expression of genes linked to nutrient transport and metabolic pathways in the rumen epithelium.Microbial protein synthesis is improved, nutrient utilization is improved, and environmental nitrogen losses are decreased when optimal nitrogen supply is synced with energy availability. Innovative feeding techniques and the utilization of different protein sources present intriguing ways to increase sustainability while preserving or increasing ruminant production.

Role of Feed Processing Techniques

Feed processing methods directly affect the physical and chemical properties of feed, which in turn determine its degradability, rate of fermentation, and accessibility to microbial populations, they are crucial modulators of rumen microbial dynamics. Particle size, surface area, and nutrient availability are all changed by processing techniques as grinding, pelleting, steam flaking, extrusion, chopping, and ensiling. These changes then influence the rumen's microbial colonization patterns and fermentation pathways.As a result, feed processing is a strategic instrument for maximizing rumen function and animal performance rather than just a technological stage in feed preparation.The alteration in particle size, which affects chewing activity, saliva production, and rumen retention time, is one of the main consequences of feed processing.Feeds that have been finely milled provide more surface area, which facilitates quick microbial adhesion and fermentation, especially of starch.

However, too much particle size reduction can reduce saliva buffering and rumination, which lowers ruminal pH and raises the risk of subacute ruminal acidosis (SARA). Coarser particles, on the other hand, encourage rumination and maintain rumen conditions, but they may restrict digestibility because of decreased microbial access. Optimizing forage particle size supports rumen health by increasing fibrolytic activity and microbial diversity, according to Zhang et al. (2025).

Grain processing, both mechanical and thermal, has a major impact on microbial consumption and starch availability. Steam flaking and extrusion are two methods that break the crystalline structure of starch granules, making them more vulnerable to amylolytic bacteria's enzymatic breakdown. Highly processed starch sources raise rumen-degradable starch (RDS), which causes rapid fermentation, increased synthesis of volatile fatty acids (VFAs), and possible pH drop, according to Yin et al. (2026). This increases propionate synthesis and energy availability, but it also requires careful dietary balance to avoid microbial dysbiosis.Compaction and pelleting techniques increase feed intake and decrease selective feeding, although they may change fermentation patterns. Because pelleted meals have smaller particles and more density, they frequently cause higher fermentation rates, which can cause microbial populations to shift in favor of amylolytic species. These advantages must be balanced, nevertheless, against possible declines in rumen buffering capacity and fiber digestibility. Izadbakhsh et al. (2024) showed that diets with optimized physical structure enhanced growth performance and nutrient digestibility, demonstrating the importance of both physical form and chemical content in feed design.Another significant processing technique that affects rumen microbial dynamics is ensiling, which modifies feed composition through fermentation before ingestion. Lactic acid bacteria preserve the feed and partially break down plant cell walls during ensiling by converting soluble carbohydrates into organic acids. Tayyab et al. (2022) found that while maize silage decreased ruminal pH and fiber digestibility due to its higher fermentability, it increased feed intake and milk output when compared to grass silage. Total mixed ration (TMR) silage with balanced forage-to-concentrate ratios improved ruminal degradability and fermentation characteristics, according to de Sousa et al. (2026).

Additionally, processing has an impact on nitrogen use and protein availability. Heat treatment of protein sources can increase the amount of rumen undegradable protein (RUP) and improve the host's supply of amino acids by decreasing ruminal degradability. Excessive heat treatment, however, could make proteins less digestible. In order to maximize microbial protein production and nutritional efficiency, Zain et al. (2024) emphasized the significance of balancing rumen degradable and undegradable protein fractions.To improve microbiological efficiency and lessen environmental effects, new feed processing technologies are being investigated in addition to traditional techniques. For instance, by breaking lignin–cellulose linkages and increasing substrate accessibility for fibrolytic bacteria, chemical treatments like alkali or ammonia treatment of forages can increase fiber digestibility. In a comparable manner, new strategies including controlled-release technology and encapsulation are being developed to control nutrient availability and synchronize fermentation processes.Bioactive substances and feed additives also interact with feed processing. Du et al. (2025) showed that adding complex phytonutrients to high-concentrate diets enhanced microbial composition and rumen fermentation, especially when paired with optimum processing methods.Similarly, plant-based dietary supplements improved digestibility and decreased methane emissions, as demonstrated by Akanmu et al. (2026). These effects might be magnified when feed is treated to boost bioavailability.Additionally, processing methods can affect microbial colonization on a tiny scale. According to Xie et al. (2025), feed physical structure and other rumen environmental factors influence microbial adhesion and biofilm formation on feed particles. Effective breakdown, especially of fibrous foods, requires efficient colonization.Overall, by affecting nutrient accessibility, fermentation kinetics, and microbial interactions, feed processing methods are crucial in regulating rumen microbial communities. While inappropriate processing can result in fast fermentation, microbial imbalance, and metabolic problems, appropriate processing techniques can increase digestibility, improve feed efficiency, and stabilize rumen conditions.Table 3 summarize the Role of Feed Processing and Additives on Rumen Microbiota and Environmental Sustainability.

Table 3: Role of Feed Processing and Additives on Rumen Microbiota and Environmental Sustainability

Feed Processing / Additive	Animal Model	Microbial Effects	Environmental / Productivity Outcomes	Reference
Early life rumen inoculation	Goat kids	Increased bacterial, methanogen, protozoal diversity	Faster adaptation to high-concentrate diets, reduced digestive disorders	Belanche, A., et al. (2026)
alfalfa hay vs corn stover rumen environments	Sheep	Fibrolytic bacteria colonization increased in CSR	Improved fiber degradation, DM & CP digestibility	Xie, X., et al. (2025)
Grazing + concentrate supplementation	Lambs	Lachnospiraceae gene expression altered	SCFA metabolism and nutrient absorption enhanced	Ma, X., et al. (2026)
General microbiome analysis	Ruminants	Microbial taxonomic profiling	Insights for greenhouse gas reduction & feed efficiency	Cholewińska, P., et al. (2020)
F:C ratios affecting metabolites	Yaks	Lipid, organic acid pathways shifted	Potential mitigation of enteric emissions via diet management	Pang, K., et al. (2022)

Feed Additives as Modulators of Rumen Microbiota

In the aim of lowering dependency on antibiotic growth promoters and enhancing sustainability in ruminant production systems, feed additives have become potent instruments for modifying rumen microbial communities. Probiotics, prebiotics, phytogenic chemicals, organic acids, enzymes, and methane inhibitors are some of the additives that affect microbial composition, fermentation routes, and metabolic outputs. Feed additives can improve nutrient uptake, stabilize rumen conditions, and reduce environmental effects like methane emissions by focusing on particular microbial groups or functions.Rumen microbial equilibrium is greatly influenced by probiotics, which are described as live bacteria that promote the host's health. Saccharomyces cerevisiae and other lactic acid bacteria are common probiotic strains.By promoting good microbial populations, enhancing fiber digestion, and lowering lactic acid buildup, these species improve rumen stability.According to Wang et al. (2025), supplementing high-concentrate diets with yeast β-glucan enhanced microbial diversity, decreased toxic metabolites, and stabilized ruminal pH, all of which lowered the incidence of subacute ruminal acidosis (SARA).Microbial modulation is further aided by prebiotics, which are indigestible feed ingredients that specifically boost helpful microorganisms.Mannanoligosaccharides and fructooligosaccharides are examples of compounds that suppress pathogenic species while promoting the growth of beneficial bacteria.Although their direct influence on rumen fermentation differs based on food composition and dosage, these actions boost immune responses and gut health.Because of their antibacterial and antioxidant qualities, phytogenic feed additives made from plant extracts, essential oils, and herbs have attracted a lot of interest. According to Akdemir Evrendilek (2026), phytogenics aid digestion, boost immunity, and improve microbial balance. According to Bature et al. (2024), phytogenic chemicals selectively inhibit pathogenic bacteria and methanogens, which lowers methane emissions and improves VFA profiles. Additionally, Akanmu et al. (2026) showed that plant extracts such Aloe vera, Jatropha curcas, and Moringa oleifera enhanced nutrient digestibility and decreased methane production, suggesting their potential as natural substitutes for traditional additives.A subset of phytogenic additives, essential oils have potent antibacterial properties against some rumen microorganisms. Although higher inclusion levels decreased total VFA synthesis, Idowu et al. (2026) shown that clove oil supplementation improved microbial diversity and promoted beneficial bacteria such Lactobacillus mucosae, indicating the necessity for ideal dosing regimens. Another class of additives that affect rumen fermentation by reducing pH and suppressing pathogenic microorganisms are organic acids and their salts.

Certain organic acids can stabilize rumen conditions when administered properly, especially in high-concentrate diets, although they are more frequently utilized in monogastric nutrition.By improving the breakdown of fibrous components, enzyme additions like cellulases and xylanases increase the amount of substrate available for microbial fermentation. Particularly in diets based on fodder, these enzymes collaborate with rumen microorganisms to increase feed efficiency and fiber digestibility.Because of their importance to the environment, methane inhibitors constitute an important field of study. By rerouting hydrogen use, substances like nitrate and some plant secondary metabolites function as alternate hydrogen sinks, lowering methane generation. According to Ntokome et al. (2026), nitrate supplementation helped mitigate methane while lowering ammonia concentrations and maintaining steady fermentation patterns.Novel feed additives with promising effects on rumen microbiota include postbiotics and bioactive metabolites. These substances, which come from microbial fermentation, have the ability to affect host-microbe relationships and microbial signaling pathways without the need for living things.

According to Du et al. (2025), lambs fed high-concentrate diets showed increased rumen fermentation, improved epithelial barrier function, and optimal microbial composition when supplemented with complex phytonutrients.A number of variables, such as animal species, physiological stage, dosage, and diet mix, affect how effective feed additives are. Crucially, when combined, additives frequently show antagonistic or synergistic interactions, underscoring the necessity of coordinated feeding techniques. Their effects extend beyond microbial composition to functional consequences as immunological response, metabolic efficiency, and nutritional digestibility.Additives can change gene expression, metabolic pathways, and microbial interactions, which can affect the rumen ecosystem's overall functionality, according to metagenomic and metabolomic research (Ma et al., 2026).Feed additives offer a flexible and efficient way to modify rumen microbial dynamics. These additives can increase feed efficiency, improve animal health, and lessen environmental effects by specifically affecting microbial populations and fermentation processes. However, in order to obtain desired results in sustainable ruminant production systems, their successful implementation necessitates a thorough understanding of diet–microbe interactions and careful adjustment of inclusion levels.

Conclusion

In ruminant production, feeding parameters have a significant impact on the rumen microbiota, influencing animal health, nutrient use, and environmental effects.Feed processing techniques, protein sources, carbohydrate types, and specific feed additives interact with the rumen microbial environment to modify metabolite profiles, microbial diversity, and fermentation patterns.Energy efficiency, microbial protein synthesis, nitrogen consumption, and methane emissions are all directly impacted by these interactions, underscoring the interdependence of host performance, microbial dynamics, and nutrition.The rumen microbiota actively influences host nutrition and health rather than being a passive participant. Microbial populations can be selectively altered to improve advantageous results, respond to feed processing methods, and adapt to dietary inputs.A comprehensive strategy that incorporates both microbial and host viewpoints is crucial since host factors, such as genetics, immunological responses, and physiological state, further influence microbial composition.This knowledge enables the development of precision feeding strategies, tailored feed additives, and microbial management approaches to optimize feed efficiency, reduce environmental impact, and improve animal welfare.

REFERENCES

Akanmu, A. M., Hassen, A., van Marle-Köster, E., & Adejoro, F. A. (2026). Dietary plant extracts reduce methane emission and modulate rumen microbial functionality in Merino lambs. Scientific Reports.

Akdemir Evrendilek, G. (2026). Postbiotics and Phytogenics as Functional Feed Additives: Impact on Gut Health and Growth Performance. Applied Sciences, 16(3), 1518.

Arshad, M. A., Carvalho, M. G. M., Menezes, R. A., Almeida, K. V., Osuolale, O. R., Khandakar, M. M. H., ... & Brito, A. F. (2026). In situ ruminal degradation kinetics of grass-legume mix baleage isoflavones in dairy cows fed diets with different forage: concentrate ratios. JDS Communications.

Baldwin, R. L., Koong, L. J., & Ulyatt, M. J. (1977). A dynamic model of ruminant digestion for evaluation of factors affecting nutritive value. Agricultural Systems, 2(4), 255-288.

Bature, I., Xiaohu, W., & Ding, X. (2024). The roles of phytogenic feed additives, trees, shrubs, and forages on mitigating ruminant methane emission. Frontiers in Veterinary Science, 11, 1475322.

Belanche, A., Palma-Hidalgo, J. M., & Yáñez-Ruiz, D. R. (2026). Increasing Rumen Microbial Diversity in Goats Favours the Adaptation to High-Concentrate Diets With Minor Effects on Feed Utilization. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 110(1), 148-168.

Buryakov, N. P., Aleshin, D. E., Buryakova, M. A., Zaikina, A. S., Laptev, G. Y., Ilina, L. A., ... & Fathala, M. M. (2022). Influence of using various levels of protein concentrate in rations of Ayrshire dairy cows on rumen microbiome, reproductive traits and economic efficiency. Veterinary Sciences, 9(10), 534.

Chishti, M. F. A., Rahman, M. A. U., Jatta, K., Khan, S., Riaz, M., Bilal, Q., ... & Rasul, F. (2022). Effect of forage to concentrate ratio on growth performance and feeding behavior of Thalli lambs. Tropical animal health and production, 54(4), 236.

Cholewińska, P., Czyż, K., Nowakowski, P., & Wyrostek, A. (2020). The microbiome of the digestive system of ruminants–a review. Animal health research reviews, 21(1), 3-14.

Dai, R., Ma, X., Dingkao, R., Huang, C., La, Y., Li, X., ... & Liang, C. (2023). Effects of dietary crude protein levels in the concentrate supplement after grazing on rumen microbiota and metabolites by using metagenomics and metabolomics in Jersey-yak. Frontiers in Microbiology, 14, 1124917.

de Sousa, A. R., de Araújo, M. J., Medeiros, O. T., Dias-Silva, T. P., Gurgel, A. L. C., de Souza Miranda, R., ... & Edvan, R. L. (2026). Fermentation quality, microbial dynamics, and rumen degradability of total mixed ration silages containing Manihot sp'foliage. Tropical Animal Health and Production, 58(2), 141.

Du, J., Wang, Y., Su, S., Wang, W., Guo, T., Hu, Y., ... & Xu, X. (2025). Supplementation with complex phytonutrients enhances rumen barrier function and growth performance of lambs by regulating rumen microbiome and metabolome. Animals, 15(2), 228.

Idowu, A. P., Motsei, L. E., Egbu, C. F., & Mnisi, C. M. (2026). Influence of Dietary Clove oil Supplementation on Proximate Constituents, in vitro Ruminal Fermentation Efficiency and Microbial Composition. Natural Product Communications, 21(3), 1934578X251410059.

Izadbakhsh, M. H., Hashemzadeh, F., Alikhani, M., Ghorbani, G. R., Khorvash, M., Heidari, M., ... & Ahmadi, F. (2024). Effects of dietary fiber level and forage particle size on growth, nutrient digestion, Ruminal fermentation, and behavior of Weaned Holstein Calves under heat stress. Animals, 14(2), 275.

Khattab, M. S., Cao, P., Zhang, S., Liu, Y., Li, T., Tang, S., ... & Tan, Z. (2026). Mulberry Silage as Alternative to Soybean Meal Protein in Ruminant Diet: Effect on Growth Performance, Digestion, Antioxidant Capacity, and Carcass Characteristics of Goats. Animals, 16(5), 787.

Kholif, A. E., & Patra, A. K. (2024). Dietary applications of exogenous enzymes to improve nutrient utilization and performance in ruminants. Feed Additives and Supplements for Ruminants, 1-28.

Ma, X., Wang, B., Xu, M., Zhang, Y., Liu, N., Teng, L., ... & Luo, H. (2026). Multiomics insights into rumen microbiome and function in grazing lambs: implications for nutrient absorption and grassland sustainability. Microbiome, 14(1), 30.

Ntokome, K., Obitsu, T., Hisadomi, S., Inabu, Y., & Sugino, T. (2026). Effect of Nitrate Supplementation on Digestion, Rumen Fermentation, Plasma Metabolites, and Nitrogen Use in Sheep Fed a High-Forage Diet. Animal Science Journal, 97(1), e70145.

Pang, K., Chai, S., Yang, Y., Wang, X., Liu, S., & Wang, S. (2022). Dietary forage to concentrate ratios impact on yak ruminal microbiota and metabolites. Frontiers in Microbiology, 13, 964564.

Pang, K., Wang, J., Chai, S., Yang, Y., Wang, X., Liu, S., ... & Wang, S. (2024). Ruminal microbiota and muscle metabolome characteristics of Tibetan plateau yaks fed different dietary protein levels. Frontiers in Microbiology, 15, 1275865.

Souza, J. M., Ribeiro, P. H., & Millen, D. D. (2026). Shifts of rumen microbiota by feeding non-fibrous carbohydrates to improve cattle performance. Frontiers in Microbiology, 17, 1735296.

Tayyab, U., Sinclair, L. A., Wilkinson, R. G., Humphries, D. J., & Reynolds, C. K. (2022). Milk production, rumen function, and digestion in dairy cows fed diets differing in predominant forage and concentrate type. Animal Feed Science and Technology, 284, 115151.

Viquez-Umana, F. L., Erickson, M., Young, J. D., Zanton, G. I., Wattiaux, M. A., Suen, G., & Mantovani, H. C. (2025). Assessing the impact of oscillating dietary crude protein on the stability of the rumen microbiome in dairy cattle. Frontiers in Microbiology, 16, 1568112.

Wang, J., Wu, D., Wang, Z., Shi, L., Hu, R., Yue, Z., ... & Zou, H. (2025). Effects of yeast β-glucan on fermentation parameters, microbial community structure, and rumen epithelial cell function in high-concentrate-induced yak rumen acidosis in vitro. International Journal of Biological Macromolecules, 314, 144441.

Xie, X., Wang, J. K., Liu, J. X., Guan, L. L., & Neves, A. L. A. (2025). Temporal microbial colonization on different forages is driven by the rumen environmental conditions. Animal Microbiome, 7(1), 46.

Yin, Q., Wu, S., Lei, X., Zhang, J., Wang, D., Li, X., & Yao, J. (2026). Revisiting starch degradability in dairy ruminants: from feed processing to gut microbiota and metabolic regulation. Journal of Animal Science and Biotechnology, 17(1), 54.

Zain, M., Tanuwiria, U. H., Syamsu, J. A., Yunilas, Y., Pazla, R., Putri, E. M., ... & Bagaskara, B. (2024). Nutrient digestibility, characteristics of rumen fermentation, and microbial protein synthesis from Pesisir cattle diet containing non-fiber carbohydrate to rumen degradable protein ratio and sulfur supplement. Veterinary World, 17(3), 672.

Zhang, X., Liu, X., Xie, K., Pan, Y., Liu, F., & Hou, F. (2025a). Effects of different fiber levels of energy feeds on rumen fermentation and the microbial community structure of grazing sheep. BMC microbiology, 25(1), 180.

Zhang, Z., Li, F., Li, F., Wang, Z., Guo, L., Weng, X., ... & Li, X. (2025b). Influence of dietary forage neutral detergent fiber on ruminal fermentation, chewing activity, nutrient digestion, and ruminal microbiota of Hu sheep. Animals, 15(3), 314.

Zhu, W., Liu, T., Deng, J., Wei, C. C., Zhang, Z. J., Wang, D. M., & Chen, X. Y. (2022). Microbiome-metabolomics analysis of the effects of decreasing dietary crude protein content on goat rumen mictobiota and metabolites. Animal Bioscience, 35(10), 1535.

RADİKÜLER KİST ENÜKLEASYONU SONRASI CERRAHİ KEMİK DEFEKTİNİN KONSANTRE BÜYÜME FAKTÖRÜ (KBF) İLE REJENERATİF TEDAVİSİ: 6 AYLIK KLİNİK VE RADYOLOJİK TAKİP

REGENERATIVE TREATMENT OF THE SURGICAL BONE DEFECT USING CONCENTRATED GROWTH FACTOR (CGF) FOLLOWING RADICULAR CYST ENUCLEATION: 6-MONTH CLINICAL AND RADIOLOGICAL FOLLOW-UP

Muhammet AKIN
Res. Asst., Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Dentistry, Department of Oral and Maxillofacial Surgery
ORCID ID: 0009-0005-4225-3414

Şeyma Eda AKIN
Res. Asst., Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Dentistry, Department of Endodontics
ORCID ID: 0009-0005-9280-2434

ÖZET
Radiküler kistler, inflamatuvar odontojenik kistlerin en sık görülen alt grubunu oluşturur ve çoğunlukla devital dişlerin periapikal bölgesiyle ilişkilidir. Lezyon hacmi arttığında kortikal ekspansiyon, çevre kemik dokuda rezorpsiyon ve komşu dişlerin biyolojik bütünlüğünde bozulma gibi klinik sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Geniş kistik lezyonların enükleasyonu sonrasında gelişen rezidüel kemik boşluğunun hangi hız ve kalitede iyileşeceği ise klinik karar verme sürecinde önem taşımaktadır. Konsantre Büyüme Faktörü (KBF/CGF), otolog kan ürünü olması, yoğun fibrin matriksi içermesi ve büyüme faktörlerinden zengin yapısı nedeniyle cerrahi sahada iyileşmeyi biyolojik olarak destekleyebilecek yardımcı bir materyal olarak gündeme gelmiştir. Bu tam metinde, sağ mandibular posterior bölgede yerleşimli geniş radiküler kistin enükleasyonu sonrasında oluşan kemik defektinin KBF ile yönetildiği 16 yaşındaki kadın hastaya ait 6 aylık klinik ve radyolojik takip bulguları sunulmaktadır. Panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi incelemelerinde 46 numaralı dişle ilişkili, yaklaşık 16 × 14 × 20 mm boyutlarında, iyi sınırlı uniloküler radyolüsent lezyon saptandı. Lokal anestezi altında 46 numaralı diş çekildi; tam kalınlıklı mukoperiostal flep kaldırılarak lezyon inferior alveolar sinir komşuluğu gözetilerek total olarak enüklee edildi. Cerrahi kavite serum fizyolojik ve rifampisin irrigasyonu ile dekontamine edildikten sonra hastadan elde edilen otolog KBF defekt alanına yerleştirildi ve primer kapama sağlandı. Histopatolojik inceleme radiküler kist tanısını doğruladı. Birinci hafta kontrolünde komplikasyonsuz yumuşak doku iyileşmesi izlendi. Erken takipte 47 numaralı dişe endodontik tedavi uygulandı ve 45 numaralı dişin vitalitesinin korunduğu doğrulandı. Altıncı ay değerlendirmesinde yumuşak doku bütünlüğünün korunduğu, enfeksiyon veya nüks lehine bulgu olmadığı, radyolojik olarak ise belirgin kemik dolumu ve organize trabeküler yapılanmanın geliştiği gözlendi. Olguya ait klinik seyir, KBF uygulamasının cerrahi kemik defektinin iyileşmesini destekleyen adjuvan bir yaklaşım olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir; bununla birlikte mevcut bulguların kontrollü çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Radiküler kist, Konsantre Büyüme Faktörü (KBF), kemik rejenerasyonu, enükleasyon

ABSTRACT
Radicular cysts are the most frequently encountered subgroup of inflammatory odontogenic cysts and are usually associated with the periapical region of non-vital teeth. As lesion size increases, cortical expansion, osseous resorption, and biological compromise of adjacent teeth may become clinically evident. The healing pattern of the residual osseous cavity after enucleation of large cystic lesions is therefore a relevant clinical concern. Concentrated Growth Factor (CGF), an autologous blood-derived product characterized by a dense fibrin scaffold and a high content of growth factors, has been proposed as a biological adjunct capable of supporting postoperative wound healing. This full-text paper presents the 6-month clinical and radiological follow-up of a 16-year-old female patient in whom the surgical bone defect created after enucleation of a large radicular cyst in the right mandibular posterior region was managed with CGF. Panoramic radiography and cone-beam computed tomography demonstrated a

well-defined unilocular radiolucent lesion measuring approximately 16 × 14 × 20 mm in relation to tooth #46. Under local anesthesia, tooth #46 was extracted, a full- thickness mucoperiosteal flap was elevated, and the lesion was totally enucleated while preserving the inferior alveolar neurovascular vicinity. Following irrigation and decontamination with saline and rifampicin, the cavity was filled with autologous CGF and closed primarily. Histopathological examination confirmed the diagnosis of radicular cyst. Uneventful soft tissue healing was observed at the first postoperative week. During early follow-up, endodontic treatment was performed for tooth #47, while tooth #45 remained vital. At the 6-month evaluation, intact soft tissue coverage, absence of infection or recurrence, and marked bone fill with organized trabecular architecture were noted radiologically. Within the limitations of a single-case observation, these findings suggest that CGF may serve as a useful adjunct in supporting healing after radicular cyst surgery, although its actual contribution should be clarified by controlled comparative studies.
Keywords: Radicular cyst, Concentrated Growth Factor (CGF), bone regeneration, enucleation.

1. GİRİŞ

Radiküler kistler, kronik periapikal inflamasyon zemininde gelişen ve odontojenik kistlerin önemli bir bölümünü oluşturan lezyonlardır. Farklı toplumlarda yapılan epidemiyolojik çalışmalarda, inflamatuvar kistlerin ve özellikle radiküler kistlerin odontojenik kist spektrumu içinde en sık karşılaşılan grubu temsil ettiği bildirilmiştir (Bataineh vd., 2004; Ochsenius vd., 2007).

Bu lezyonlar erken evrede çoğu kez sessiz seyredebilmektedir; ancak boyut arttıkça bukkolingual ekspansiyon, kortikal kemikte incelme ya da perforasyon, komşu dişlerde devitalizasyon ve bazen nörovasküler yapılarla yakın komşuluk gibi klinik açıdan önemli sonuçlar doğurabilmektedir. Bu nedenle tedavi planlaması yalnızca kistin ortadan kaldırılmasına değil, tedavi sonrasında oluşacak kemik defektinin nasıl iyileşeceğine de odaklanmalıdır.

Radiküler kistlerin cerrahi yönetiminde dekompresyon, marsupyalizasyon ve enükleasyon gibi farklı seçenekler uygulanabilmektedir. Tam enükleasyon, özellikle sınırları belirgin lezyonlarda patolojik dokunun tek seansta uzaklaştırılabilmesi açısından güçlü bir yaklaşım olmakla birlikte, geride kalan defektin spontan iyileşme kapasitesi her olguda aynı düzeyde değildir. Yine de literatür, özellikle genç bireylerde ve kemik duvarları görece korunmuş vakalarda, büyük çene kistleri sonrasında spontan kemik dolumunun belirgin düzeyde gerçekleşebileceğini göstermektedir (Ku vd., 2022).

Son yıllarda otolog trombosit konsantreleri, rejeneratif potansiyeli desteklemek amacıyla ağız, diş ve çene cerrahisinin farklı alanlarında giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu ürünler arasında yer alan Konsantre Büyüme Faktörü (KBF), yoğun fibrin matriksi içinde trombosit kaynaklı biyomolekülleri barındırması nedeniyle ilgi çekmektedir. Biyolojik içeriğine ilişkin çalışmalarda KBF'nin çeşitli büyüme faktörleri ve iyileşme ile ilişkili mediyatörler içerdiği; bu yapının hücresel proliferasyon, migrasyon, anjiyogenez ve doku organizasyonunu destekleyebileceği bildirilmiştir (Chen & Jiang, 2020; Li vd., 2021).

Deneysel ve klinik veriler, bu biyomateryalin kemik iyileşmesini destekleyebilecek bir yardımcı ajan olabileceğini düşündürmekle birlikte, etkinliğinin endikasyona özgü ve dikkatli yorumlanması gerekmektedir (Kim vd., 2014; Yahata vd., 2023).

Bu tam metin bildirinin amacı, sağ mandibular posterior bölgede yerleşimli radiküler kistin enükleasyonu sonrasında oluşan cerrahi kemik defektinin KBF ile yönetildiği bir olguyu ayrıntılı biçimde sunmak; klinik ve radyolojik bulguları, mevcut literatür eşliğinde metodolojik temkin korunarak değerlendirmektir.

2. VAKA RAPORU VE BULGULAR

Olguya İlişkin Klinik Bilgiler

Bu çalışma, tek olguya dayalı gözlemsel nitelikte bir klinik sunumdur. Bildiri hazırlanması ve bilimsel ortamda sunulması için hastadan ve/veya yasal temsilcisinden bilgilendirilmiş onam alındı. Sistemik anamnezinde özellik bulunmayan 16 yaşındaki kadın hasta, sağ mandibular posterior bölgede ağrı ve ekspansiyon yakınması ile başvurdu. Klinik değerlendirmede sağ alt molar bölgeyle uyumlu lokalize şişlik izlendi.

Radyolojik Değerlendirme
Panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi incelemelerinde, 46 numaralı dişin periapikal bölgesinde yerleşimli, iyi sınırlı, uniloküler radyolüsent karakterde bir lezyon saptandı. Lezyonun yaklaşık 16 × 14 × 20 mm boyutlarında olduğu; bukkal kortikal kemikte ekspansiyon, kortikal bütünlükte incelme ve rezorptif değişikliklere neden olduğu görüldü (Şekil 1).
Vitalite değerlendirmelerinde 46 numaralı dişin devital olduğu belirlendi. Komşu dişlerden 45 numaralı dişin vitalitesini koruduğu, 47 numaralı dişin ise devital yanıt verdiği saptandı. Klinik ve radyolojik bulgular bir arada değerlendirildiğinde, ön tanı radiküler kist olarak kabul edildi ve cerrahi enükleasyon planlandı.

Cerrahi Uygulama
Lokal anestezi altında öncelikle 46 numaralı diş çekildi. Ardından tam kalınlıklı mukoperiostal flep kaldırılarak cerrahi sahaya doğrudan erişim sağlandı ve defekt sınırları ortaya kondu. Lezyon, inferior alveolar sinir komşuluğu dikkate alınarak çevre kemik dokudan dikkatle ayrıldı ve total enükleasyon gerçekleştirildi.
Kavite içerisinde bulunan patolojik dokular bütünüyle uzaklaştırıldı. Bukkal kortikal kemiğin ileri düzeyde rezorbe olduğu alanlarda bütünlüğünü kaybetmiş ve etkilenmiş kemik segmentleri debride edilerek saha temizlendi. Cerrahi olarak eksize edilen kistik doku makroskopik olarak değerlendirildi; materyalin boyutunun radyolojik olarak saptanan lezyon hacmi ile uyumlu olduğu görüldü. Daha sonra gerçekleştirilen histopatolojik inceleme, lezyonun radiküler kist ile uyumlu olduğunu doğruladı.
Cerrahi kavite irrigasyon ile temizlendikten sonra KBF hazırlama protokolü uygulandı.

KBF hazırlama protokolü: Cerrahi işlem sırasında hastadan aseptik koşullarda yaklaşık 20 cc periferik venöz kan alındı ve örnekler antikoagülans içermeyen steril tüplere aktarıldı. Kan örnekleri bekletilmeden, değişken hızlı otomatik programa sahip santrifüj cihazında KBF protokolüne uygun olarak santrifüje edildi. Literatürde tarif edilen klasik protokol; 30 saniye hızlanma, 2 dakika 2700 rpm, 4 dakika 2400 rpm, 4 dakika 2700 rpm, 3 dakika 3000 rpm ve 36 saniye yavaşlama fazlarından oluşmaktadır. Santrifüj sonrasında üstteki platelet-poor plasma kısmı ayrıldı; orta tabakada elde edilen yoğun fibrin matriksli KBF pıhtıları steril pens yardımıyla alındı. Bu olguda toplam iki adet CGF pıhtısı elde edilerek defekt hacmine uygun biçimde cerrahi kaviteye yerleştirildi. Hastadan elde edilen otolog Konsantre Büyüme Faktörü, defekt hacmine uygun şekilde kaviteye yerleştirildi (Şekil 2). Bu aşamada amaç, cerrahi sonrası erken dönemde fibrin temelli biyolojik bir iskele oluşturarak yumuşak doku iyileşmesini ve kemik rejenerasyonunu desteklemekti. Flep pasif olarak repoze edildi ve primer kapama sağlandı.

Postoperatif İzlem ve Bulgular
Postoperatif birinci hafta kontrolünde yumuşak doku iyileşmesinin komplikasyonsuz seyrettiği izlendi. Cerrahi sahada enfeksiyon, dehisens veya belirgin inflamatuvar reaksiyon saptanmadı. Erken dönem takipte 47 numaralı dişe endodontik tedavi uygulandı; 45 numaralı dişin vitalitesinin korunduğu klinik olarak doğrulandı.
Üçüncü ay kontrolünde operasyon sahasında fizyolojik iyileşmenin sürdüğü gözlendi. Radyolojik incelemede defekt sınırlarından merkeze doğru uzanan erken kemik formasyonuna ait bulgular dikkati çekti. Altıncı ay klinik değerlendirmesinde ise cerrahi sahada yumuşak doku bütünlüğünün korunduğu, ağrı, enfeksiyon veya nüks lehine ek bir patolojik bulgu bulunmadığı belirlendi.
Altıncı ay radyolojik kontrolünde cerrahi defekt alanında belirgin kemik dolumu, artmış radyopasite ve organize trabeküler kemik paterni izlendi. Preoperatif görüntüler ile karşılaştırıldığında, lezyon boşluğunda progresif bir rejeneratif süreç olduğu değerlendirildi. Mevcut veriler, olguda hem klinik hem de radyolojik açıdan olumlu bir iyileşme örüntüsünün geliştiğini ortaya koydu (Şekil 3).

3. TARTIŞMA
Sunulan olguda, 6 aylık takip sonunda komplikasyonsuz yumuşak doku iyileşmesi ile birlikte radyolojik olarak belirgin kemik dolumu izlenmiştir. Bununla birlikte, bu sonucun tümüyle KBF uygulamasına atfedilmesi metodolojik açıdan doğru olmayacaktır.

Çünkü büyük çene kistlerinin enükleasyonu sonrasında, özellikle genç yaş grubunda ve defekt duvarlarının belirli ölçüde korunduğu vakalarda spontan kemik rejenerasyonunun da anlamlı katkı sağlayabildiği bilinmektedir (Chacko vd., 2015; Ihan Hren & Miljavec, 2008; Ku vd., 2022). Bu olguda hastanın 16 yaşında olması ve cerrahi sonrası yakın takip altında tutulması, gözlenen iyileşmenin doğasını yorumlarken dikkate alınması gereken önemli değişkenlerdir.

Diğer taraftan, KBF'nin biyolojik etkisini tümüyle göz ardı etmek de uygun değildir. KBF'nin içerdiği yoğun fibrin ağı ve büyüme faktörleri; hücre göçü, damar oluşumu ve doku organizasyonu açısından elverişli bir mikroçevre oluşturabilmektedir. Masuki ve ark. (2016) ile Takahashi ve ark. (2019), CGF preparatlarının iyileşme ile ilişkili çeşitli biyolojik mediyatörler içerdiğini ve bu mediyatörlerin matriks içinde dağılım gösterdiğini bildirmiştir. Buna paralel olarak Chen ve Jiang (2020) ile Li ve ark. (2021), CGF'ye ilişkin derlemelerinde bu biyomateryalin rejeneratif tıpta destekleyici kullanım potansiyeline dikkat çekmiştir.

Deneysel düzeyde, Kim ve ark. (2014) tarafından oluşturulan tavşan kalvaryal defekt modelinde CGF uygulanan gruplarda kemik oluşumunu destekleyen bulgular rapor edilmiştir. Klinik düzeyde ise Yahata ve ark. (2023), kök ucu cerrahisinde CGF kullanımının kemik iyileşmesini hızlandırabileceğine işaret eden çok merkezli randomize bir çalışma yayımlamıştır. Bununla birlikte söz konusu çalışmaların endikasyonu, defekt geometrisi ve biyolojik ortamı sunulan olgudan farklıdır. Bu nedenle bu veriler, radiküler kist enükleasyonu sonrasındaki cerrahi kaviteler için ancak dolaylı destekleyici kanıt niteliğinde yorumlanmalıdır.

Bu olguda KBF uygulamasının en önemli klinik karşılığı, boşluğun biyolojik olarak desteklenmesi ve yara yerinde stabil bir iyileşme ortamı oluşturulması olabilir. Özellikle ilk hafta içinde komplikasyonsuz seyir ve altıncı ayda organize trabeküler yapılanmanın izlenmesi, bu yaklaşımın adjuvan potansiyeline işaret etmektedir. Ancak tek olgu üzerinden nedensellik kurulamayacağı, iyileşmenin doğal seyri ile biyomateryal katkısının birbirinden kesin biçimde ayrıştırılamayacağı da vurgulanmalıdır.

Dolayısıyla mevcut olgu, KBF'nin geniş radiküler kist cerrahilerinde umut verici bir yardımcı uygulama olabileceğini düşündürmekle birlikte, kanıt düzeyi bakımından hipotez üreten niteliktedir. Gerçek etkinliğin gösterilebilmesi için benzer defekt hacmine sahip olguların, standart cerrahi tedavi ile KBF destekli tedavinin karşılaştırıldığı, kontrollü ve daha geniş örneklemli klinik çalışmalara gereksinim vardır.

4. SONUÇ

Sunulan olguda, radiküler kistin total enükleasyonu sonrasında oluşan cerrahi kemik defektinin otolog KBF ile desteklenmesini takiben; erken dönemde komplikasyonsuz yumuşak doku iyileşmesi, takip sürecinde komşu dişlerden 45 numaralı dişin vitalitesinin korunması ve altıncı ayda belirgin kemik dolumu ile organize trabeküler yapılanma gözlenmiştir (Şekil 3).

Mevcut klinik ve radyolojik bulgular, KBF uygulamasının cerrahi boşluğun iyileşmesini destekleyen yararlı bir adjuvan yaklaşım olarak değerlendirilebileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte olgunun genç yaşta olması ve spontan kemik iyileşmesinin literatürde de tanımlanmış bir süreç olması nedeniyle, gözlenen rejeneratif yanıt bütünüyle KBF'ye atfedilmemelidir.

Sonuç olarak KBF, radiküler kist cerrahisi sonrasında biyolojik iyileşme ortamını güçlendirebilecek umut verici bir seçenek görünümündedir; ancak yöntemin gerçek katkısının ortaya konması için kontrollü, karşılaştırmalı ve uzun dönem takipli klinik araştırmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

Bataineh, A. B., Rawashdeh, M. A., & Al Qudah, M. A. (2004). The prevalence of inflammatory and developmental odontogenic cysts in a Jordanian population: a clinicopathologic study. *Quintessence international (Berlin, Germany : 1985)*, *35*(10), 815-819.

Chacko, R., Kumar, S., Paul, A., & Arvind. (2015). Spontaneous Bone Regeneration After Enucleation of Large Jaw Cysts: A Digital Radiographic Analysis of 44 Consecutive Cases. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, *9*(9), ZC84. https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13394.6524

Chen, J., & Jiang, H. (2020). A Comprehensive Review of Concentrated Growth Factors and Their Novel Applications in Facial Reconstructive and Regenerative Medicine. *Aesthetic plastic surgery*, *44*(3), 1047-1057. https://doi.org/10.1007/S00266-020-01620-6

Ihan Hren, N., & Miljavec, M. (2008). Spontaneous bone healing of the large bone defects in the mandible. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *37*(12), 1111-1116. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2008.07.008

Kim, T. H., Kim, S. H., Sádor, G. K., & Kim, Y. D. (2014). Comparison of platelet-rich plasma (PRP), platelet-rich fibrin (PRF), and concentrated growth factor (CGF) in rabbit-skull defect healing. *Archives of Oral Biology*, *59*(5), 550-558. https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.02.004

Ku, J. K., Han, M., Yongvikul, A., Huh, J. K., & Kim, J. Y. (2022). Volumetric analysis of spontaneous bone healing after jaw cyst enucleation. *Scientific reports*, *12*(1). https://doi.org/10.1038/S41598-022-16921-W

Li, Z., Liu, L., Wang, L., & Song, D. (2021). The effects and potential applications of concentrated growth factor in dentin–pulp complex regeneration. *Stem Cell Research & Therapy*, *12*(1), 357. https://doi.org/10.1186/S13287-021-02446-Y

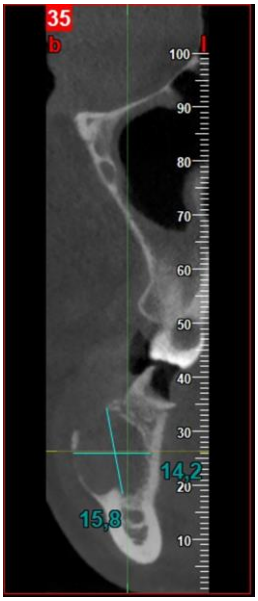
Masuki, H., Okudera, T., Watanebe, T., Suzuki, M., Nishiyama, K., Okudera, H., Nakata, K., Uematsu, K., Su, C.-Y., & Kawase, T. (2016). Growth factor and pro-inflammatory cytokine contents in platelet-rich plasma (PRP), plasma rich in growth factors (PRGF), advanced platelet-rich fibrin (A-PRF), and concentrated growth factors (CGF). *International journal of implant dentistry*, *2*(1). https://doi.org/10.1186/S40729-016-0052-4

Ochsenius, G., Escobar, E., Godoy, L., & Peñafiel, C. (2007). Odontogenic cysts: analysis of 2,944 cases in Chile. *Medicina oral, patologia oral y cirugia bucal*, *12*(2), E85-91.

Takahashi, A., Tsujino, T., Yamaguchi, S., Isobe, K., Watanabe, T., Kitamura, Y., Okuda, K., Nakata, K., & Kawase, T. (2019). Distribution of platelets, transforming growth factor-β1, platelet-derived growth factor-BB, vascular endothelial growth factor and matrix metalloprotease-9 in advanced platelet-rich fibrin and concentrated growth factor matrices. *Journal of investigative and clinical dentistry*, *10*(4), e12458. https://doi.org/10.1111/JICD.12458

Yahata, Y., Handa, K., Ohkura, N., Okamoto, M., Ohshima, J., Itoh, S., Kawashima, N., Tanaka, T., Sato, N., Noiri, Y., Hayashi, M., Okiji, T., & Saito, M. (2023). Autologous concentrated growth factor mediated accelerated bone healing in root-end microsurgery: A multicenter randomized clinical trial. *Regenerative Therapy*, *24*, 377-384. https://doi.org/10.1016/j.reth.2023.08.006

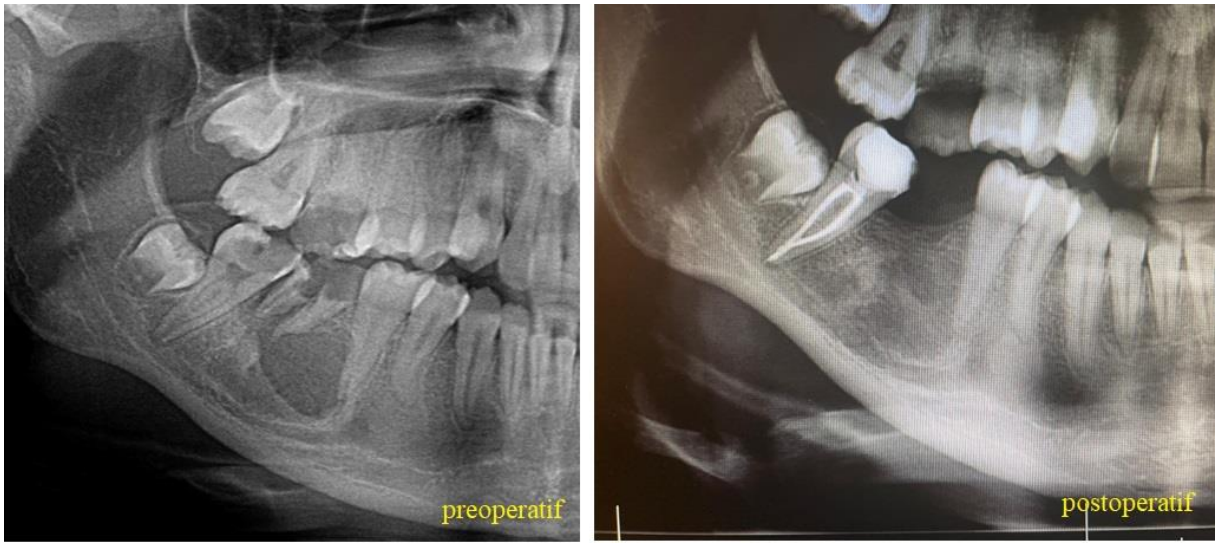
ŞEKİLLER



Şekil 1. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT/CBCT) görüntüsünde radiküler kistin boyutlarının değerlendirilmesi.



Şekil 2. Solda santrifüj sonrası elde edilen konsantre büyüme faktörü (KBF), ortada defekt kavitesine uygulanmaya hazır KBF materyali, sağda ise KBF'nin cerrahi kaviteye yerleştirilme aşaması izlenmektedir.



Şekil 3. Solda preoperatif panoramik radyografide kistik lezyonun belirgin olarak izlendiği görünüm, sağda ise cerrahi işlemden 6 ay sonra alınan panoramik radyografide iyileşme gösteren defekt alanı.

ÇOCUKLARDA TRAVMA SONRASI BESLENMEDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

CURRENT APPROACHES TO POST-TRAUMATIC NUTRITION IN CHILDREN

Hacer ALATAŞ
Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0000-0002-6441-0362

Merve KURT
Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0009-0004-2999-9011

ÖZET

Travma, çocukluk döneminde önemli morbidite nedenlerinden biri olup yalnızca fiziksel yaralanmalarla sınırlı kalmayan, aynı zamanda metabolik, hormonal ve psikolojik süreçleri etkileyen kompleks bir durumdur. Travmatik olayların ardından organizmada sistemik bir stres yanıtı ortaya çıkmakta ve bu süreç hipermetabolizma, artmış enerji gereksinimi ve protein katabolizması ile karakterize edilmektedir. Özellikle büyüme ve gelişme döneminde olan çocuklarda travma sonrası metabolik değişiklikler enerji ve protein gereksinimlerinin belirgin şekilde artmasına neden olabilmektedir.

Travmanın fizyolojik etkilerinin yanı sıra psikolojik sonuçları da çocukların beslenme davranışlarını etkileyebilmektedir. Travma sonrası stres bozukluğu, anksiyete ve depresyon gibi psikiyatrik durumlar iştah değişiklikleri, yeme reddi, seçici yeme davranışı ve duygusal yeme gibi çeşitli beslenme sorunları ile ilişkilendirilmektedir. Ayrıca son yıllarda yapılan çalışmalar travmanın beyin–bağırsak ekseni üzerinden bağırsak mikrobiyotası ve nöroendokrin mekanizmalar üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Travma sonrası dönemde uygun beslenme desteğinin sağlanması iyileşme sürecinin desteklenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Güncel literatürde erken enteral beslenmenin gastrointestinal sistem bütünlüğünü koruduğu, komplikasyon riskini azalttığı ve hastanede kalış süresini kısalttığı bildirilmektedir. Bu çalışmada çocuklarda travma sonrası dönemde ortaya çıkan metabolik ve psikolojik değişikliklerin beslenme üzerindeki etkileri ele alınmış ve travma sonrası beslenme yönetiminde önerilen güncel yaklaşımlar literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çocuk, travma, beslenme, hipermetabolizma, enteral beslenme

ABSTRACT

Trauma during childhood is a significant health problem that affects not only physical health but also metabolic, hormonal, and psychological processes. Following traumatic events, the body develops a systemic stress response characterized by hypermetabolism, increased energy expenditure, and enhanced protein catabolism. These metabolic alterations may significantly increase energy and protein requirements, particularly in children who are in a critical period of growth and development.

In addition to physiological changes, trauma may influence eating behaviors through psychological mechanisms. Psychiatric conditions such as post-traumatic stress disorder, anxiety, and depression are frequently associated with appetite changes, food refusal, selective eating behaviors, and emotional eating. Recent studies also highlight the role of the gut–brain axis, suggesting that trauma-related stress responses may alter gut microbiota and neuroendocrine signaling, which may further influence nutritional behavior.

Adequate nutritional support during the post-trauma period plays a crucial role in recovery and clinical outcomes. Current evidence suggests that early enteral nutrition supports gastrointestinal integrity, reduces complications, and shortens hospital stay. This study reviews the metabolic and psychological effects of trauma on nutrition in children and evaluates current approaches to nutritional management in the post-trauma period based on recent literature.

Keywords: trauma, pediatric nutrition, hypermetabolism, enteral nutrition

1.GİRİŞ

Travma, çocukluk döneminde hem fiziksel hem de psikolojik sağlık üzerinde önemli etkiler oluşturabilen bir durumdur.

Travmatik olayların ardından organizmada gelişen stres yanıtı metabolik süreçlerde önemli değişikliklere yol açarak hipermetabolik bir tablo ortaya çıkarabilmektedir. Bu süreçte enerji harcaması artmakta, protein katabolizması hızlanmakta ve kas dokusunda kayıplar meydana gelebilmektedir. Özellikle büyüme ve gelişme döneminde olan çocuklarda bu metabolik değişiklikler beslenme gereksinimlerinin artmasına neden olabilmektedir (Orellana & Coss-Bu, 2021).
Travmanın psikolojik etkileri de çocuklarda beslenme davranışlarını etkileyebilmektedir. Travma sonrası stres bozukluğu gibi psikolojik durumlar iştah değişiklikleri ve düzensiz beslenme davranışları ile ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle travma sonrası beslenme yönetimi multidisipliner bir yaklaşım gerektirmektedir (Küçük & Gözen, 2024).

2. TRAVMANIN TANIMI, TÜRLERİ VE ÇOCUKLARDA GÖRÜLME BİÇİMLERİ

Travma, bireyin fiziksel veya psikolojik bütünlüğünü tehdit eden ve yoğun stres yanıtına neden olan olaylar olarak tanımlanmaktadır. DSM-5'e göre travma; gerçek ölüm tehdidi, ciddi yaralanma veya cinsel şiddete maruz kalma ya da bunlara tanık olma şeklinde ifade edilmektedir. Travmatik deneyimler bireyde akut stres yanıtına neden olabileceği gibi uzun dönemde psikolojik ve fizyolojik etkiler de oluşturabilmektedir (Küçük & Gözen, 2024).
Travmalar oluşum biçimine göre Tip I ve Tip II olarak sınıflandırılmaktadır. Tip I travmalar ani gelişen ve kısa süreli olayları kapsarken, Tip II travmalar uzun süreli ve tekrarlayıcı travmatik deneyimleri içermektedir. Bu iki travma türünün temel özellikleri aşağıda özetlenmiştir.

Tablo 1. Tip I ve Tip II Travmanın Özellikleri

Özellikler	**Tip I Travma**	**Tip II Travma**
Kaynak	Afet veya kaza gibi ani gelişen olaylar	İstismar, şiddet veya ihmal gibi tekrarlayan travmatik durumlar
Başlangıç	Akut başlangıçlı	Çocukluk döneminde ani veya sinsi başlangıç gösterebilir
Süre	Ani ve geçici	Tekrarlayan ve uzun süreli
Sonuç	İyileşme veya bazı durumlarda Tip II travmaya dönüşme	Uzun süreli psikolojik etkiler ve travmanın kalıcı izleri
Tezahür	Yeniden yaşama, kaçınma davranışları, sürekli tetikte olma gibi belirtiler	Travma sonrası stres bozukluğu belirtileri, öz örgütlenme bozuklukları ve dissosiyasyon
Zihinsel bozukluklar	Akut stres bozukluğu, travma sonrası stres bozukluğu ve uyum bozukluğu	Karmaşık travma sonrası stres bozukluğu, uyum bozukluğu ve dissosiyatif/konversif bozukluklar

TSSB: Travma sonrası stres bozukluğu; CPTSD: Karmaşık travma sonrası stres bozukluğu.

Bunun yanı sıra çocukluk çağı travmaları içeriğine göre de sınıflandırılmaktadır. Bu kapsamda duygusal istismar, çocuğun sürekli aşağılanması, tehdit edilmesi veya değersiz hissettirilmesi şeklinde ortaya çıkarken; fiziksel istismar, çocuğa kasıtlı olarak fiziksel zarar verilmesini ifade etmektedir. Cinsel istismar ise çocuğun cinsel amaçlarla kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra fiziksel ihmal, beslenme, barınma ve bakım gibi temel gereksinimlerin karşılanmamasını kapsarken; duygusal ihmal, çocuğun sevgi, ilgi ve duygusal destekten yoksun bırakılması ile ilişkilidir. Bu tür travmatik deneyimler çocukların psikolojik gelişimini, sosyal ilişkilerini ve genel sağlık durumunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Karal & Atak, 2022).

3. TRAVMANIN BESLENME VE METABOLİK SÜREÇLER ÜZERİNE ETKİLERİ

Travma sonrası dönemde ortaya çıkan değişiklikler yalnızca davranışsal düzeyde sınırlı kalmayıp, aynı zamanda kompleks metabolik, hormonal ve inflamatuvar yanıtları da içermektedir.

Bu süreç, organizmanın stres durumuna uyum sağlamaya çalıştığı dinamik bir yanıt olup, özellikle çocuklarda büyüme ve gelişme sürecini doğrudan etkileyerek beslenme gereksinimlerinde belirgin artışlara yol açmaktadır (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Travmatik deneyimler çocuklarda yeme davranışında önemli değişikliklere neden olabilmektedir. Bu kapsamda iştahsızlık, yeme reddi, seçici yeme davranışı ve düzensiz öğün tüketimi sık görülen sorunlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte bazı çocuklarda travmaya bağlı stres, duygusal yeme veya aşırı yeme davranışları ile sonuçlanabilmektedir. Bu davranışsal değişiklikler, enerji ve besin ögesi alımını doğrudan etkileyerek beslenme durumunun bozulmasına katkı sağlamaktadır (Lu et al., 2025; Day et al., 2023).

Travma sonrası organizmada gelişen metabolik stres yanıtı, hipermetabolik bir durum ile karakterizedir. Bu süreçte enerji harcaması artmakta, bazal metabolizma hızı yükselmekte ve vücut enerji gereksinimini karşılayabilmek için endojen kaynaklara yönelmektedir. Özellikle kas proteinlerinin yıkımı hızlanmakta ve negatif azot dengesi gelişebilmektedir. Bu durum çocuklarda kas kütlesinde azalma ve iyileşme sürecinde gecikme ile ilişkilidir (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Travma ile birlikte inflamatuvar yanıtın aktive olması, sitokin salınımında artışa neden olmaktadır. Proinflamatuar sitokinler inflamasyonu artırarak bağışıklık sistemini aktive ederken, antiinflamatuar sitokinler bu yanıtı dengelemektedir. Bu süreç enerji metabolizmasının yeniden düzenlenmesinde ve doku onarım mekanizmalarının desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Tablo 2. Travma Sonrası İnflamatuvar Sitokinler

Sitokin türü	**Örnek sitokinler**	**Etkileri**
Proinflamatuar sitokinler	IL-1β, TNF-α, IL-6, IL-17, INF-γ	İnflamasyonu artırır, bağışıklık yanıtını aktive eder
Antiinflamatuar sitokinler	IL-10, IL-13, IL-1ra, TGF-β	İnflamasyonu azaltır ve bağışıklık yanıtını düzenler

Kaynak: Orellana & Coss-Bu, 2021.

Tabloda görüldüğü üzere, inflamatuvar süreçler yalnızca bağışıklık yanıtını değil, aynı zamanda metabolik süreçleri de etkileyerek enerji kullanımını ve besin ögesi gereksinimlerini değiştirmektedir (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Travma sonrası hormonal yanıt, özellikle hipotalamus–hipofiz–adrenal eksenin aktivasyonu ile karakterizedir. Bu süreçte kortizol, katekolaminler ve büyüme hormonu gibi stres hormonlarının düzeylerinde artış meydana gelmektedir. Kortizol düzeyindeki artış glukoneogenez ve lipolizi uyararak enerji üretimini artırırken, aynı zamanda protein katabolizmasını hızlandırarak kas kaybına katkıda bulunmaktadır (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Metabolik süreçler incelendiğinde, travma sonrası karbonhidrat metabolizmasında glukoz üretiminin arttığı ve insülin direnci geliştiği görülmektedir. Bu durum hiperglisemiye yol açabilmektedir. Yağ metabolizmasında lipoliz artışı ile serbest yağ asitleri yükselirken, protein metabolizmasında kas yıkımı hızlanmakta ve negatif azot dengesi oluşmaktadır. Tüm bu değişiklikler, travma sonrası dönemde uygun ve yeterli beslenme desteğinin önemini artırmaktadır (Orellana & Coss-Bu, 2021; Singer et al., 2023).

4. TRAVMA SONRASI BESLENME BOZUKLUKLARI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Travma sonrası dönemde beslenme bozuklukları, yalnızca fiziksel stres yanıtı ile değil, aynı zamanda psikolojik, nörolojik ve çevresel faktörlerin etkileşimiyle ortaya çıkan kompleks bir durumdur. Çocukluk döneminde travmaya maruz kalan bireylerde beslenme davranışları belirgin şekilde değişebilmekte ve bu durum hem yetersiz beslenme hem de aşırı yeme gibi farklı klinik tablolarla sonuçlanabilmektedir (Lu et al., 2025).

Travma sonrası dönemde en sık görülen beslenme sorunları arasında iştahsızlık, yeme reddi, seçici yeme davranışı ve düzensiz öğün tüketimi yer almaktadır. Bununla birlikte bazı çocuklarda travma ile ilişkili stres, duygusal düzenleme güçlüğü nedeniyle duygusal yeme veya aşırı yeme davranışlarını da tetikleyebilmektedir. Bu durumlar özellikle büyüme ve gelişme çağındaki çocuklarda besin alımını olumsuz etkileyerek beslenme yetersizliklerine yol açabilmektedir (Day et al., 2023; Lu et al., 2025).

Travma sonrası beslenme davranışlarını etkileyen önemli mekanizmalardan biri beyin–bağırsak eksenidir. Travmatik stres durumunda artan kortizol düzeyleri bağırsak geçirgenliğini artırarak mikrobiyota dengesini bozabilmekte, bu durum ise nöroinflamasyon ve nörotransmitter değişiklikleri üzerinden iştah ve yeme davranışını etkileyebilmektedir. Bu nedenle bağırsak mikrobiyotasındaki değişikliklerin psikolojik durum ve beslenme davranışı üzerinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Marano et al., 2025).

Travma sonrası dönemde psikiyatrik komorbiditeler de beslenme davranışını önemli ölçüde etkilemektedir. Özellikle travma sonrası stres bozukluğu (TSSB), anksiyete ve depresyon gibi durumlar çocuklarda yeme davranışında bozulmalara neden olabilmektedir. Bu psikiyatrik durumlar iştah azalması, yeme reddi veya bazı durumlarda aşırı yeme davranışı ile ilişkilendirilmektedir (Lu et al., 2025).

Travma sonrası stres bozukluğunun değerlendirilmesinde çocuk ve ergenlerde çeşitli ölçekler kullanılmaktadır. Bu ölçekler, travma öyküsünün belirlenmesi ve semptom şiddetinin objektif olarak değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır.

Tablo 3. Çocuklarda Travma sonrası stres bozukluğunun değerlendirilmesinde kullanılan ölçekler

Ölçek	**Yaş Grubu**	**Temel Özellikleri**
Child PTSD Symptom Scale for DSM-5 (CPSS-5)	8–18 yaş	Son bir ay içindeki TSSB belirtilerinin şiddetini ölçen öz-bildirim ölçeğidir ve DSM-5 kriterlerine dayanmaktadır.
Child and Adolescent Trauma Screen (CATS)	7–17 yaş	Travma öyküsü ve TSSB semptomlarını değerlendiren, DSM-5 kriterleri ile uyumlu yarı yapılandırılmış bir öz-bildirim ölçeğidir.
Clinician-Administered PTSD Scale for DSM-5 – Child/Adolescent Version (CAPS-CA-5)	Çocuk ve ergen	Klinik ortamda uygulanan ve TSSB tanısının değerlendirilmesinde altın standart kabul edilen bir ölçektir.
UCLA Child/Adolescent PTSD Reaction Index for DSM-5 (UCLA PTSD-RI-5)	Çocuk ve ergen	DSM-5 kriterlerine dayalı yarı yapılandırılmış klinik görüşme ölçeği olup travma öyküsü ve semptomların kapsamlı değerlendirilmesini sağlar

Kaynak: Foa et al., 2018; Kemp et al., 2025; Kouki et al., 2023; Küçükkardali et al., 2025.

Tabloda görüldüğü üzere, kullanılan ölçekler hem klinik değerlendirme hem de araştırma süreçlerinde travma sonrası semptomların sistematik olarak analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Foa et al., 2018; Kemp et al., 2025; Kouki et al., 2023; Küçükkardali et al., 2025).

5. TRAVMA SONRASI BESLENMEDE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Travma sonrası dönemde beslenme yönetimi, iyileşme sürecinin hızlandırılması ve komplikasyonların azaltılması açısından kritik bir role sahiptir. Özellikle çocuk hastalarda artmış metabolik gereksinimler nedeniyle erken ve uygun beslenme desteği mortalite ve morbiditeyi azaltan önemli bir belirleyici olarak kabul edilmektedir (Singer et al., 2023).

Travma sonrası dönemde mümkün olan en kısa sürede enteral beslenmenin başlatılması önerilmektedir. Erken enteral beslenme gastrointestinal sistem bütünlüğünü koruyarak bağırsak mukozasının atrofisini önlemekte, immün fonksiyonları desteklemekte ve enfeksiyon riskini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra hastanede kalış süresini kısalttığı ve klinik iyileşmeyi hızlandırdığı bildirilmektedir (Mısırlıoğlu et al., 2021; Li et al., 2020).

Travma sonrası enerji ve protein gereksinimleri belirgin şekilde artmaktadır. Bu nedenle beslenme planlamasında hastanın yaşı, travmanın şiddeti ve klinik durumu dikkate alınarak bireyselleştirilmiş bir yaklaşım benimsenmelidir. Yeterli enerji alımı katabolik sürecin azaltılmasına katkı sağlarken, protein desteği kas kaybının önlenmesi ve doku onarımının desteklenmesi açısından önemlidir (González-Castillo et al., 2025; Orellana & Coss-Bu, 2021).

Çocuklarda yaş gruplarına göre önerilen protein gereksinimleri aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4. Travma sonrası çocuklarda protein gereksinimleri

Yaş grubu	**Günlük protein gereksinimi**
0–2 yaş	2–3 g/kg/gün
2–13 yaş	1.5–2 g/kg/gün
13–18 yaş	1.5 g/kg/gün

Kaynak: González-Castillo et al, 2025.

Tabloda görüldüğü üzere, özellikle küçük yaş gruplarında protein gereksinimi daha yüksek olup, bu durum büyüme ve gelişme dönemindeki artmış anabolik ihtiyacı yansıtmaktadır (González-Castillo et al., 2025).

Beslenme yolunun seçiminde ilk tercih her zaman oral beslenmenin sürdürülmesidir. Oral alımın yetersiz olduğu durumlarda enteral beslenmeye geçilmektedir. Enteral beslenme, bağırsak bariyer fonksiyonunun korunmasına ve immün yanıtın desteklenmesine katkı sağladığı için kritik öneme sahiptir. Ancak gastrointestinal sistemin kullanılamadığı durumlarda parenteral beslenme uygulanabilmektedir (Li et al., 2020).

Travma sonrası beslenme sürecinde hastaların klinik durumu düzenli olarak izlenmelidir. Bu izlem kapsamında gastrointestinal tolerans, vücut ağırlığı değişimleri, sıvı dengesi ve biyokimyasal parametreler değerlendirilmelidir. Özellikle glukoz kontrolü, elektrolit dengesi ve azot dengesi tedavi başarısını belirleyen önemli göstergeler arasında yer almaktadır (Singer et al., 2023).

Travma sonrası beslenme yönetiminde multidisipliner yaklaşım büyük önem taşımaktadır. Diyetisyen, hekim ve psikolojik destek ekiplerinin birlikte çalışması, hem metabolik hem de psikolojik süreçlerin daha etkin yönetilmesini sağlamaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, tedavi başarısını artırmakta ve komplikasyon riskini azaltmaktadır (Brewerton, 2023).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1 Sonuç

Travma sonrası dönemde çocuklarda meydana gelen metabolik, hormonal ve psikolojik değişiklikler beslenme gereksinimlerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Travmatik olaylara bağlı olarak gelişen stres yanıtı hipermetabolizma, artmış protein katabolizması ve insülin direnci gibi metabolik değişikliklere neden olabilmektedir. Bu durum enerji ve protein gereksinimlerinin artmasına yol açarak uygun beslenme desteğinin önemini artırmaktadır (Orellana & Coss-Bu, 2021).

Güncel literatür, travma sonrası dönemde erken ve uygun planlanmış enteral beslenmenin klinik prognozu iyileştirdiğini ve hastanede kalış süresini kısaltabileceğini göstermektedir. Ayrıca travma sonrası beslenme sorunlarının yalnızca fizyolojik mekanizmalarla değil, aynı zamanda psikolojik ve nörogastrointestinal mekanizmalarla da ilişkili olduğu bildirilmektedir. Beyin–bağırsak ekseni, bağırsak mikrobiyotasındaki değişiklikler ve psikiyatrik komorbiditeler çocuklarda yeme davranışı üzerinde önemli rol oynayabilmektedir (Singer et al., 2023; Lu et al., 2025; Marano et al., 2025).

Bu nedenle travma sonrası dönemde çocukların beslenme durumunun bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmesi ve uygun beslenme tedavisinin planlanması büyük önem taşımaktadır. (Brewerton, 2023).

6.2 Öneriler

Travma sonrası beslenme yönetiminde multidisipliner yaklaşımın benimsenmesi önemlidir. Diyetisyen, hekim ve psikolog gibi farklı sağlık profesyonellerinin iş birliği içinde çalışması çocukların beslenme durumunun daha kapsamlı değerlendirilmesine katkı sağlayabilmektedir. (Brewerton, 2023).

Erken dönemde enteral beslenmenin tercih edilmesi ve enerji ile protein gereksinimlerinin hastanın yaşı, travmanın şiddeti ve klinik durumu dikkate alınarak bireyselleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca beslenme sürecinde glukoz kontrolü, gastrointestinal tolerans, azot dengesi ve büyüme parametrelerinin düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir. (Singer et al., 2023; González-Castillo et al., 2025).

Travma sonrası beslenme yönetiminde psikososyal destek ve travma duyarlı bakım yaklaşımlarının da beslenme tedavisine entegre edilmesi önerilmektedir.

Bunun yanı sıra klinik uygulamalarda güncel kılavuzlar doğrultusunda standart beslenme protokollerinin geliştirilmesi ve bu alanda daha fazla bilimsel çalışmanın yapılması gerekmektedir. (Lu et al., 2025; Singer et al., 2023).

KAYNAKÇA

Brewerton, T. D. (2023). Integrated treatment of eating disorders and PTSD. *Frontiers in Psychiatry, 14*, 1149433. https://doi.org/10.3389/fpsyt.2023.1149433

Day, S., Hay, P., Tannous, W. K., et al. (2023). The effect of trauma and PTSD on eating disorder outcomes. *Trauma, Violence & Abuse, 25*(2), 947–964.

González-Castillo, A. M., Picazo, L., Manzo, E., et al. (2025). Travma ve kritik hastalarda beslenme desteği. *European Surgery, 57*, 181–187. https://doi.org/10.1007/s10353-025-00872-3

Karal, E., & Atak, H. (2022). Çocukluk çağı ruhsal travmaları üzerine kavramsal bir çalışma. *Muş Alparslan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 2*(1), 82–103.

Küçük, S., & Gözen, D. (2024). Çocuklarda travma sonrası stres bozukluğu ve hemşirenin rolü. *Hemşirelik Bilimi Dergisi, 7*(2), 218–224. https://doi.org/10.54189/hbd.1371468

Li, P. F., Wang, Y. L., Fang, Y. L., et al. (2020). Effect of early enteral nutrition on trauma patients. *Chinese Journal of Traumatology, 23*(3), 163–167. https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2020.04.006

Lu, Y., Xu, W., Wu, S., et al. (2025). Childhood trauma and disordered eating behaviors in youth. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health, 19*(1), 91. https://doi.org/10.1186/s13034-025-00928-y

Marano, G., Sfratta, G., Marzo, E. M., et al. (2025). The pediatric microbiota-gut-brain axis. *Children, 12*(11), 1561. https://doi.org/10.3390/children12111561

Mısırlıoğlu, M., Yıldızdaş, D., Ekinci, F., et al. (2021). Çocuk yoğun bakımda travma hastaları ve beslenme. *Çocuk Acil ve Yoğun Bakım Tıp Dergisi, 8*(1), 37–41. https://doi.org/10.4274/cayd.galenos.2020.64326

Orellana, R. A., & Coss-Bu, J. A. (2021). Metabolic response to critical illness and trauma in children. *Pediatric Medicine, 4*, 8. https://doi.org/10.21037/pm-20-104

Singer, P., Blaser, A. R., Berger, M. M., et al. (2023). ESPEN practical and partially revised guideline: Clinical nutrition in the intensive care unit. *Clinical Nutrition, 42*(9), 1671–1689. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2023.07.011

Wang, S. K., Feng, M., Fang, Y., et al. (2023). Psychological trauma, posttraumatic stress disorder and trauma-related depression: A mini-review. *World Journal of Psychiatry, 13*(6), 331–339. https://doi.org/10.5498/wjp.v13.i6.331

KADIN SPORCULARDA TRİAD SENDROMU
FEMALE ATHLETE TRIAD SYNDROME

Hacer ALATAŞ
Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0000-0002-6441-0362

Nadide Nur ÖZKUL
Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics
ORCID ID: 0009-0006-8288-6512

ÖZET
Kadın sporcu triadı; düşük enerji kullanılabilirliği (Low Energy Availability - LEA), menstrüel disfonksiyon ve düşük kemik mineral yoğunluğu (KMY) olmak üzere birbiriyle patofizyolojik olarak bağlantılı üç bileşenden oluşan ve rekabetçi kadın sporcularda sık görülen ciddi bir klinik sendromdur. Sendromun merkezinde enerji açığının tetiklediği hipotalamik baskılanma yer almaktadır: yetersiz enerji alımı gonadotropin salgılayan hormon (GnRH) atımını azaltmakta, bu durum östrojen düşüklüğüne yol açmakta ve sonuç olarak menstrüel düzensizlik ile kemik yıkımı artışı birlikte ortaya çıkmaktadır. Literatürde kadın sporcuların %20–40'ında triadın en az bir bileşeninin görüldüğü bildirilmektedir. Estetik ve dayanıklılık sporlarının ise en yüksek risk grubunu oluşturduğu belirtilmektedir. Klinik değerlendirmede enerji kullanılabilirliği hesabı, menstrüel öykü ve çift enerjili X-ışını absorpsiyometrisi (DEXA) ile ölçülen KMY temel tanı parametrelerini oluştururken; Kadın Sporcularda Düşük Enerji Kullanılabilirliği Anketi (LEAF-Q) gibi tarama araçları erken risk belirlemede yardımcı olmaktadır. Tedavide multidisipliner ekip yaklaşımı ve enerji dengesinin yeniden kurulması ön plana çıkmaktadır.
Bu çalışmada kadın sporcu triadı; patofizyolojisi, epidemiyolojisi, klinik değerlendirme yöntemleri ve tedavi yaklaşımları açısından güncel literatür eşliğinde ele alınmıştı
Anahtar Kelimeler: kadın sporcu triadı, düşük enerji kullanılabilirliği, menstrüel disfonksiyon, kemik mineral yoğunluğu, REDs, sporcu beslenmesi

ABSTRACT
The female athlete triad is a serious clinical syndrome commonly observed among competitive female athletes and consists of three interrelated components: low energy availability (LEA), menstrual dysfunction, and low bone mineral density (BMD).
At the core of the syndrome lies hypothalamic suppression triggered by energy deficiency. Insufficient energy intake reduces gonadotropin-releasing hormone (GnRH) pulsatility, leading to decreased estrogen levels and consequently resulting in menstrual irregularities and increased bone resorption. Previous studies indicate that at least one component of the triad is present in 20–40% of female athletes, while athletes participating in aesthetic and endurance sports constitute the highest-risk groups. In clinical evaluation, energy availability calculation, menstrual history, and BMD measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) constitute the main diagnostic parameters, while screening tools such as the Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q) help identify individuals at risk in the early stages. In treatment, a multidisciplinary team approach and the restoration of energy balance are considered essential.
This study examines the female athlete triad in light of current literature in terms of its pathophysiology, epidemiology, clinical assessment methods, and treatment approaches.
Keywords: female athlete triad, low energy availability, menstrual dysfunction, bone mineral density, REDs, athlete nutrition

1. GİRİŞ
Kadın sporcu triadı (Female Athlete Triad), ilk kez 1992 yılında tanımlanmış ve günümüzde de rekabetçi kadın sporcular arasında ciddi halk sağlığı sorunlarından biri olmaya devam eden multisistemik bir klinik sendromdur.

Sendrom; düşük enerji kullanılabilirliği (LEA), menstrüel disfonksiyon ve düşük kemik mineral yoğunluğu (KMY) olmak üzere birbiriyle patofizyolojik olarak bağlantılı üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bu üç bileşen, doğrusal bir ilişki içinde olup herhangi birinin varlığı, diğerlerinin ortaya çıkma riskini önemli ölçüde artırmaktadır (Kelly ve Hecht, 2022).

Triad sendromu, yalnızca fiziksel performansı değil; uzun vadede hormonal dengeyi, üreme sağlığını, kemik bütünlüğünü ve genel yaşam kalitesini de olumsuz etkilemektedir. Özellikle estetik görünümün ya da düşük vücut ağırlığının performans avantajı sağladığı spor dallarında (jimnastik, buz pateni, bale, maraton ve uzun mesafe koşusu gibi branşlarda) triad bileşenlerinden en az birine rastlanma olasılığı anlamlı biçimde yüksektir (Çelenk Durgut ve Eskici, 2023).

Sendromun temelinde enerji açığının tetiklediği hipotalamik baskılanma mekanizması yer almaktadır. Yetersiz enerji alımı, gonadotropin salgılayan hormon (GnRH) atımını azaltmakta; bu durum sırasıyla gonadotropin salgısının düşmesine, östrojen eksikliğine, menstrüel düzensizliğe ve kemik yapım-yıkım dengesinin bozulmasına yol açmaktadır (Angelidi vd., 2024). Söz konusu patofizyolojik süreç, erken dönemde müdahale edilmediğinde osteopeni, osteoporoz ve stres kırıkları gibi kalıcı iskelet sistemi hasarlarına neden olabilmektedir (Stangerup vd., 2025).

Epidemiyolojik veriler incelendiğinde, kadın sporcuların %20 ile %40'ında triadın en az bir bileşeninin bulunduğu görülmektedir. Ancak bu oranın, enerji açığı ve menstrüel düzensizliklerin fark edilmemesi ya da küçümsenmesi nedeniyle gerçekte daha yüksek olduğu değerlendirilmektedir (Todd vd., 2022). Birleşik Krallık'ta 112 kadın sporcu üzerinde yürütülen kesitsel bir araştırmada, katılımcıların %44'ünde düşük enerji mevcudiyetinin ve %53'ünde ise düşük enerji mevcudiyeti riskinin saptanmış olması, konunun klinik önemini gözler önüne sermektedir (Sharps vd., 2022).

Bu derleme çalışmasının amacı, kadın sporcu triadının patofizyolojisini, epidemiyolojisini, klinik değerlendirme yöntemlerini, tanı ölçütlerini ve güncel tedavi yaklaşımlarını güncel literatür eşliğinde kapsamlı biçimde ele almak; konuya ilişkin farkındalığı artırmak ve koruyucu-önleyici stratejiler açısından klinisyenlere, antrenörlere ve sporcuların yakın çevresine yol göstermektir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, kadın sporcu triadına ilişkin güncel bilimsel literatürü bütünleştirmeyi amaçlayan betimsel bir derleme niteliğindedir. Araştırma kapsamında PubMed, Scopus ve Google Scholar veri tabanları sistematik biçimde taranmış; 2021–2025 yılları arasında yayımlanmış, hakemli dergilerde yer alan özgün araştırmalar, randomize kontrollü çalışmalar, meta-analizler ve klinik kılavuzlar incelemeye alınmıştır.

Literatür araması sırasında kullanılan anahtar kelimeler şunlardır: "female athlete triad", "low energy availability", "menstrual dysfunction", "bone mineral density", "relative energy deficiency in sport (REDs)", "LEA", "LEAF-Q", "DEXA" ve "athlete nutrition". Kaynakların seçiminde bilimsel açıdan yüksek kanıt düzeyine sahip çalışmalar esas alınmış; konu ile doğrudan ilgili, yöntemsel açıdan güvenilir ve güncel bulgular sunan makaleler dahil edilmiştir.

Dahil edilen çalışmalar; patofizyoloji, epidemiyoloji, tanı ölçütleri ve tedavi yaklaşımları olmak üzere dört ana tema çerçevesinde gruplandırılmıştır. Bu derleme, birincil araştırma verisi üretmeksizin mevcut bilgi birikimini sentezlemeye yönelik tasarlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Düşük Enerji Kullanılabilirliği (LEA)

Triad sendromunun tetikleyici bileşeni olan düşük enerji kullanılabilirliği (LEA), günlük toplam enerji alımından egzersiz enerji harcaması çıkarıldıktan sonra kalan enerjinin kilogram cinsinden yağsız vücut kütlesine (YVK) oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu değerin 30 kcal/kg YVK'nın altında olması, klinik açıdan anlamlı bir enerji yetersizliği olarak kabul edilmektedir (Mountjoy vd., 2023). LEA, kasıtlı bir enerji kısıtlamasından kaynaklanabileceği gibi yetersiz beslenme bilgisi, yoğun antrenman programları ya da farkında olunmadan gelişen enerji açığından da ortaya çıkabilmektedir (Grabia vd., 2024).

LEA'nın oluşumunu kolaylaştıran başlıca etkenler arasında sporcuların beslenme konusundaki bilgi eksikliği ve yeme bozukluklarının artan yaygınlığı öne çıkmaktadır. Ağırlık sınıfı sporları ile estetik yönelimli spor dallarında bu risk özellikle belirgindir.

Nitekim sıkı diyet kısıtlamaları uygulayan profesyonel dansçıların standart diyet izleyen akranlarına kıyasla anlamlı biçimde daha düşük enerji kullanılabilirliği sergilediği bildirilmektedir (Grabia vd., 2024). Enerji alımının nesnel olarak değerlendirilmesinde 24 saatlik besin hatırlama yöntemi ve besin sıklığı anketleri yaygın biçimde kullanılmakla birlikte, evrensel kabul görmüş bir altın standart henüz oluşturulamamıştır.

LEA'nın erken tespitine yönelik çalışmalar, biyokimyasal belirteçlerin önemini giderek daha fazla vurgulamaktadır. Leptin, serbest ve total triiyodotironin (T3), insülin benzeri büyüme faktörü-1 (IGF-1), lüteinize edici hormon (LH) atım frekansı ve tip 1 prokollajenin karboksiterminal propeptidi (P1CP) bu bağlamda araştırılan başlıca biyobelirteçler arasında yer almaktadır (Grabia vd., 2024).

Birleşik Krallık'ta 112 kadın sporcu üzerinde gerçekleştirilen kesitsel bir çalışmada, katılımcıların %44'ünde düşük enerji mevcudiyeti saptanmış, %53'ü ise düşük enerji mevcudiyeti riski altında değerlendirilmiştir. Ayrıca yaşın LEA riski üzerinde, rekabet düzeyinin ise yeme bozukluğu riski üzerinde anlamlı belirleyici etkiler gösterdiği ortaya konmuştur (Sharps vd., 2022). Yeme bozukluğu prevalansı açısından değerlendirildiğinde, estetik ve düşük vücut ağırlığının ön planda tutulduğu spor dallarında bu oranın %42'ye ulaştığı; dayanıklılık sporlarında %24, teknik dallarda %17 ve topla oynanan sporlarda ise %16 olduğu görülmektedir (Güler, 2022).

3.2. Menstrüel Disfonksiyon

Triadın ikinci bileşeni olan menstrüel disfonksiyon, LEA'nın üreme sistemi üzerindeki doğrudan fizyolojik yansımasıdır. Yetersiz enerji mevcudiyeti, vücudun gebeliği önleyici bir koruma mekanizması olarak hipotalamik GnRH atımını baskılamasına yol açmakta; bu durum hipofiz bezinden gonadotropin—özellikle LH ve FSH—salgısının azalmasına ve ardından dolaşımdaki östrojen düzeyinin düşmesine neden olmaktadır. Bu fizyolojik süreç fonksiyonel hipotalamik amenore olarak tanımlanmaktadır (Çelenk Durgut ve Eskici, 2023).

Triad ile ilişkili menstrüel bozukluklar klinik açıdan üç ana kategoride ele alınmaktadır: (1) primer amenore—15 yaşına kadar menarşın gerçekleşmemesi; (2) oligomenore—adet döngülerinin 35 günden daha uzun aralıklarla gerçekleşmesi; ve (3) sekonder amenore—daha önce düzenli olan adet döngüsünün art arda en az üç ay süreyle ortadan kalkması (Çelenk Durgut ve Eskici, 2023).

Bu patofizyolojik mekanizmayı klinik düzeyde destekleyen en güçlü kanıtlardan biri, De Souza ve arkadaşlarının (2021) yürüttüğü REFUEL randomize kontrollü çalışmasıdır. Oligomenore veya amenore tanısı almış, düzenli egzersiz yapan 74 kadının dahil edildiği bu araştırmada, müdahale grubuna günlük yaklaşık 330 kcal ek enerji sağlanmıştır. On iki aylık takip süresinin sonunda müdahale grubundaki kadınların %71'inde (27/38) menstrüel döngünün yeniden başladığı saptanmışken, kontrol grubunda bu oran yalnızca %32 (12/36) olarak ölçülmüştür. Müdahale grubunda enerji kullanılabilirliğinin istatistiksel açıdan anlamlı biçimde yükseldiği ($p < 0,05$) ve buna paralel olarak LH atım frekansı ile östradiol düzeylerinde de belirgin iyileşmeler gözlendiği bildirilmiştir (De Souza vd., 2021).

3.3. Düşük Kemik Mineral Yoğunluğu

Triadın üçüncü ve en uzun vadeli sağlık sonuçlarına yol açan bileşeni düşük kemik mineral yoğunluğudur (KMY). Östrojen eksikliği; osteoblast aracılığıyla gerçekleşen kemik yapımını baskılarken osteoklastik kemik yıkımını hızlandırmakta, bu dengesiz süreç de kemik kütlesinin ilerleyici biçimde azalmasına zemin hazırlamaktadır. Ergenlik döneminde kemik gelişiminin zirvede olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu dönemde yaşanan enerji ve östrojen yetersizliğinin uzun vadeli kemik sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri özellikle kritik bir önem taşımaktadır (Stangerup vd., 2025).

Kortizol artışı ve IGF-1 düzeyindeki düşüş de kemik yıkım sürecini olumsuz yönde etkilemekte; böylece birden fazla hormonal etken aynı anda kemik sağlığını tehdit etmektedir. Uzun süreli LEA sonucunda meydana gelen KMY kayıplarının kalıcı nitelik taşıyabileceği ve sporcuların ilerleyen yaşlarda erken osteopeni ile osteoporoz gelişimi açısından ciddi risk altında olduğu bilinmektedir (Maya ve Misra, 2022).

Kemik mineral yoğunluğunun değerlendirilmesinde en güvenilir yöntem, çift enerjili X-ışını absorpsiyometrisi (DEXA) taramasıdır. Klinik değerlendirmede Z-skoru $\leq -1,0$ düşük KMY için eşik değer olarak kabul edilmektedir (Mountjoy vd., 2023).

Karışık spor dallarında menstürüel işlev bozukluğu olan elit kadın sporcuların kemik mineral yoğunluklarının, düzenli menstrüel döngüye sahip sporcularla kıyaslandığında anlamlı düzeyde daha düşük olduğu bildirilmektedir (Stangerup vd., 2025). Stres kırıkları ise düşük KMY'nin en önemli klinik yansımalarından birini oluşturmaktadır; bu durum hem sporcunun sağlığını tehdit etmekte hem de sportif kariyer sürecini olumsuz etkilemektedir.

3.4. Patofizyoloji ve Hormonal-Metabolik Etkiler

Triad sendromunun patofizyolojisi; enerji açığı, hipotalamik-hipofizer-gonadal eksen baskılanması ve kemik metabolizması üzerindeki ardışık olumsuz etkilerden oluşan birbirine bağlı bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Yetersiz enerji alımı hipotalamik baskılanmayı tetiklemekte; bu durum GnRH atımını azaltmakta, gonadotropin salgısını düşürmekte ve östrojen üretimini kısıtlamaktadır. Söz konusu hormonal değişiklikler, menstrüel düzensizliklere ve kemik yıkımının hızlanmasına zemin hazırlamaktadır (Angelidi vd., 2024).

Hormonal etkiler yalnızca üreme sistemiyle sınırlı kalmamaktadır. Leptin ve tiroid hormonlarının (özellikle serbest T3) azalması metabolik yavaşlamaya yol açmaktadır. Kortizol düzeyindeki artış kemik yıkımını daha da hızlandırırken insülin duyarlılığı da bozulmaktadır. Bu metabolik ve hormonal değişiklikler bir arada değerlendirildiğinde, sendromunun daha geniş bir fizyolojik çöküş tablosu oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca motivasyon kaybı ve yeme bozuklukları gibi psikolojik değişkenler süreci daha da karmaşık bir hâle getirmektedir (Maya ve Misra, 2022).

3.5. Epidemiyoloji ve Risk Grupları

Triad sendromunun görülme sıklığı, spor branşına ve ölçüm yöntemine bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Mevcut literatür, kadın sporcuların %20–40'ında triadın en az bir bileşeninin bulunduğuna işaret etmektedir; ancak bu değerlerin, düşük enerji mevcudiyeti ve menstrüel düzensizliklerin gözden kaçması durumunda daha da yüksek olabileceği vurgulanmaktadır (Todd vd., 2022).

Risk grupları değerlendirildiğinde, düşük vücut ağırlığının ya da ince vücut yapısının performans avantajı sağladığı spor dallarında yer alan kadın sporcuların öne çıktığı görülmektedir. Jimnastik, buz pateni ve bale gibi estetik sporlar ile maraton, bisiklet ve yüzme gibi dayanıklılık sporları bu açıdan en yüksek risk kategorisini oluşturmaktadır (Angelidi vd., 2024). Ergenlik öncesi dönemde spora başlayan genç sporcular ise büyüme ve gelişim sürecinde artan enerji gereksinimlerini karşılamakta güçlük çektiklerinden ayrı bir risk grubu olarak değerlendirilmektedir.

3.6. Tanı Ölçütleri ve Tarama Araçları

Triad sendromunun tanısı, üç bileşenin sistematik olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Enerji kullanılabilirliği, toplam enerji alımı ile egzersiz enerji harcamasının farkının yağsız vücut kütlesine bölünmesiyle hesaplanmakta olup 30 kcal/kg YVK'nın altındaki değerler klinik açıdan anlamlı kabul edilmektedir. Menstrüel fonksiyon, detaylı menstrüel öykü ve hormon profili (LH, FSH, östrojen) ile değerlendirilmektedir. Kemik mineral yoğunluğu ise DEXA taraması yoluyla ölçülmekte; Z-skoru ≤ −1,0 düşük KMY için eşik değer olarak tanımlanmaktadır (Mountjoy vd., 2023).

Klinik uygulamada tarama amacıyla başvurulan başlıca araçların başında Kadın Sporcularda Düşük Enerji Kullanılabilirliği Anketi (LEAF-Q) ve Triad Koalisyonu Tarama Formu gelmektedir. LEAF-Q'nun triatloncu kadınlarda menstrüel bozukluklara ilişkin LEA riskini belirlemede geçerli ve güvenilir bir araç olduğu gösterilmiştir (Witkoś vd., 2023). Klinik bulgular arasında amenore, yorgunluk, stres kırıkları, düşük kemik yoğunluğu ve hormonal değişiklikler (düşük LH, FSH ve östrojen) öne çıkmaktadır (Çelenk Durgut ve Eskici, 2023).

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Tartışma

Kadın sporcu triadının üç bileşeni olan düşük enerji kullanılabilirliği, menstrüel disfonksiyon ve düşük kemik mineral yoğunluğu; birbirini hem fizyolojik hem de klinik düzeyde besleyen ardışık bir süreç oluşturmaktadır. Bu sürecin merkezinde, yetersiz enerji alımının tetiklediği ve doğrusal bir patofizyolojik yol izleyen hipotalamik baskılanma mekanizması yer almaktadır (Angelidi vd., 2024).

Güncel literatür, sendromun yalnızca belirli spor dallarıyla sınırlı olmadığını; farklı rekabet düzeylerindeki ve çeşitli branşlardaki kadın sporcuları tehdit ettiğini ortaya koymaktadır (Todd vd., 2022).

REFUEL randomize kontrollü çalışması, enerji alımının artırılmasının menstrüel iyileşme üzerinde istatistiksel açıdan anlamlı ve klinik açıdan belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermesi bakımından önemli kanıtlar sunmaktadır. Müdahale grubundaki kadınların %71'inde menstrüel döngünün yeniden başlamış olması, enerji dengesinin yeniden kurulmasının tedavinin temel hedefi olduğunu somut biçimde desteklemektedir (De Souza vd., 2021). Bu bulgu, sendromun yönetiminde farmakolojik yaklaşımların önüne geçen beslenme temelli müdahalelerin üstünlüğünü de vurgulamaktadır.

Yeme bozukluklarının yaygınlığına ilişkin epidemiyolojik veriler, sporcu popülasyonunda bu sorunun azımsanmaması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Estetik sporlarda yeme bozukluğu prevalansının %42'ye ulaşması (Güler, 2022), bu spor dallarında uygulanan kültürel ve antrenman kökenli baskıların sporcuların beslenme davranışları üzerinde derin izler bıraktığına işaret etmektedir. Bu tablo, beslenme eğitiminin erken yaştan itibaren sistematik biçimde verilmesinin ve paternalist tutumlar yerine güçlendirici bir yaklaşımın benimsenmesinin önemini bir kez daha gündeme taşımaktadır (DeJong Lempke vd., 2025).

Tanısal açıdan ele alındığında, enerji kullanılabilirliğini değerlendirmede evrensel kabul görmüş bir altın standart yöntemin henüz bulunmaması önemli bir kısıtlılık olmayı sürdürmektedir. Biyobelirteçlerin (özellikle leptin, serbest T3 ve IGF-1'in) LEA'nın erken tespitine katkı sağlayabileceği ve klinik değerlendirmede tamamlayıcı bir role sahip olabileceği değerlendirilmektedir (Grabia vd., 2024). Kemik mineral yoğunluğunun değerlendirilmesinde DEXA taraması altın standart konumunu korumakla birlikte, bu yöntemin tüm spor kuruluşlarında rutin tarama aracı olarak uygulanabilirliği hâlâ kısıtlı düzeyde kalmaktadır.

Tedavi yaklaşımları incelendiğinde, multidisipliner ekip çalışmasının temel ilke olarak öne çıktığı görülmektedir. Spor hekimi, diyetisyen, psikolog ve fizyoterapistten oluşan bu ekibin koordineli çalışması; sendromun hem fiziksel hem de psikolojik boyutlarının eş zamanlı olarak ele alınmasını mümkün kılmaktadır (Grabia vd., 2024). Beslenme müdahalesi kapsamında karbonhidrat ve protein alımının optimize edilmesi, kalsiyum ve D vitamini ile demir ve çinko gibi mikro besinlerin yeterli düzeyde sağlanması öncelikli hedefler arasında yer almaktadır.

4.2. Sonuç

Kadın sporcu triadı; düşük enerji kullanılabilirliği, menstrüel disfonksiyon ve düşük kemik mineral yoğunluğunun birbiriyle patofizyolojik olarak bağlantılı olduğu, karmaşık yapılı ve potansiyel olarak ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilen bir sendromdur. Güncel literatür; erken tanının, multidisipliner yaklaşımın ve beslenme odaklı müdahalelerin bu sendromla mücadelede kritik öneme sahip olduğunu tutarlı biçimde ortaya koymaktadır.

Sendromun önlenmesi ve etkin yönetimi için öncelikli hedef, enerji dengesinin yeniden kurulmasıdır. Enerji kullanılabilirliğinin yeterli düzeye taşınması; hormonal iyileşmeyi, menstrüel fonksiyonun geri kazanılmasını ve kemik sağlığının korunmasını zincirleme bir süreç olarak mümkün kılmaktadır. LEAF-Q ve DEXA gibi kanıta dayalı tarama araçlarının klinik pratiğe ve spor organizasyonlarının rutin uygulamalarına entegre edilmesi, risk altındaki sporcuların erken dönemde belirlenmesine önemli ölçüde katkı sağlayacaktır.

Spor hekimleri, diyetisyenler, antrenörler ve sporcuların aileleri arasında güçlü bir iletişim ağının kurulması ile beslenme ve sağlıklı beden imgesi konusunda kapsamlı eğitim programlarının hayata geçirilmesi, triad sendromunun görülme sıklığını anlamlı biçimde azaltma potansiyeli taşımaktadır. Bir sporcunun sağlığını korumak, performansını artırmakla en az eşit derecede öncelikli bir sorumluluktur. Bu bütüncül bakış açısının spor kültürünün temel değerleri arasına yerleşmesi, uzun vadede hem bireysel sağlık hem de sportif sürdürülebilirlik açısından belirleyici bir dönüşüm sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Angelidi, A. M., Stefanakis, K., Chou, S. H., Valenzuela-Vallejo, L., Dipka, K., Boutari, C., Ntoskas, K., Tokmakidis, P., Kokkinos, A., Goulis, D. G., Papadaki, H. A., & Mantzoros, C. S. (2024). Relative energy deficiency in sport (REDs): Endocrine manifestations, pathophysiology and treatments. Endocrine Reviews, 45(5), 676–708. https://doi.org/10.1210/endrev/bnae011

Çelenk Durgut, B., & Eskici, G. (2023). Kadın sporcu triadı: Düşük kullanılabilir enerji ve triad bileşenlerine güncel bakış. Eurasian Journal of Sport Sciences and Education, 5(2), 133–145. https://doi.org/10.47778/ejsse.1271203

DeJong Lempke, A. F., Reece, L. M., & Whitney, K. E. (2025). Nutrition education interventions for athletes with low energy availability: A systematic review. PLoS ONE, 20(2), e0314506. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0314506

De Souza, M. J., Mallinson, R. J., Strock, N. C. A., Koltun, K. J., Olmsted, M. P., Ricker, E. A., Scheid, J. L., Allaway, H. C., Mallinson, D. J., Don, P. K., & et al. (2021). Randomised controlled trial of the effects of increased energy intake on menstrual recovery in exercising women with menstrual disturbances: The 'REFUEL' study. Human Reproduction, 36(8), 2285–2297. https://doi.org/10.1093/humrep/deab149

Grabia, M., Perkowski, J., Socha, K., & Markiewicz-Żukowska, R. (2024). Female athlete triad and relative energy deficiency in sport (REDs): Nutritional management. Nutrients, 16(3), 359. https://doi.org/10.3390/nu16030359

Güler, M. (2022). Kadın sporcu üçlemesinde son durum nedir? Sistematik bir derleme çalışması. Düzce Üniversitesi Spor Bilimleri Dergisi, 2(2), 88–99.

Kelly, A. W., & Hecht, S. (2022). The female athlete triad. Annals of Joint, 7, 6. https://doi.org/10.21037/aoj-2020-03

Larrosa, M., Gil-Izquierdo, A., González-Rodríguez, L. G., Alférez, M. J. M., San Juan, A. F., Sánchez-Gómez, Á., Calvo-Ayuso, N., Ramos-Álvarez, J. J., Fernández-Lázaro, D., Lopez-Grueso, R., & et al. (2025). Nutritional strategies for optimizing health, sports performance, and recovery in athletes. Nutrients, 17(1), 7. https://doi.org/10.3390/nu17010007

Maya, J., & Misra, M. (2022). The female athlete triad: Review of current literature. Current Opinion in Endocrinology, Diabetes, and Obesity, 29(1), 44–51. https://doi.org/10.1097/MED.0000000000000694

Mountjoy, M., Ackerman, K. E., Bailey, D. M., Burke, L. M., Constantini, N., Hackney, A. C., Heikura, I. A., Melin, A., Pensgaard, A. M., Stellingwerff, T., Sundgot-Borgen, J. K., Torstveit, M. K., Jacobsen, A. U., Verhagen, E., Budgett, R., Engebretsen, L., & Erdener, U. (2023). 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on relative energy deficiency in sport (REDs). British Journal of Sports Medicine, 57(17), 1073–1097. https://doi.org/10.1136/bjsports-2023-106994

Sharps, F. R. J., Wilson, L. J., Graham, C. A., & Curtis, C. (2022). Prevalence of disordered eating, eating disorders and risk of low energy availability in professional, competitive and recreational female athletes based in the United Kingdom. European Journal of Sport Science, 22(9), 1445–1451. https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1943712

Stangerup, I., Melin, A. K., Lichtenstein, M., Friis-Hansen, L., Jørgensen, N. R., Schjerling, P., Kjaer, M., & Mertz, K. H. (2025). Lower bone mineral density in female elite athletes with menstrual dysfunction from mixed sports. Translational Sports Medicine, 2025, 4969624. https://doi.org/10.1155/tsm2/4969624

Todd, E., Elliott, N., & Keay, N. (2022). Relative energy deficiency in sport (RED-S). The British Journal of General Practice, 72(719), 295–297. https://doi.org/10.3399/bjgp22X719771

Witkoś, J., Błażejewski, G., & Gierach, M. (2023). The Low Energy Availability in Females Questionnaire (LEAF-Q) as a useful tool to identify female triathletes at risk for menstrual disorders related to low energy availability. Nutrients, 15(3), 650. https://doi.org/10.3390/nu15030650

EKSTRAORAL FİSTÜL İLE SEYREDEN ENDODONTİK- PERİODONTAL LEZYONUN MULTİDİSİPLİNER YAKLAŞIMLA TEDAVİSİ: OLGU SUNUMU

MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF AN ENDODONTIC-PERIODONTAL LESION PRESENTING WITH AN EXTRAORAL FISTULA: A CASE REPORT

Şeyma Eda AKIN
Arş.Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Endodonti Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0005-9280-2434

Muhammet AKIN
Arş.Gör., Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0005-4225-3414

ÖZET

Endodontik-periodontal lezyonlar, pulpal ve periodontal dokular arasındaki patolojik ilişkinin sonucu olarak ortaya çıkan, tanı ve tedavi planlamasında klinik, periodontal ve radyografik bulguların birlikte değerlendirilmesini gerektiren kompleks lezyonlardır. Bu olgu sunumunda, ekstraoral fistül ile başvuran endodontik-periodontal lezyonlu bir hastada uygulanan multidisipliner tedavi yaklaşımının klinik ve radyografik sonuçlarının sunulması amaçlanmıştır. Sistemik açıdan sağlıklı 29 yaşındaki erkek hasta, submental bölgede uzun süredir mevcut olan, zaman zaman drene olarak rahatlayan; ancak son dönemde drenajın kesilmesine bağlı olarak ağrılı hâle gelen şişlik şikâyetiyle kliniğe başvurmuştur. Klinik muayenede 31 ve 41 numaralı dişlerde vitalite kaybı, Miller sınıflamasına göre Derece II mobilite ve dikey-yatay perküsyon hassasiyeti belirlenmiştir. Periodontal muayenede en derin sondlama cep derinliği 5 mm olarak ölçülmüş ve sondlamada kanama gözlenmiştir. Ayrıca hastada yaygın periodontitis varlığı saptanmıştır. Radyografik incelemede, 31 ve 41 numaralı dişlerin apekslerini içeren ve interradiküler alana uzanım gösteren düzgün sınırlı uniloküler radyolüsensi izlenmiştir. Ekstraoral muayenede submental bölgede fistül ağzı ve şişlik doğrulanmıştır. İlk seansta rubber-dam izolasyonu altında pulpa ekstirpasyonu gerçekleştirilmiş, yoğun pürülan drenaj gözlenmiş ve kalsiyum hidroksit esaslı intrakanal medikament uygulanmıştır. Hasta, ekstraoral drenaj amacıyla ağız diş ve çene cerrahisi kliniğine yönlendirilmiştir. İki hafta sonra semptomların gerilediği görülmüş; dişlerin kök kanal tedavileri biyoseramik esaslı kanal dolgu patı kullanılarak tamamlanmış ve koronal restorasyonları yapılmıştır. Bunu takiben detertraj ve subgingival enstrümantasyon uygulanmıştır. Birinci, üçüncü ve altıncı ay kontrollerinde dişlerin asemptomatik olduğu, mobilitenin ortadan kalktığı, ekstraoral fistülün skar dokusu bırakarak kapandığı ve anterior mandibular bölgedeki radyolüsensinin belirgin şekilde azaldığı gözlenmiştir. Bu olgu, ekstraoral fistül ile seyreden endodontik-periodontal lezyonlarda multidisipliner yaklaşımın olumlu klinik ve radyografik iyileşme ile ilişkili olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekstraoral fistül, endodontik-periodontal lezyon, kök kanal tedavisi, cerrahi drenaj, multidisipliner tedavi

ABSTRACT

Endodontic-periodontal lesions are complex pathologies resulting from the pathological interrelationship between pulpal and periodontal tissues and require comprehensive evaluation of clinical, periodontal, and radiographic findings for accurate diagnosis and treatment planning. This case report aimed to present the clinical and radiographic outcomes of a multidisciplinary treatment approach in a patient with an endodontic-periodontal lesion associated with an extraoral sinus tract. A systemically healthy 29-year-old male patient presented with a painful swelling in the submental region that had been present for a long time, had intermittently drained and relieved spontaneously, but had recently become painful following cessation of drainage. Clinical examination revealed loss of vitality in teeth #31 and #41, Grade II mobility according to Miller's classification, and sensitivity to vertical and horizontal percussion. Periodontal examination demonstrated a maximum probing depth of 5 mm and bleeding on probing.

Generalized periodontitis was also detected. Radiographic evaluation revealed a well-defined unilocular radiolucency involving the apices of teeth #31 and #41 and extending into the interradicular area. Extraoral examination confirmed the presence of a sinus tract opening and swelling in the submental region. At the first visit, pulpal extirpation was performed under rubber-dam isolation, profuse purulent drainage was observed, and a calcium hydroxide-based intracanal medicament was placed. The patient was referred to the oral and maxillofacial surgery clinic for extraoral drainage. After two weeks, symptoms had regressed; root canal treatment of the relevant teeth was completed using a bioceramic-based root canal sealer, and coronal restorations were performed. Subsequently, scaling and subgingival instrumentation were carried out. At the 1-, 3-, and 6-month follow-up examinations, the teeth were asymptomatic, mobility had resolved, the extraoral sinus tract had healed with scar formation, and the radiolucency in the anterior mandibular region had markedly decreased. This case suggests that a multidisciplinary treatment approach may be associated with favorable clinical and radiographic healing in endodontic-periodontal lesions presenting with an extraoral sinus tract.
Keywords: Extraoral sinus tract, endodontic-periodontal lesion, root canal treatment, surgical drainage, multidisciplinary treatment

GİRİŞ

Endodontik-periodontal lezyonlar (EPL), aynı dişte pulpal ve periodontal dokular arasında gelişen patolojik iletişim sonucu ortaya çıkan, akut ya da kronik seyir gösterebilen kompleks inflamatuvar tablolardır. Pulpal boşluk ile periodonsiyum arasındaki ilişki apikal foramen, lateral ve aksesuar kanallar, furkasyon kanalları ve dentin tübülleri gibi doğal bağlantılar üzerinden kurulabildiği gibi; kök çatlağı, perforasyon ve rezorpsiyon gibi edinsel defektler aracılığıyla da gelişebilmektedir. Bu nedenle enfeksiyon başlangıçta endodontik ya da periodontal kaynaklı olsa bile süreç zaman içerisinde karşı kompartımana yayılabilmekte, tanı ve tedavi planlamasını güçleştirebilmektedir(Al-Fouzan, 2014; Al-Sibassi et al., 2025; Rotstein, 2017).

Endodontik ve periodontal dokular arasındaki ilişkinin doğru şekilde değerlendirilmesi, yalnızca lezyonun kökeninin belirlenmesi açısından değil, aynı zamanda uygun tedavi sıralamasının planlanması ve prognozun öngörülmesi açısından da önem taşımaktadır. Güncel sınıflama yaklaşımında EPL'ler; kök hasarı varlığı veya yokluğu, hastada periodontitis bulunup bulunmaması ve periodontal defektin yaygınlığına göre ele alınmaktadır. Bu çerçevede pulpa vitalite testleri, periodontal sondlama derinliği, perküsyon ve palpasyon hassasiyeti, mobilite, fistül varlığı ve radyografik kemik kaybının lokalizasyonu tanısal açıdan belirleyici parametreler olarak kabul edilmektedir(Chen et al., 2024; Herrera et al., 2018).

EPL'lerin ayırıcı tanısında dikkat edilmesi gereken klinik görünümlerden biri de ekstraoral fistül varlığıdır. Odontojenik kökenli kutanöz sinüs traktları, özellikle drenajın geçici rahatlama sağladığı olgularda dermatolojik lezyonlarla karıştırılabilmekte; bu durum gereksiz antibiyotik kullanımına, uygunsuz cerrahi girişimlere ve doğru tedavinin gecikmesine neden olabilmektedir. Literatürde, enfeksiyon kaynağının doğru şekilde saptanması ve uygun endodontik tedavinin uygulanması sonrasında bu lezyonlarda belirgin iyileşme sağlandığı bildirilmektedir(Azizlou et al., 2020; Pasternak-Júnior et al., 2009).

Güncel derlemeler ve uzman görüşleri, EPL tedavisinde çoğu vakada ilk yaklaşımın enfeksiyon kontrolüne yönelik endodontik faz olduğunu; periodontal müdahalenin zamanlamasının ise lezyonun karakterine, periodontal yıkımın derecesine ve başlangıç tedavisine verilen yanıta göre planlanması gerektiğini göstermektedir. Özellikle kombine lezyonlarda endodonti, periodontoloji ve gerektiğinde ağız diş ve çene cerrahisi disiplinlerinin eşgüdümlü yaklaşımı tedavi başarısı açısından önem taşımaktadır(Al-Sibassi et al., 2025; Friedrich et al., 2023; Schmidt et al., 2014).

Radyografik değerlendirme de EPL yönetiminin temel bileşenlerinden biridir. Konvansiyonel periapikal radyografi çoğu olguda başlangıç değerlendirmesi için yeterli bilgi sunmakla birlikte, kompleks lezyonlarda veya ayırıcı tanının netleştirilemediği durumlarda ileri görüntüleme yöntemleri gerekebilmektedir. Yakın tarihli bir çalışmada, konik ışınlı bilgisayarlı tomografinin endodontik ve periodontal lezyonların ayırıcı tanısında periapikal radyografiye göre daha yüksek tanısal doğruluk sağlayabildiği bildirilmiştir(Piecha et al., 2026).

Sunulan olguda, submental bölgede ekstraoral fistül ile birlikte vitalite kaybı, mobilite, periodontal sondlama bulguları ve periapikal/interradiküler radyolüsensi varlığı, lezyonun endodontik ve periodontal bileşenlerinin birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmıştır.

Bu bağlamda olgunun sunulması, EPL'lerde doğru tanı yaklaşımının ve multidisipliner tedavi planlamasının klinik başarı üzerindeki etkisini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Olgu Sunumu

Sistemik açıdan sağlıklı 29 yaşındaki erkek hasta, submental bölgede uzun süredir mevcut olan, zaman zaman spontan drenaj ile rahatlayan; ancak son dönemde drenajın kesilmesine bağlı olarak ağrılı hâle gelen şişlik şikâyetiyle kliniğe başvurdu. Hastanın anamnezinde ilgili bölgede tekrarlayan şişlik epizodları bulunduğu öğrenildi. Klinik değerlendirme, radyografik inceleme ve ilgili disiplinlerin birlikte değerlendirilmesi sonucunda olgunun endodontik-periodontal lezyon ile uyumlu olduğu düşünüldü.

Klinik ve Radyografik Bulgular

İntraoral muayenede 31 ve 41 numaralı dişlerde vitalite kaybı, dikey ve yatay perküsyon hassasiyeti ile Miller sınıflamasına göre Derece II mobilite saptandı. Periodontal muayenede en derin sondlama cep derinliği 5 mm olarak ölçüldü ve sondlamada kanama gözlendi. Ayrıca hastada eşlik eden yaygın periodontitis varlığı belirlendi. Ekstraoral muayenede submental bölgede fistül ağzı ile uyumlu görünüm ve şişlik doğrulandı. Radyografik incelemede ise 31 ve 41 numaralı dişlerin apekslerini içine alan ve interradiküler alana uzanım gösteren, düzgün sınırlı uniloküler radyolüsensi izlendi. Elde edilen klinik, periodontal ve radyografik bulgular birlikte değerlendirildiğinde lezyonun endodontik-periodontal karakter taşıdığı kanaatine varıldı.

Tedavi Süreci

Olgunun tedavi planlaması, Endodonti, Ağız Diş ve Çene Cerrahisi ile Periodontoloji disiplinlerinin koordineli yaklaşımı doğrultusunda gerçekleştirildi. Hasta tedavi hakkında bilgilendirildi ve onam formu alındı. İlk aşamada enfeksiyon kaynağının kontrol altına alınması amacıyla endodontik tedaviye başlandı. İlk seansta rubber-dam izolasyonu altında giriş kavitesi açıldı, çalışma boyu 19 mm olarak belirlendi ve başlangıç preparasyonu 20 numara K-tipi eğe ile gerçekleştirildi. Kök kanal sisteminin irrigasyonunda sodyum hipoklorit ve EDTA kullanıldı; irrigasyon ultrasonik aktivasyon ile desteklendi. Seans sonunda kalsiyum hidroksit esaslı intrakanal medikament uygulandı. Bu aşamada yoğun pürülan drenaj gözlenmesi üzerine hasta, ekstraoral drenaj amacıyla Ağız Diş ve Çene Cerrahisi kliniğine yönlendirildi.

Cerrahi değerlendirme sonrasında ekstraoral drenaj uygulanmış ve akut enfeksiyonun kontrol altına alınmasına katkı sağlanmıştır. Yaklaşık on beş gün sonraki kontrolde şişlik ve fistül görünümünün belirgin şekilde gerilediği izlenmiştir. Enfeksiyonun baskılanmasını takiben endodontik tedavi ikinci seansta tamamlanmıştır. Bu seansta çalışma boyu yeniden 19 mm olarak doğrulanmış, crown-down tekniğiyle rotary enstrümantasyon uygulanmış ve preparasyon 25/.06 düzeyine kadar sürdürülmüştür. İrrigasyon protokolünde yine sodyum hipoklorit, EDTA ve ultrasonik aktivasyon kullanılmıştır. Kanal dolgusu biyoseramik esaslı kanal dolgu patı ve guta-perka ile tamamlanmış; ardından koronal restorasyon reçine modifiye cam iyonomer siman ve kompozit rezin ile yapılmıştır.

Endodontik tedavinin tamamlanmasının ardından hasta periodontoloji kliniğine yönlendirilmiştir. Periodontal faz kapsamında detertraj ve subgingival enstrümantasyon uygulanmış, mevcut periodontal durumun kontrolü amacıyla destekleyici periodontal tedavi programı planlanmıştır. Böylece olguda enfeksiyonun endodontik, cerrahi ve periodontal boyutları ardışık ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Takip Bulguları

Olgunun 1., 3. ve 6. ay kontrollerinde klinik ve radyografik iyileşme bulguları değerlendirilmiştir. Takip sürecinde hastada ağrı, perküsyon hassasiyeti ve palpasyon duyarlılığı izlenmemiştir. Başlangıçta mevcut olan mobilitenin ortadan kalktığı görülmüştür. Ekstraoral fistülün skar dokusu bırakarak kapandığı ve estetik açıdan kabul edilebilir düzeyde iyileşme gösterdiği saptanmıştır. Radyografik incelemelerde anterior mandibular bölgedeki radyolüsenside azalma ve periapikal dokularda iyileşme ile uyumlu görünüm izlenmiştir. Hastanın fonksiyonel ve estetik memnuniyetinin olumlu olduğu belirlenmiş; 9. ve 12. ay kontrolleri için düzenli izlem planlanmıştır.

Literatürle Karşılaştırmalı Değerlendirme

Sunulan olguda tanısal sürecin en dikkat çekici yönü, lezyonun ekstraoral fistül ile seyretmesi ve buna eşlik eden endodontik ile periodontal bulguların birlikte değerlendirilmesini gerektirmesidir. Vitalite kaybı, perküsyon hassasiyeti, mobilite, periodontal sondlamada artış ve periapikal/interradiküler radyolüsensi varlığı, enfeksiyonun tek bir doku kompartımanıyla sınırlı olmadığını düşündürmüştür. Bu yönüyle olgu, EPL'lerin yalnızca tek bir klinik belirtiye dayanılarak değil, tüm muayene verileri birlikte değerlendirilerek tanımlanması gerektiğini göstermektedir.

Literatürde, endodontik-periodontal lezyonların tedavisinde başlangıçta endodontik enfeksiyonun kontrol altına alınmasının çoğu olguda rasyonel bir yaklaşım olduğu; periodontal tedavinin zamanlamasının ise klinik tabloya göre şekillendirilmesi gerektiği bildirilmektedir. Bu olguda izlenen tedavi sıralaması da bu yaklaşım ile uyumludur. İlk aşamada intrakanal enfeksiyonun baskılanması, gerektiğinde cerrahi drenajın sağlanması ve sonrasında periodontal fazın tamamlanması, semptomların gerilemesi ve radyografik iyileşme ile sonuçlanmıştır(Friedrich et al., 2023; Schmidt et al., 2014).

Ekstraoral fistül ile seyreden odontojenik enfeksiyonlarda dental kaynağın gözden kaçırılması tedavi sürecini uzatabilmektedir. Bu nedenle özellikle submental, submandibular veya fasiyal bölgede uzun süreli drenaj öyküsü bulunan hastalarda dental odak mutlaka araştırılmalıdır. Sunulan olguda doğru tanı konulması ve multidisipliner tedavi planının zamanında uygulanması sayesinde hem klinik semptomlarda gerileme hem de radyografik iyileşme elde edilmiştir. Bu bulgu, odontojenik kutanöz sinüs traktlarına ilişkin önceki yayınlarla uyumludur(Azizlou et al., 2020; Pasternak-Júnior et al., 2009). Birinci, üçüncü ve altıncı ay kontrollerinde ağrı, palpasyon ve perküsyon hassasiyetinin bulunmaması; mobilitenin ortadan kalkması ve radyolüsenside azalma izlenmesi, uygulanan tedavinin kısa dönem başarısını desteklemektedir. Bununla birlikte, EPL'lerde uzun dönem iyileşmenin değerlendirilmesi için düzenli klinik ve radyografik takip gereklidir. Özellikle eşlik eden periodontitis varlığında destekleyici periodontal tedavi prognozun korunmasında kritik öneme sahiptir(Al-Sibassi et al., 2025).

SONUÇ

Ekstraoral fistül ile seyreden endodontik-periodontal lezyonlar, tanı ve tedavi planlaması açısından dikkatli klinik, periodontal ve radyografik değerlendirme gerektiren kompleks klinik tablolardır. Sunulan olguda, enfeksiyon kaynağının doğru şekilde belirlenmesi ve endodonti, ağız diş ve çene cerrahisi ile periodontoloji disiplinlerinin koordineli yaklaşımı sayesinde 1., 3. ve 6. ay kontrollerinde belirgin klinik ve radyografik iyileşme elde edilmiştir. Ağrı, perküsyon hassasiyeti ve mobilitenin ortadan kalkması; ekstraoral fistülün skar dokusu bırakarak kapanması ve radyolüsenside azalma izlenmesi, uygulanan tedavi yaklaşımının başarılı olduğunu düşündürmektedir. Bu olgu, ekstraoral fistül ile başvuran lezyonlarda dental kökenin mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini ve uygun sırayla planlanan multidisipliner tedavinin olumlu prognozla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu yaklaşımın etkinliğinin daha güçlü biçimde ortaya konabilmesi için daha geniş örneklemli, kontrollü ve uzun dönem takipli klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

Al-Fouzan, K. S. (2014). A new classification of endodontic-periodontal lesions. *International Journal of Dentistry*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/919173

Al-Sibassi, A., Niazi, S. A., Clarke, P., & Adeyemi, A. (2025). Management of the endodontic-periodontal lesion. *British Dental Journal 2025 238:7*, *238*(7), 536–544. https://doi.org/10.1038/s41415-025-8327-x

Azizlou, E., Sobhani, M. A., Ghabraei, S., Khoshkhounejad, M., Ghorbanzadeh, A., & Tahan, S. S. (2020). Extraoral Sinus Tracts of Odontogenic Origin: A Case Series. *Frontiers in Dentistry*, *17*. https://doi.org/10.18502/FID.V17I29.4750

Chen, B., Zhu, Y., Lin, M., Zhang, Y., Li, Y., Ouyang, X., Ge, S., Lin, J., Pan, Y., Xu, Y., Ding, Y., Ge, S., Chen, F., Song, Z., Jiang, S., Sun, J., Luo, L., Ling, J., Chen, Z., … Yan, F. (2024). Expert consensus on the diagnosis and therapy of endo-periodontal lesions. *International Journal of Oral Science*, *16*(1). https://doi.org/10.1038/S41368-024-00320-0

Friedrich, F., Scalabrin, S. A., Weissheimer, T., Rösing, C. K., Só, G. B., da Rosa, R. A., & Só, M. V. R. (2023). Influence of the timing of periodontal intervention on periapical/periodontal repair in

endodontic-periodontal lesions: a systematic review. *Clinical Oral Investigations*, *27*(3), 933–942. https://doi.org/10.1007/S00784-022-04849-4

Herrera, D., Retamal-Valdes, B., Alonso, B., & Feres, M. (2018). Acute periodontal lesions (periodontal abscesses and necrotizing periodontal diseases) and endo-periodontal lesions. *Journal of Periodontology*, *89 Suppl 1*, S85–S102. https://doi.org/10.1002/JPER.16-0642

Pasternak-Júnior, B., Teixeira, C. S., Silva-Sousa, Y. T. C., & Sousa-Neto, M. D. (2009). Diagnosis and treatment of odontogenic cutaneous sinus tracts of endodontic origin: three case studies. *International Endodontic Journal*, *42*(3), 271–276. https://doi.org/10.1111/J.1365-2591.2008.01519.X

Piecha, M. C. R., Pappen, F. G., Gomes, F. de A., Sfreddo, C. S., & Pola, N. M. (2026). Cone beam computed tomography vs. Periapical Radiograph: Diagnostic accuracy in endo and periodontal lesions. *Brazilian Dental Journal*, *36*, e256704. https://doi.org/10.1590/0103-644020256704

Rotstein, I. (2017). Interaction between endodontics and periodontics. *Periodontology 2000*, *74*(1), 11–39. https://doi.org/10.1111/PRD.12188

Schmidt, J. C., Walter, C., Amato, M., & Weiger, R. (2014). Treatment of periodontal-endodontic lesions--a systematic review. *Journal of Clinical Periodontology*, *41*(8), 779–790. https://doi.org/10.1111/JCPE.12265

TEACHERS' PERCEIVED ADVANTAGES AND SUPPORT NEEDS IN HIGH SCHOOL SCIENTIFIC RESEARCH: EVIDENCE FROM THE MEKONG DELTA, VIETNAM

Quang Minh Dinh
Professor, Faculty of Biology, School of Education, Can Tho University, Can Tho 900000, Vietnam
ORCID ID: 0000-0002-9895-2039

Tien Kieu Thi Nguyen
Master, An Khanh High School, Can Tho 900000, Vietnam,
ORCID ID: 0000-0002-4603-4164

Lam Thi Thao Vo
Researcher; Faculty of Biology, School of Education, Can Tho University, Can Tho 900000, Vietnam;
ORCID ID: 0009-0000-3180-9556

ABSTRACT
Scientific research (SR) in high school education plays an important role in fostering students' inquiry skills, creativity, and problem-solving abilities. While previous studies have examined student perspectives on research participation, less attention has been paid to teachers' experiences in guiding student research. This study explores teachers' perceptions of the advantages and support needs associated with facilitating student scientific research in high schools in Vietnam's Mekong Delta. Data were collected from approximately 200 high school teachers through open-ended survey questions regarding the most significant advantages they experience when mentoring student research and their recommendations for improving support systems. Thematic analysis of the responses revealed several key advantages, including strong student enthusiasm and curiosity, supportive school leadership, and opportunities for both students and teachers to develop academic and research-related competencies. However, teachers also emphasized the need for stronger institutional support to sustain these activities. The most frequently suggested improvements included increased financial support for research projects, professional training in research methodology, enhanced infrastructure and learning resources, clearer incentive policies, and stronger collaboration between high schools and universities. These findings highlight the importance of a supportive research environment that includes student motivation, teacher guidance, and institutional support for implementing research activities in high school education.
Keywords: facilitating factors; high school education; Mekong Delta; scientific research; teacher perspectives.

Introduction

Scientific research (SR) has become increasingly essential in secondary education, providing students with opportunities to develop inquiry skills, creativity, and problem-solving abilities. Rooted in the principle of "learning by doing," Dewey (1910) argued that meaningful learning occurs when students actively investigate problems and construct knowledge through experience. Contemporary educational research also supports this perspective, demonstrating that inquiry-based and active learning approaches significantly enhance student engagement and academic performance in science and related fields (Freeman et al., 2014). Consequently, integrating research activities into high school education is widely recognized as an effective strategy for developing higher-order thinking skills and preparing students for the demands of the twenty-first century.

In Vietnam, the promotion of scientific research in secondary education has been strengthened by national educational policies. The Law on Science and Technology (2013) defines scientific research as a systematic process aimed at generating new knowledge and practical applications, while Resolution No. 29-NQ/TW on fundamental and comprehensive educational reform emphasizes integrating inquiry-based learning and research activities into teaching practices. In addition, Circular No. 38/2012/TT-BGDĐT institutionalized national competitions in science and technology research for secondary school students, thereby encouraging schools to organize and support students' research activities.

Participation in these competitions has increased steadily in recent years, reflecting growing interest in scientific research among both students and educators (Thuong, 2022).

Despite these positive developments, the implementation of scientific research activities in high schools remains uneven across regions, particularly in resource-constrained areas such as the Mekong Delta. Previous studies have identified several factors influencing students' engagement in research activities, including school infrastructure, teacher guidance, learning environments, and students' intrinsic motivation (Urdanivia Alarcon et al., 2023; Vu et al., 2024). Research focusing on the Mekong Delta has also highlighted disparities in educational resources and opportunities between urban and rural provinces, which may affect students' access to research experiences and inquiry-based learning environments (Le et al., 2021; The World Bank, 2025).

While existing studies provide valuable insights into the facilitating conditions of student research, most research in Vietnam has primarily examined the issue from the perspective of students or institutional policies. However, teachers play a pivotal role in supporting student research by guiding topic selection, mentoring research design, and facilitating students' engagement throughout the inquiry process. Teachers' experiences and perceptions, therefore, offer important insights into both the advantages and practical challenges of implementing research activities in high school settings.

Building on previous research examining students' perspectives on scientific research in the Mekong Delta, this study focuses on teachers' perspectives on two key aspects of students' research activities. Specifically, it explores (1) the most significant advantages teachers perceive when guiding students in scientific research and (2) teachers' recommendations for strengthening support mechanisms for these activities. By analyzing open-ended responses from high school teachers in the Mekong Delta, the study aims to provide empirical insights that may inform strategies to improve inquiry-based learning and enhance the sustainability of scientific research in Vietnamese high schools.

Materials and Methods

Research Design

This study employed a qualitative descriptive design, based on open-ended survey responses from high school teachers about their experiences guiding students in scientific research (SR). Open-ended survey questions allow participants to express their perspectives in their own words and provide detailed insights into practical experiences and contextual conditions surrounding student research activities.

The present analysis focused specifically on two open-ended survey items that examined teachers' perceptions of the advantages and support needs associated with facilitating student research in high schools. The first question asked teachers to identify the most prominent advantages they experience when guiding students in scientific research activities. The second question invited teachers to provide recommendations for improving support mechanisms that could enhance the effectiveness and sustainability of student research in schools.

This qualitative approach was selected to capture teachers' experiences and practical reflections that may not be fully represented through structured survey items. Similar approaches have been widely used in educational research to explore perceptions and contextual factors related to inquiry-based learning and participation in research (Creswell & Plano Clark, 2018; Fetters et al., 2013).

Participants and Sampling

The participants consisted of 200 high school teachers currently teaching in public high schools in the Mekong Delta region of Vietnam. Teachers were drawn from multiple provinces within the region and represented a range of subject areas and teaching experience.

Participants were selected through convenience sampling from professional networks of teachers involved in school-based research activities or science and technology competitions. Eligibility criteria required that participants were currently teaching at the high school level and had experience either mentoring students in scientific research projects or supervising research-related learning activities in their schools. Teachers' perspectives provide valuable insights into the practical conditions of implementing scientific research activities in high schools, as teachers play a central role in mentoring students, guiding research processes, and creating supportive learning environments.

Data Collection

Data were collected through a structured questionnaire administered to teachers. The questionnaire included several sections exploring teachers' experiences with student scientific research activities. For this study, the analysis focused on two open-ended items: C16-*What is the most prominent advantage you perceive when guiding students in scientific research?* And C17-*What recommendations do you have to promote these advantages further and improve support mechanisms for scientific research?*
These questions were designed to capture teachers' reflections on both enabling conditions and areas requiring improvement in the implementation of student research activities.
The survey was conducted during the 2025 academic year. Responses were collected electronically to facilitate participation from teachers across the Mekong Delta's provinces.

Data Analysis

Qualitative responses from the open-ended questions were analyzed using thematic analysis, following procedures commonly applied in qualitative educational research. The analysis involved several steps. First, all responses were reviewed to identify valid entries and remove irrelevant or non-substantive answers. Second, recurring ideas and key phrases in teachers' responses were identified and coded. Third, similar codes were grouped into broader thematic categories representing major advantages and recommended improvements related to student research activities. The coding process focused on identifying themes such as student motivation, teacher support, school leadership, financial resources, infrastructure, professional training, and collaboration with external institutions. These themes were then interpreted in relation to existing literature on inquiry-based learning and scientific research in secondary education. To enhance analytical reliability, responses were reviewed multiple times to ensure consistency in coding and interpretation. Representative statements from teachers' responses were used to illustrate key themes where appropriate.

Findings and Discussion

Findings

Perceived Advantages in Guiding Student Scientific Research

Question C16 explored the most prominent advantages teachers experience when guiding students in scientific research (SR) activities in high schools in the Mekong Delta. Responses revealed several recurring themes related to student characteristics, institutional support, and professional development opportunities. The most frequently mentioned advantage was students' enthusiasm and active engagement in research activities. Many teachers noted that students showed strong curiosity, willingness to explore new ideas, and a high level of commitment to completing research projects. Teachers often described students as "enthusiastic," "eager to learn," and "actively searching for new ideas." These responses indicate that student motivation plays an important role in facilitating research activities in high schools.
A second prominent theme was support from school leadership and institutional encouragement. Teachers frequently mentioned that school administrators provided encouragement, created favorable conditions for research activities, and supported participation in science competitions. Such institutional backing helps foster a positive academic environment that encourages both teachers and students to engage in research activities.
Another commonly cited advantage was the development of students' research skills and competencies. Teachers reported that participation in research projects helped students improve their critical thinking, teamwork, communication, and problem-solving skills. These experiences were also perceived as beneficial for students' academic development and career orientation.
Finally, several teachers indicated that guiding student research also contributes to teachers' own professional development. Through mentoring research projects, teachers gain opportunities to expand their subject knowledge, improve research supervision skills, and explore innovative teaching approaches.
Overall, teachers' responses highlight that the main advantages of student scientific research stem from the interaction between student motivation, teacher guidance, and supportive school environments, creating favorable conditions for inquiry-based learning in high school education.

Teachers' Recommendations for Strengthening Scientific Research Activities

Question C17 examined teachers' recommendations for improving support systems for student scientific research. Thematic analysis of the responses revealed several key areas where teachers believe additional support is needed.

The most frequently mentioned recommendation was increased financial support for research activities. Many teachers emphasized that conducting research projects often requires funding for materials, equipment, and experimental procedures. In some cases, teachers reported using personal resources to support student projects, indicating the need for more systematic financial support from schools or educational authorities.

Another major theme concerned professional training and methodological support for teachers. Respondents suggested organizing workshops and training programs on research methodology, project design, and scientific writing. Teachers indicated that such training would improve their capacity to mentor students effectively and enhance the quality of student research projects.

Teachers also highlighted the importance of improving infrastructure and learning resources, including laboratories, experimental equipment, and access to research materials. Adequate facilities were considered essential for enabling students to conduct meaningful research and apply theoretical knowledge to practical problems.

In addition, several teachers recommended strengthening collaboration between high schools and external institutions, particularly universities and research organizations. Such collaborations could provide mentorship, access to specialized facilities, and opportunities for students to engage with authentic scientific practices.

Finally, respondents emphasized the need for clear incentive policies and recognition mechanisms for both teachers and students involved in research activities. These incentives could include awards, recognition in teacher evaluation systems, or reduced teaching workloads for teachers supervising research projects.

Taken together, these recommendations suggest that while enthusiasm among students and teachers provides a strong foundation for research activities in high schools, sustained development requires stronger institutional support in funding, professional development, infrastructure, and collaborative networks.

Table 1. Themes from teachers' responses on the advantages and recommendations for student research.

Theme	Description
Student enthusiasm	Students show curiosity, motivation, and active participation in research.
School support	Support from school leadership and institutional encouragement.
Skill development	Research improves students' critical thinking, teamwork, and problem-solving.
Financial support	Need for funding for research materials and activities.
Training and workshops	Need for methodological training for teachers and students.
Infrastructure and resources	Need for laboratories, equipment, and research materials.
Collaboration	Partnerships with universities and external organizations.
Incentives	Recognition and support mechanisms for teachers and students.

Discussion

The findings from teachers' responses provide important insights into the facilitating conditions and support needs associated with high school scientific research (SR) in the Mekong Delta. Overall, the results indicate that student motivation, institutional encouragement, and opportunities for competency development constitute key advantages in guiding student research, while financial support, professional training, and improved infrastructure remain critical areas requiring further improvement.

One of the most prominent findings is the central role of students' enthusiasm and curiosity in sustaining research activities. Teachers frequently emphasized that students demonstrate strong interest, willingness to explore new ideas, and active engagement when participating in research projects. This observation aligns with Self-Determination Theory, which suggests that intrinsic motivation—such as

curiosity and interest—plays a fundamental role in promoting sustained engagement in learning activities (Ryan & Deci, 2000). When students perceive research as meaningful and relevant, they are more likely to invest effort in inquiry-based tasks and persist in problem-solving processes. Similar findings have been reported in previous studies, highlighting that inquiry-based learning environments can stimulate student motivation and foster deeper engagement in scientific exploration (Freeman et al., 2014).

Another key advantage identified by teachers relates to institutional encouragement and school leadership support. Many respondents noted that school administrators create favorable conditions for research activities by encouraging participation in research competitions, allocating time for research projects, and recognizing students' achievements. Such institutional support contributes to the development of a positive research culture within schools. Previous studies have also emphasized that supportive school environments and leadership practices play an essential role in sustaining inquiry-based teaching and learning practices (Foley et al., 2025). In contexts with strong administrative support, teachers are more likely to engage in innovative instructional practices and guide students in research activities.

Teachers also highlighted the educational value of research activities for developing students' competencies, including critical thinking, collaboration, and communication skills. These observations are consistent with previous research suggesting that inquiry-based learning can support the development of higher-order thinking and scientific reasoning, which has been widely recognized as an effective approach for promoting higher-order cognitive skills (Urdanivia Alarcon et al., 2023). By engaging in authentic research processes—such as identifying problems, collecting data, and presenting findings—students gain experiential learning opportunities that extend beyond traditional classroom instruction.

Despite these advantages, teachers' recommendations reveal several structural challenges that may limit the sustainability of research activities in high schools. The most frequently mentioned concern was the lack of financial support for research projects, particularly for purchasing materials, conducting experiments, or participating in competitions. This finding reflects broader disparities in educational resources that exist across regions in Vietnam, particularly in rural areas such as parts of the Mekong Delta (Le et al., 2021; The World Bank, 2025). Insufficient funding may limit the scope and quality of student research projects and impose additional burdens on teachers who try to support them with personal resources.

Another important recommendation concerns the need for professional training and methodological support for teachers. Many respondents suggested that workshops or training sessions on research design, data analysis, and scientific reporting could significantly enhance teachers' capacity to mentor student research. Previous research has similarly emphasized that teacher expertise and guidance are essential components of successful inquiry-based learning environments (Vu et al., 2024). When teachers possess strong research skills and methodological knowledge, they are better equipped to support students throughout the research process.

Teachers also emphasized the importance of improving infrastructure and strengthening collaborations with external institutions, particularly universities. Access to laboratories, research equipment, and academic resources can greatly enhance the quality of student research activities. Partnerships between high schools and universities may provide opportunities for mentorship, access to specialized facilities, and exposure to authentic research practices. Such collaborations have been increasingly recognized as an effective strategy for strengthening the research–teaching nexus and promoting inquiry-based learning in educational institutions (Nguyen et al., 2023).

Overall, the findings suggest that scientific research activities in high schools rely on a dynamic interaction between student motivation, teacher mentorship, and institutional support systems. While enthusiasm from students and teachers provides a strong foundation for research activities, the sustainable development of school-based research requires coordinated support in funding, professional development, infrastructure, and collaborative networks. Strengthening these elements could help create a more supportive research ecosystem in high school education and enhance the long-term impact of inquiry-based learning in the Mekong Delta.

Conclusion and Recommendations

This study explored teachers' perceptions of the advantages and support needs associated with facilitating student scientific research in high schools in the Mekong Delta. The findings indicate that strong student motivation, supportive school leadership, and opportunities to develop research-related competencies constitute important advantages for guiding student research activities. Teachers observed that many students demonstrate curiosity, enthusiasm, and willingness to engage in inquiry-based learning when given opportunities to participate in research projects.

At the same time, the results highlight several areas where additional support is needed to strengthen the sustainability and effectiveness of these activities. In particular, teachers emphasized the importance of increased financial support for research projects, improved infrastructure and learning resources, professional training in research methodology, and stronger collaboration between high schools and external institutions such as universities. Clear incentive policies and recognition mechanisms for both teachers and students were also considered important for encouraging long-term participation in research activities.

Overall, the findings suggest that the successful implementation of scientific research in high schools depends on the interaction between student motivation, teacher mentorship, and institutional support systems. Strengthening these elements could help create a more supportive research ecosystem in secondary education and support the implementation of inquiry-based learning in developing students' scientific competencies in the Mekong Delta.

Thanks and Information Note

This study was supported by funding from Can Tho University under the grant code CTCS2024-09-01. We extend our heartfelt appreciation to the 200 high school teachers from An Giang, Ca Mau, Can Tho, Dong Thap, and Vinh Long provinces in the Mekong Delta region for their participation in completing the survey.

REFERENCES

Bandura, A. (1999). Social cognitive theory: An agentic perspective. Asian Journal of Social Psychology, 2(1), 21-41. https://doi.org/10.1111/1467-839X.00024

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE Publications.

Dewey, J. (1910). How we think. D. C. Heath & Co. https://bef632.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/dewey-how-we-think.pdf

Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs: Principles and practices. Health Services Research, 48(6), 2134–2156. https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117

Foley, K., O'Sullivan, D., & Cahill, K. (2025). Factors affecting primary teachers' ability to engage in transformative professional learning. Professional Development in Education, 1–17. https://doi.org/10.1080/19415257.2025.2500523

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(23), 8410–8415. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

Le, L. T. B., Tran, T. T., & Tran, N. H. (2021). Challenges to STEM education in Vietnamese high school contexts. Heliyon, 7(12), e08649. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08649

Nguyen, D., Dinh, H.-V. T., & Nguyen, N.-P. (2023). School–university partnerships in Vietnam: Insights, reflections, and recommendations. In International perspectives on school-university partnerships (pp. 69–83). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0807-3_6

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. Contemporary Educational Psychology, 25(1), 54–67. https://doi.org/10.1006/ceps.1999.1020

Thuong, T. (2022). 71 units participated in the Science and Engineering Research Competition for Secondary School Students." Tuổi Trẻ Newspaper. https://tuoitre.vn/71-don-vi-tham-gia-cuoc-thi-nghien-cuu-khoa-hoc-ky-thuat-danh-cho-hoc-sinh-trung-hoc-20220326123607494.htm

The World Bank. (2025). Living or Leaving: Life in the Mekong Delta region of Viet Nam. Washington, DC: World Bank. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO, 1-96. https://documents1.worldbank.org/curated/en/099121525051555427/pdf/P181094-5ad557aa-49ed-428d-90df-2eaf603d92ef.pdf

Urdanivia Alarcon, D. A., Talavera-Mendoza, F., Rucano Paucar, F. H., Cayani Caceres, K. S., & Machaca Viza, R. (2023). Science and inquiry-based teaching and learning: a systematic review. Frontiers in Education, 8, 1-10. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1170487

Vu, N.-O., Luu, H.-T., Nhu, V.-C., Vu, T.-Q., & Do, Q. M. T. (2024). Enhancing scientific research competencies of Vietnamese high school students through STEM education. Asia-Pacific Science Education, 10(2), 318–349. https://doi.org/10.1163/23641177-bja10085

ORGANIZING PROJECT-BASED LEARNING FOR TEACHING THE EPIC GENRE IN GRADE 10 LITERATURE TO DEVELOP STUDENTS' PROBLEM-SOLVING AND CREATIVITY COMPETENCIES

Nguyen Chi NGUYEN
M.A., Dong Thap University, Dong Thap Province, Vietnam

Huynh Thi HOI
Vinschool Grand Park, Ho Chi Minh City, Vietnam

Le Thi HANG
Vinschool Grand Park, Ho Chi Minh City, Vietnam

Quach Tuyet MINH
Can Tho University, Can Tho City, Vietnam

ABSTRACT
Vietnamese culture is partly expressed through folklore, particularly epic literature. Therefore, teaching literature in schools serves as an important means of transmitting national cultural values to learners. The 2018 General Education Curriculum of Vietnam identifies the goal of fostering students' balanced development in both qualities and competencies, among which problem-solving and creativity are considered essential and fundamental competencies. From this perspective, teaching folklore, including epic literature, plays a significant role in nurturing students' national pride and patriotism, which is a noble mission for educators. In this paper, we propose organizing the teaching of epic literature through project-based learning. Through this approach, students are encouraged to explore and internalize national cultural values through their own personal perspectives. This teaching method places learners in an active position of knowledge discovery, allowing them to generate original ideas and express their individual identities. As a result, folklore becomes more meaningful and engaging for young learners, while continuing to exist with renewed perspectives and interpretations. Although project-based learning in teaching epic literature is not entirely new, our approach draws on the perspective of liberal education, offering new and open directions. Based on the foundation of traditional values, we grant greater autonomy to learners in the learning process. Through this approach, the study aims to examine and assess students' problem-solving abilities and creative thinking in the subject of Literature.
Keywords: Project-based learning, epic literature, Grade 10 Literature, competencies, problem-solving and creativity.

EFFECT OF THINK-PAIR-SHARE STRATEGY ON SENIOR SECONDARY ONE STUDENTS' ACHIEVEMENT IN CELL BIOLOGY IN JOS NORTH LOCAL GOVERNMENT AREA NIGERIA

Agbefa Maria ABAH
Department of Science and Technology Education, Faculty of Education, University of Jos, Nigeria
ORCID ID: 0009-0003-4873-7431

Anene Amaka ANULIKA
Department of Science and Technology Education, Faculty of Education, University of Jos, Nigeria

Kamji Nendirmwa BLESSING
Department of Science and Technology Education, Faculty of Education, University of Jos, Nigeria

ABSTRACT
This study investigated the effect of the Think–Pair–Share strategy on Senior Secondary Two students' achievement in Cell Biology in Jos North, Plateau State, Nigeria. The study adopted a quasi-experimental research design. Two research questions and two hypotheses guided the study. The population comprised 1,916 students from public senior secondary schools in Jos North Local Government Area. A sample of 110 students (55 males and 55 females) was selected using simple random sampling technique. The Cell Achievement Test (CAT) was used as instrument for data collection. The reliability of the instruments was established using Kuder–Richardson Formula 20 for the achievement test and it yielded a reliability coefficient of 0.73. Data collected were analysed using mean and standard deviation to answer the research questions, while Analysis of Covariance (ANCOVA) was used to test the hypotheses at the 0.05 level of significance. The findings revealed that students taught Cell Biology using the Think–Pair–Share strategy obtained higher mean achievement scores than those taught using the conventional lecture method. The study concluded that the Think–Pair–Share strategy enhances students' academic achievement through active participation and collaborative learning. It was therefore recommended that Biology teachers should adopt the Think-Pair-Share strategy to improve students' understanding and achievement in Biology.
Keywords: Think-Pair-Share Strategy, Senior Secondary I Students, Students' Achievement, Cell, Biology Education.

ARDUINO–BLUETOOTH CONTROLLED CAR DEVELOPMENT THROUGH PROJECT-BASED LEARNING

Hanifah JAMBARI
Faculty of Educational Sciences and Technology, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia

Sharifah OSMAN
Faculty of Educational Sciences and Technology, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia

Jamilah AHMAD
Faculty of Educational Sciences and Technology, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia

ABSTRACT
The present project focuses on the construction of an Arduino-Bluetooth operated vehicle as a learning innovation applied in the Project-Based Learning (PBL). The project will work on improving the students knowledge on electronics, programming, and automation in a practical approach where the students are involved in student-centered learning. All the development activities involve the students to build the car parts, code the microcontroller, connect the Bluetooth communication, and test the movement and control capabilities of the vehicle with the help of a mobile device. This practice will allow the students to relate theoretical and practical learning and enhance their problem-solving skills, creativity, collaboration, and critical thinking. Moreover, one of the project objectives is active exploration and iterative improvement, which is why learners can detect technical problems and adjust the prototype to the outcome of the tests. The project is applicable in teaching and learning in Technical and Vocational Education and Training (TVET) and other educational institutions offering STEM-related courses due to the use of low-cost and accessible technology. Comprehensively, the Arduino-Bluetooth controlled car development project illustrates how Project-Based Learning can be effective in fostering meaningful learning experience, enhancing technical competency, and equipping students with pertinent skills to meet 21 st -century learning and Industry 4.0 requirements.
Keywords: Arduino, Bluetooth-controlled car, Project-Based Learning (PBL), TVET, hands-on learning, STEM education, technical skills, Industry 4.0

TEACHING/LEARNING FRENCH IN MOROCCO: WHAT IS THE LINK WITH EMOTION, MOTIVATION, AND NONVIOLENT COMMUNICATION?

FRANSIZCA ÖĞRETİMİ/ÖĞRENİMİFAS'TA: DUYGULAR, MOTİVASYON VE ŞİDDETSİZ İLETİŞİM İLE NASIL BİR BAĞLANTISI VAR?

Oumaïma HANTAT
Normal Superior School of Teachers, Hassan II University, Multidisciplinary Laboratory for Educational Sciences and Training Engineering (LMSEIF), Casablanca, Morocco

Malika RAFIQ
Habilitated Professor, Normal Superior School of Teachers, Hassan II University, Multidisciplinary Laboratory for Educational Sciences and Training Engineering (LMSEIF), Casablanca, Morocco

Yassine SIBENALI
Professor, Normal Superior School of Teachers, Hassan II University, Multidisciplinary Laboratory for Educational Sciences and Training Engineering (LMSEIF), Casablanca, Morocco

ABSTRACT

The present study focuses on the emotion of anger and its relationship with non-violent communication (NVC). From this perspective, the research explores the concepts of emotion, particularly anger, as well as non-violent communication (commonly referred to as NVC). The study aims to contextualize the interactions between these two notions, particularly within the professional environment and more specifically in an educational setting. In order to conduct this research, we first address the notion of emotion as well as that of anger, taking into consideration the various studies carried out in this field. In addition, we highlight the relationship between the emotion of anger and the process of non-violent communication, while presenting different ways of managing this emotion. Through interviews conducted with a pedagogical team, this research analyzes the impact of anger on the success of non-violent communication. The study ultimately leads to a set of suggestions aimed at improving anger management and facilitating the implementation of a non-violent communication process. From this perspective, the scientific approach adopted is mainly based on the analysis of the impact of this emotion on the communication process. The emotion of anger is therefore considered as the main object of study, and its influence on the process of non-violent communication in a professional and pedagogical context is examined. This study takes the form of a qualitative inquiry. Indeed, semi-structured interviews guided by a series of deductive questions are conducted with teachers and pedagogical coordinators at the French Institute in Casablanca. The following structure explains the methodological approach adopted for this research. First, the notions of emotion and non-violent communication are addressed with reference to various theoretical perspectives. In order to further clarify the object of the study, the research then focuses on non-violent communication within professional and pedagogical contexts.The methodological framework is mainly based on a qualitative survey. The pedagogical team (teachers and pedagogical coordinators) is interviewed in order to examine the impact of anger on their pedagogical practices and on the communicative process. Particular attention is given to identifying the manifestations of anger, the frequency of its occurrence, and the possible effects it may have on communication.
Key words: non-violent communication, emotion, anger, communication process

ÖZET

Bu çalışma, öfke duygusu ve onun şiddet içermeyen iletişim (NVC) ile ilişkisine odaklanmaktadır. Bu bakış açısıyla, araştırma duygu kavramlarını, özellikle öfkeyi ve şiddet içermeyen iletişimi (genellikle NVC olarak anılır) incelemektedir. Çalışma, bu iki kavram arasındaki etkileşimleri, özellikle profesyonel ortamda ve daha spesifik olarak eğitim ortamında bağlamsallaştırmayı amaçlamaktadır. Bu araştırmayı yürütmek için, öncelikle bu alanda yapılan çeşitli çalışmaları dikkate alarak duygu ve öfke kavramlarını ele alıyoruz. Ayrıca, öfke duygusu ile şiddet içermeyen iletişim süreci arasındaki ilişkiyi vurgulamakla birlikte, bu duyguyu yönetmenin farklı yollarını da sunuyoruz.

Bu araştırmayı yürütmek için, öncelikle bu alanda yapılan çeşitli araştırmaları dikkate alarak duygu ve öfke kavramlarını ele alacağız. Ayrıca, öfke duygusu ile şiddet içermeyen iletişim süreci arasındaki ilişkiyi ortaya koyarken, bu duygunun yönetilme yöntemlerini de ele alacağız.
Öğretim ekibiyle yapılan görüşmeler aracılığıyla, öfkenin şiddet içermeyen iletişimin başarısı üzerindeki etkisini analiz ederek, bu duyguyu daha iyi yönetmek ve şiddet içermeyen iletişim sürecini teşvik etmek için öneriler üzerinde düşünmeye çalışacağız. Bu bakış açısıyla, benimsenen bilimsel yaklaşım esas olarak bu duygunun iletişim süreci üzerindeki etkisinin analizine dayanmaktadır. İlk etapta, öfke duygusunu inceleme konusu olarak ele alacağız ve işyerinde şiddet içermeyen iletişim süreci üzerindeki etkisini inceleyeceğiz.
Bu çalışma, niteliksel bir araştırma ile şekillenecektir. Nitekim, Kazablanka Fransız Enstitüsü'ndeki öğretmenler ve eğitim koordinatörleri ile bir dizi dedüktif soru içeren bir görüşme yapılması planlanmaktadır. Aşağıdaki plan, bu çalışmayı yürütmek için benimsenen yaklaşımı ve aşamaları göstermektedir. İlk olarak, farklı teorilere atıfta bulunarak duygu ve şiddet içermeyen iletişim kavramlarını ele alacağız. Bu araştırmanın konusunu daha da netleştirmek için, daha sonra mesleki ve pedagojik bağlamda şiddet içermeyen iletişime odaklanacağız.
Metodolojik yaklaşım, esas olarak niteliksel bir araştırmaya dayanacaktır. Bu nedenle, eğitim ekibine (öğretmenler ve eğitim koordinatörleri) öfkenin eğitim uygulamaları ve iletişim süreci üzerindeki etkisini soracağız. Ayrıca, öfkenin tezahürlerini, ortaya çıkma sıklığını ve iletişim üzerinde olası etkilerini de inceleyeceğiz.
Anahtar kelimeler: şiddet içermeyen iletişim, duygu, öfke, iletişim süreci.

REVIEW OF IMPACT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS: IMPLICATIONS FOR ACADEMIC INTEGRITY AND STUDENTS CREATIVITY

Amansisa EMBABO
Department of Information Science, Jimma University, Ethiopia, Mattu University, Ethiopia
ORCID ID: 0009-0001-8588-1905

Amanuel Ayde ERGADO
Department of Information Science, Jimma University, Ethiopia

Worku JIMMA
Department of Information Science, Jimma University, Ethiopia

ABSTRACT
The rapidly emerging generative artificial intelligence such as ChatGPT, QuillBot, humanizer-AI, Gemini and Deep-seek are changing the academic writing habits. Nowadays students are using these tools to develop contents, write assessments, paraphrase and humanize contents and add references. Since the existing plagiarism checkers are incapable of detecting the contents disguised by humanizer and paraphraser tools, it is challenging to distinguish students' genuine work from AI generated contents. Such activities worsens the challenges of academic dishonest, increase AI-dependence and affect students' creativity. Thus, the aim of this review is to investigate the Impact of AI tools in higher education institutions and its implications for academic integrity and student creativity. The studies were retrieved from multiple data bases using search key words and were subsequently included in this review based on inclusion and exclusion criteria. The finding shows that the existing plagiarism detection tools have a shortage to fully detect AI generated contents. Moreover, the absence of comprehensive AI ethical guidance and policy, increase the negative impacts of AI tools in higher education institutions. Due to these reason academic integrity and creativity become affected and poses to ethical challenges including plagiarism, information bias, privacy risks, cheating, responsibility lack, misusing AI, critical thinking and intellectual property ownership problem. To resolve this challenges, though some universities attempted to ban, the others are developing policies by recognizing AI tools advantages and its inevitability to use. Therefore, comprehensive integrity policy such as: pedagogy and curriculum integration with AI, AI detector enhancement, AI literacy awareness creation, developing AI policy in higher education institutions (HEIs) and global policy harmonization are mentioned to resolve the ethical challenges and enhance academic integrity and students' creativity.
Keywords: Generative AI, ethical challenges, academic integrity, higher education institutions, plagiarism detection, students' creativity

STUDENTS' EMOTIONS AND PERFORMANCE IN OUTCOME BASED EDUCATION AT POLYTECHNIC

Noor Hanim ISMAIL
Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Malaysia
ORCID NO: 0000-0000-0000-0000

Nor Fathimah FATHIL
Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Malaysia
ORCID NO: 0000-0000-0000-0000

Rosnida OTHMAN
Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Malaysia
ORCID NO: 0000-0000-0000-0000

ABSTRACT
The COVID-19 pandemic has had a major effect on the education of students from Tuanku Sultanah Bahiyah Polytechnic, Malaysia, requiring them to adjust to a variety of changes in the learning settings, including timetable disruptions, hybrid models, and remote learning. This abrupt change highlights the need to understand students' views on academic performance and how they feel toward their educational process, spanning from 2020 to 2023. Therefore, the aim of this study is to investigate polytechnic students' emotions and their performance in outcome based education. This study focuses on program learning outcomes (PLO), which serve as curriculum development standards and evaluate the overall effectiveness of an educational program. Achievement Emotion Questionnaire (AEQ) was used to gauge 91 students' emotions and the findings demonstrate that students showcase positive emotional regulation throughout their learning experience, during study sessions in the classroom, and when responding to tests or assessments. Students' performance in the PLO exceeded the expected achievement performance of 50%, with a standard of 60% to 90% achieved. After finishing all program courses, the students' PLO achievement further demonstrated that they had successfully acquired the knowledge, abilities, attitudes, and skills in accordance with the polytechnic missions.
Keywords: Achievement Emotions, Outcome Based Education; Performance, Programme Learning Outcome, Student.

MECHANISMS FOR IMPLEMENTING THE UNIVERSITY'S INSTITUTIONAL CAPACITY IN QUALITY ASSURANCE OF EDUCATION

Iliichuk LIUBOMYRA
Associate Professor of the Department of Primary Education and Educational Innovations
Vasyl Stefanyk Carpathian National University (Ukraine)

ABSTRACT

This article explores the concept of institutional capacity within a higher education institution (HEI) as a fundamental factor for the effective functioning of the Internal Quality Assurance System (IQAS). The research methodology is based on a systemic approach and a comparative analysis of international quality standards (ESG) and national accreditation requirements. The study analyzes the structural and functional components at the institutional level that determine a university's ability not only to adapt to external accreditation criteria but also to autonomously generate a sustainable culture of quality.

The author argues that institutional capacity is built upon the synergy of an updated regulatory framework, strategic management, and the integrated interaction of all stakeholders in the educational process. Particular attention is paid to the functional role of specialized administrative units in coordinating monitoring procedures and providing methodological support to educational program guarantors. The paper reveals the mechanisms for transforming internal regulations into applied management tools through the digitalization of monitoring processes, which allows for the mitigation of reputational and procedural risks during the preparation for external evaluation and accreditation audits.

The study concludes that the development of institutional capacity is a dynamic process requiring regular revision of internal policies, the implementation of digital services for real-time data analysis, and the enhancement of personal accountability among university management levels for the outcomes of educational activities. The proposed structural model of institutional capacity serves as a practical guide for HEIs to optimize their quality assurance departments and improve internal self-assessment efficiency.

Keywords: institutional capacity, internal quality assurance system, higher education, accreditation of educational programs, educational management, quality culture, educational activity monitoring, digitalization of education, stakeholders' engagement.

TO INTEGRATE HELPING TEACHERS AND STUDENTS IN THE INTEGRATION OF ICT IN THEIR PEDAGOGICAL PRACTICES IN ALBANIA

Anila ALIAJ (KARANXHA)
PhD Candidate, University of Tirana, Faculty of Foreign Languages.

ABSTRACT
Integrating Information and Communication Technologies (ICT) into education has become increasingly important for improving teaching and learning in the digital era. In Albania, although efforts have been made to introduce ICT in schools, major obstacles remain, including limited resources, inadequate teacher training, and low student engagement. This paper proposes practical models for a pilot school that can support both teachers and students in using ICT more effectively in everyday pedagogical practice. The proposed models focus on embedding digital tools into lesson planning in ways that make learning more interactive, engaging, and student-centered. Suggested strategies include the use of multimedia resources, online quizzes, and collaborative platforms to enrich language learning activities as well as work in other subject areas. The paper also promotes a culture of active participation by encouraging students to create digital content, such as blog posts, podcasts, videos, and collaborative projects developed through online platforms. To support teachers, it outlines approaches to professional development that include targeted training workshops, ongoing mentoring, and peer collaboration aimed at strengthening digital competence. In addition, the study discusses monitoring and evaluation mechanisms that can be used to assess the effectiveness of ICT integration, measure student outcomes, and guide future adjustments. The results of the pilot initiative may offer useful insights for extending the model across the Albanian education system and for improving policy support for sustainable ICT integration.
Keywords: ICT integration, teacher training, student engagement, digital tools, pedagogical practices.

1. INTRODUCTION
The integration of Information and Communication Technologies (ICT) has become one of the defining features of contemporary education. As digital technologies continue to influence how knowledge is accessed, produced, and shared, educational practice is expected to adapt in meaningful ways. In this sense, ICT should not be seen simply as an extra classroom tool, but as a factor that can reshape teaching approaches and improve students' learning experiences.
In Albania, attempts to introduce ICT into education have been reflected in national strategies and investments in digital infrastructure. Even so, the move from policy to effective classroom practice remains uneven. In many schools, technology is still used in a narrow or highly instrumental way, often limited to presentation software rather than being used to support interaction, collaboration, and deeper learning.
This study is situated at the intersection of theory and practice. Its aim is to support both teachers and students, particularly in English as a Foreign Language (EFL) contexts, through more purposeful ICT integration. Rather than focusing only on the tools themselves, the paper emphasizes pedagogically grounded strategies informed by established theoretical frameworks and by insights from the existing literature. In this way, it seeks to narrow the gap between abstract models of ICT integration and their practical use in real classroom settings within the Albanian educational context.

2. THEORETICAL FRAMEWORK
Effective ICT integration needs a clear theoretical foundation that explains how technology can genuinely strengthen teaching and learning. Two of the most influential frameworks in this area are TPACK and SAMR, which offer complementary ways of understanding the role of technology in education.
The TPACK framework (Technological Pedagogical Content Knowledge), developed by Koehler and Mishra (2009), argues that effective teaching with technology emerges from the interaction of three core forms of knowledge: content knowledge, pedagogical knowledge, and technological knowledge. This is especially relevant in EFL settings, where teachers need not only a strong understanding of language content and teaching methods, but also the ability to use digital tools in ways that support language

acquisition. For example, multimedia resources such as videos or interactive platforms become pedagogically valuable only when they are closely connected to specific learning goals, such as improving listening comprehension or developing communicative competence.

The SAMR model (Puentedura, 2013) adds another useful perspective by focusing on the depth of technology integration. It distinguishes between different levels of use, beginning with substitution, where technology simply replaces a traditional tool, and moving toward redefinition, where it makes possible learning experiences that would otherwise be difficult or impossible. In EFL classrooms, this progression can be seen in the shift from simple digital worksheets to collaborative, technology-mediated tasks such as multimedia projects or online discussions with authentic audiences.

Both frameworks are closely related to constructivist learning theory, which views learning as an active, social, and context-dependent process. From this perspective, ICT supports learners in constructing knowledge through interaction, collaboration, and reflection. In language learning, this aligns strongly with communicative approaches that prioritize authentic communication and active learner participation.

The choice of these frameworks is grounded in their wide use in educational research and in their relevance to the challenges present in the Albanian context. Taken together, they offer both a conceptual basis and a practical guide for the design of effective ICT-supported pedagogy.

3. METHODOLOGY

This study adopts a design-based and exploratory conceptual methodology aimed at developing a pedagogical framework for ICT integration in EFL contexts. Rather than testing a fully implemented intervention, the paper proposes a structured model informed by theory, prior research, and contextual knowledge of Albanian schools.

The model is intended for pilot implementation in selected schools, where it could be refined over time through classroom observation, teacher reflection, and student feedback. Although this paper does not present empirical findings from an implemented intervention, it uses simulated outcomes to illustrate the possible impact of the proposed models, drawing on established research in technology-enhanced language learning.

The use of simulated data serves an illustrative purpose. It allows the study to present realistic projections of potential outcomes while keeping the emphasis on practical applicability and pedagogical planning.

4. MODELS FOR ICT INTEGRATION IN EFL CONTEXTS

The models proposed in this study are designed as interconnected strategies that address the main dimensions of ICT integration: teaching practice, student engagement, and teacher development. Each model is grounded in theoretical principles while also offering practical applications for EFL classrooms.

4.1 ICT-Enhanced Lesson Planning

To move ICT integration from theory into classroom practice, teachers need concrete and adaptable examples. The sample lesson below shows how a simple digital resource, such as a short video, can be structured pedagogically in order to support language learning in an EFL classroom. The example reflects the integration of technological, pedagogical, and content knowledge described by the TPACK framework, while also moving toward the “modification” level of the SAMR model.

Sample Lesson: Developing Listening and Speaking Skills through Video

The lesson is designed for intermediate-level EFL students and focuses on improving listening comprehension and spoken interaction.

The teacher begins by selecting a short authentic video clip of around two to three minutes, such as a daily conversation, a short interview, or a vlog. The use of authentic material is deliberate, since research on language acquisition highlights the value of exposure to real-life language, natural pronunciation, intonation, and contextualized expressions.

Rather than presenting the video passively, the teacher organizes the lesson into three meaningful stages:

Pre-listening stage:
At this stage, the teacher activates students' prior knowledge and prepares them for comprehension. For instance, the teacher may introduce the topic of the video and ask questions such as "What do you think this conversation might be about?" or "What vocabulary might you expect to hear?" Key vocabulary can also be introduced through visuals or short digital prompts. This stage is important because it reduces cognitive load and helps students focus more effectively on meaning during the listening task.

While-listening stage:
The video is first played for general understanding, with students asked to identify the main idea rather than focus on every single word. This reflects communicative language teaching principles, which prioritize meaning over form in initial exposure.
During the second viewing, the teacher introduces more focused tasks. Students may be asked to:
• identify specific expressions or phrases used in the conversation,
• notice how speakers express opinions or emotions,
• complete a digital worksheet or quiz using tools such as Google Forms or other interactive platforms.
These activities turn listening from a passive experience into an active one, encouraging students to engage with the content more deeply.

Post-listening stage:
At this point, the focus shifts from comprehension to production. Students are asked to use the language they have observed in meaningful ways. For example, they may:
• work in pairs to recreate the conversation,
• adapt the dialogue to a different context,
• record a short video or audio response using similar expressions.
This stage is particularly important because it supports the movement from input to output, which is central to language acquisition. By incorporating digital tools such as recording applications, the activity goes beyond a traditional speaking task and creates opportunities for reflection, replay, and self-assessment.

Pedagogical Value and Practical Strategies
This example illustrates several practical strategies that teachers can apply in their own classrooms.
First, technology should always serve a clear pedagogical purpose. The video is not included simply because it is available, but because it provides authentic input that supports specific learning objectives.
Second, activities should be structured in stages—pre-, while-, and post-listening—so that students move gradually from understanding to application. This helps teachers manage ICT use effectively without overwhelming learners.
Third, interaction is essential. ICT tools are most valuable when they encourage active participation rather than passive consumption. Tasks that ask students to analyze, discuss, and create content tend to lead to deeper learning.
Fourth, even simple tools can have a strong impact. Teachers do not need highly advanced technologies to integrate ICT effectively. Basic digital resources, when used strategically, can significantly increase both engagement and learning.
Finally, reflection and adaptation remain essential. Teachers should continuously evaluate how digital tools affect student learning and adjust their approaches accordingly. This reflective process aligns with both the TPACK and SAMR frameworks and supports gradual, meaningful ICT integration.

4.2 STUDENT-CENTERED DIGITAL LEARNING
A key dimension of effective ICT integration in EFL contexts is the move away from teacher-centered instruction toward student-centered learning. Digital technologies support this shift by allowing students to construct, produce, and share knowledge actively rather than simply receiving it. This approach is closely aligned with constructivist learning theory and communicative language teaching, both of which emphasize meaningful interaction, learner autonomy, and authentic language use.

To make this shift practical for teachers, these principles need to be translated into concrete classroom activities. One particularly effective approach is to have students create digital content of their own, such as podcasts, videos, blogs, or collaborative projects.

Example: Podcast Creation for Speaking Development

An especially useful activity in EFL classrooms is asking students to create a short podcast based on a personal experience or a thematic topic, such as "My favorite place," "A memorable day," or "Technology in my life." This task encourages authentic language use while also helping students develop digital skills.

The activity can be organized in clear stages. The teacher first introduces the task and provides a model example of a short podcast so that students understand the expectations related to content, structure, and language use. At this point, it is also helpful to highlight useful vocabulary, key expressions, and basic organizational patterns, such as introduction, main points, and conclusion.

Students then move into the planning stage, where they brainstorm ideas and prepare a short script. At this stage, teachers should encourage students to focus on meaning and communication rather than grammatical perfection. Guiding questions such as "What happened?", "Why was it important?", and "How did you feel?" can help students develop their ideas.

In the production stage, students use simple tools such as smartphone recording apps to create their podcasts. This stage is valuable because it allows repeated practice. Students can record, listen, and re-record their speech, which encourages self-correction and reflection—both important elements of language development.

Finally, students share their podcasts with peers, either through a digital platform or in the classroom. This gives the task a real audience and communicative purpose. Peer feedback can be guided using simple criteria such as clarity, fluency, and vocabulary use.

This activity reflects the "modification" or "redefinition" levels of the SAMR model because it goes beyond a traditional speaking exercise and incorporates digital production as well as audience interaction.

Pedagogical Strategies for Teachers

To make student-centered digital learning successful, several strategies are worth emphasizing.

First, teachers need to provide clear structure and guidance, especially when learners are encountering a task of this type for the first time. Student-centered learning encourages autonomy, but it still requires clear expectations and support.

Second, tasks should be meaningful and relevant to students' lives. When students can connect an activity to their own experiences, motivation and engagement tend to increase.

Third, teachers should balance language development with creativity. Although digital tasks invite creative expression, they should also be supported with vocabulary guidance and constructive feedback so that students can use language appropriately.

Fourth, reflection and self-assessment should be encouraged. Digital tools make it easier for students to review their own work, notice areas for improvement, and monitor their progress over time.

Finally, complexity should be introduced gradually. Beginning with simple tasks and increasing the level of difficulty step by step helps both teachers and students build confidence in using ICT.

4.3 Teacher Professional Development

The effectiveness of ICT integration depends less on access to technology itself than on teachers' ability to use it in pedagogically meaningful ways. In many contexts, including Albania, teachers may have access to digital tools but still lack sustained, practice-oriented training that connects technology to real classroom needs. As a result, ICT is often used at a surface level rather than as a genuinely transformative element of teaching and learning.

To address this challenge, professional development should be continuous, collaborative, and rooted in classroom practice rather than limited to isolated workshops. Initial training may introduce digital tools, but meaningful integration develops through hands-on use, lesson redesign, and reflection. For example, instead of learning how to create digital quizzes in isolation, teachers should be supported in designing formative assessments that serve clear objectives, such as vocabulary or grammar development.

Equally important is the opportunity to apply ICT in real teaching contexts. Teachers benefit from redesigning existing lessons with digital tools that enhance interaction and student engagement. This process becomes even more effective when it is supported by peer collaboration, mentoring, and classroom-based guidance, all of which help teachers build confidence and improve their practice.
Reflective practice further strengthens this process by allowing teachers to evaluate the impact of ICT on student learning and make informed adjustments over time. Gradually, the combination of practical training, collaboration, and reflection can contribute to a sustainable culture of innovation within schools.
This approach is consistent with adult learning theory, which emphasizes experiential and collaborative learning. When teachers themselves are supported as active learners, ICT integration becomes more meaningful, more effective, and more sustainable.

4.4 Digital Collaboration and Learning Platforms

Digital platforms play an important role in extending language learning beyond the physical classroom. In EFL contexts, where meaningful communication is essential, such tools create additional opportunities for students to interact, practice, and use language in flexible and authentic ways.
Unlike traditional classroom settings, where interaction is often limited by time and structure, digital platforms make ongoing learning possible. Shared documents, learning platforms, and online discussion spaces allow students to collaborate before, during, and after lessons. For example, when students work together on a shared document, writing becomes a genuinely interactive process in which they exchange ideas, provide feedback, and improve their work collectively rather than individually.
These platforms also support wider forms of communication. Through forums, blogs, or online discussions, students can express their ideas and respond to others in an environment that often feels less pressuring than speaking in front of the class. This can be especially beneficial for learners who are less confident orally. At the same time, such activities help students develop teamwork, critical thinking, and digital literacy.
In this context, the teacher's role shifts from delivering content to facilitating learning—designing tasks, guiding interaction, and supporting collaboration. Overall, digital platforms contribute to a more dynamic and student-centered learning environment in which language is actively used rather than passively received.
Importantly, these practices are most effective when they are supported at multiple levels. ICT integration should not depend only on the efforts of individual teachers, but should form part of a broader school approach that combines classroom practice, ongoing professional development, and institutional support. Such alignment helps ensure that digital learning remains consistent, meaningful, and sustainable.

5. Discussion: Pedagogical Implications of ICT Integration (Summary)

The discussion suggests that well-designed ICT integration can positively influence student engagement, teacher development, and learning outcomes in EFL settings. When digital tools are used to encourage interaction, authenticity, and active participation, students are more likely to feel motivated and engaged because learning becomes more relevant to their everyday experiences.
At the same time, teachers benefit from continuous and practice-based professional development, which helps them build confidence and use technology with greater purpose. Over time, ICT can shift from being perceived as a technical challenge to being understood as a meaningful pedagogical resource.
From a learning perspective, digital environments provide broader access to authentic materials and create more opportunities for students to use language actively through speaking, writing, and collaboration. This supports both fluency and communicative competence.
Overall, the findings reinforce the idea that the value of ICT lies not in the technology itself, but in the quality of its pedagogical integration. When aligned with clear learning goals and supported by teacher development, ICT can strengthen interaction, autonomy, and deeper learning, contributing to a more student-centered educational environment.

6. Conclusion

This paper has argued that ICT integration in EFL education requires more than the simple availability of technology. What is needed is a coherent pedagogical and institutional framework that brings together theory, classroom practice, and sustained teacher development. By drawing on models such as TPACK and SAMR, the study has shown how ICT can be embedded meaningfully in lesson design, student-centered learning, and collaborative educational practice.

The analysis indicates that when technology is guided by clear pedagogical intent, it can strengthen student engagement, increase teacher confidence, and improve the quality of learning experiences. However, such outcomes depend heavily on continuous professional development, reflective practice, and institutional support that allows teachers to experiment, adapt, and refine the way they use digital tools.

Ultimately, ICT should be understood not as an end in itself, but as a means of making teaching and learning more interactive, collaborative, and learner-centered. The study offers a structured conceptual framework that may guide implementation in Albanian EFL contexts and in similar educational settings. Future research should focus on empirical validation of these models through longitudinal classroom-based studies in order to better understand their effectiveness, sustainability, and potential for wider adoption.

REFERENCES

Albanian Institute for Education Development. (2023). State of ICT in Albanian schools: Challenges and opportunities. Tirana: AIED Publications.

Chapelle, C. A. (2001). Computer applications in second language acquisition: Foundations for teaching, testing and research. Cambridge University Press.

Dudeney, G., & Hockly, N. (2012). ICT in ELT: How did we get here and where are we going? ELT Journal, 66(4), 533–542. https://doi.org/10.1093/elt/ccs050

Hubbard, P. (2008). CALL and the future of language teacher education. CALICO Journal, 25(2), 175–188.

Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? Teachers College Record, 111(9), 1–16.

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

Puentedura, R. R. (2013). SAMR: A model for educational technology integration. Hippasus.

Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators (DigCompEdu). European Commission.

Selwyn, N. (2011). Education and technology: Key issues and debates. Continuum.

UNESCO. (2018). ICT competency framework for teachers. UNESCO Publishing.

UNESCO. (2021). ICT in education: A global perspective. UNESCO.

Warschauer, M. (2004). Technological change and the future of CALL. Modern Language Journal, 88(4), 557–561.

TEACHING ALGORITHMICS AND PROGRAMMING IN SCHOOLS THROUGH A SYSTEM OF TASKS CONSIDERING NATIONAL CHARACTERISTICS

Gulzat ANUARBEKOVA
Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

Raushan UNAIBAYEVA
Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT
In the context of the active digitalization of the education system in the Republic of Kazakhstan, the development of algorithmic thinking and programming skills among school students is becoming increasingly important. Within the framework of state programs aimed at modernizing education and implementing digital technologies, there is a growing need to identify effective pedagogical approaches. However, traditional methods of teaching computer science often fail to consider the national and cultural context of students, which reduces their motivation and interest in the subject.
This study examines an approach to teaching algorithmics and programming in Kazakhstani schools through a system of tasks that reflect national characteristics, cultural traditions, and students everyday experiences. Examples include tasks related to Kazakh national games, traditions (such as Nauryz), daily life, and elements of ethnoculture.
The aim of the study is to determine the impact of using nationally oriented tasks on students' understanding of algorithmic concepts, the development of logical thinking, and learning motivation in Kazakhstan. The research methodology includes questionnaires, classroom observation, and analysis of students' academic performance.
Keywords: algorithmic thinking, programming education, Kazakhstan, culturally relevant teaching, national context, school education, learning motivation

OPTIMIZED MODEL OF MANAGERIAL STRATEGY IN THE EDUCATION SYSTEM AND THE ROLE OF PUBLIC INVESTMENTS IN STIMULATING INNOVATION

Ionela Luminita CANUTA (BUCUROIU)
Eng. PhD Student, National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Department of Engineering and Management, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0009-0007-9733-0266

Adrian IOANA
Prof. Dr. Eng., National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Department of Engineering and Management, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0000-0002-5993-8891

Ileana-Mariána MATES
Assist. Prof. Dr. Eng., National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Department of Engineering and Management, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0000-0002-5504-5711

Augustin SEMENESCU
Prof. Dr. Eng., National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, Department of Engineering and Management, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0000-0001-6864-3297

Massimo POLLIFRONI
Prof. Dr. Ec., University of Turin, Department of Management "Valter Cantino", Turin, Italy
ORCID ID: 0000-0002-2533-490X

ABSTRACT
The main purpose of this paper is to present an optimized model of managerial strategy applicable in the educational system, as well as to the theoretical analysis of how public investments in education can support innovation processes. The study addresses, from a conceptual perspective, the relationship between managerial strategies in education and public allocations, highlighting their impact on innovative development.
In the first part, an optimized strategic model is proposed, designed as a tool for orientation and adaptation to the requirements of contemporary education. It goes on to argue that public investment, when managed effectively, has a key role to play in creating an enabling environment for innovation. The paper is part of a broader theoretical approach, aiming to outline some directions of reflection and some strategic foundations relevant to the educational field.
Keywords: *Education, Management, Strategies, Innovation*

1. Introduction

Management – represents the science of leading organizations and their scientific leadership. Figure 1 schematically represents the definition of management.

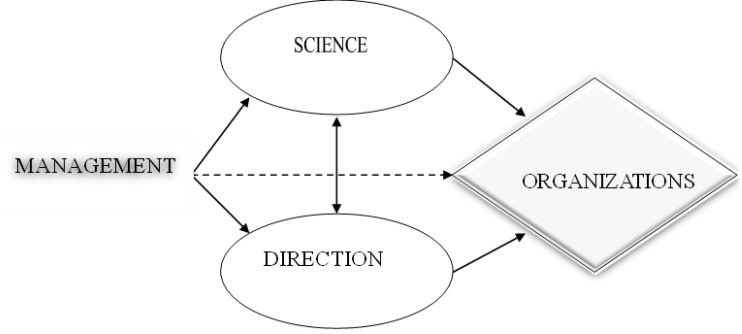


Figure 1. Schematic representation of the definition of management

Management as a science aims to achieve objectives (goals) using human, financial, material, and informational resources. Resources are considered inputs (inputs) in the process, and objectives outputs (outputs), the success of a good management being given by the ratio between outputs and inputs, which indicate the productivity of the organization.
The main objective of this paper is to describe an optimized model of managerial strategy applicable in the educational system, as well as to analyze the theoretical analysis of how public investments in education can stimulate innovation processes.
In an educational context marked by rapid changes and multiple challenges, the development and application of a management strategy becomes a necessity, not just an option. Strategic management in education provides a coherent framework for planning, organizing and evaluating activities in the education system, with the main objective of improving institutional performance and adapting to the requirements of contemporary society. A well-founded strategy ensures direction, efficiency in the use of resources and the ability to respond proactively to changes in the educational, social and economic environment.

2. Optimized strategy model applicable in the educational system

An optimized model of strategy in education involves aligning pedagogical objectives with available resources, in order to increase the efficiency of the learning process and adaptability to the requirements of today's society.
An optimized strategy model applicable in the education system integrates digital tools, relevant data and innovative practices to increase the performance and adaptability of educational institutions. Figure 2 shows the optimized strategy model applicable in the educational system

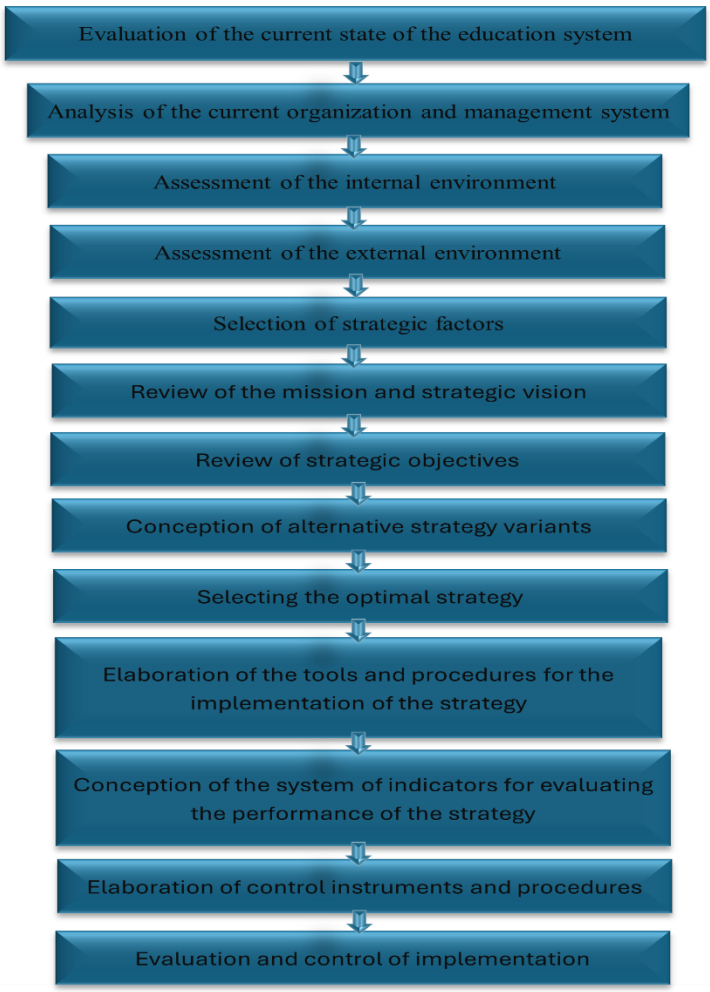


Figure 2. The optimized strategy model applicable in the educational system.

In this figure it can be seen that it starts from the evaluation and analysis of the current state of the educational system, followed by the evaluation of the internal and external environment. This is followed by the selection of strategic factors, the revision of the mission and strategic vision, but also of the strategic objectives, thus reaching the conception of alternative strategy variants. After this stage, the optimal strategy is selected, the tools and procedures for implementing the strategy are developed and conceptualized. Next comes the stage of developing the control tools and procedures and of course the evaluation and control of the implementation.
In all stages of conception, development and application of this model, specialists in the educational field must take into account:

- Design, realization and use of specific complex databases;
- Use of the main and efficient specific concept (e.g. ERP Enterprise Resource Planning).

3. Priorities of public investment in education

Public investment in education is not just a budgetary expense, but a long-term strategic approach, with a direct impact on economic and social development. One of the major priorities of public policies should be to strengthen the quality of the educational act, by modernizing the curriculum, continuously training teachers and creating a learning environment adapted to the needs of contemporary society.
At the same time, it is essential to support scientific research and partnerships between educational institutions and the economic environment, as they create the premises for the transfer of knowledge and technologies. In this sense, education is not limited to the transmission of information, but becomes an engine of innovation, forming individuals capable of identifying problems, thinking critically and proposing original solutions.
In support and argumentation of the need for public investment in the educational field, the following aspects are brought:

- Development of knowledge motivated by strategic socio-economic needs;
- Training of future specialists in the field of work;
- The need for innovation.

Analyzing the last point, the need for innovation, this can only be achieved through education. Education is the foundation for the formation of critical thinking and the development of the skills necessary to generate new solutions. A solid education system stimulates creativity and problem-solving skills, thus directly contributing to the emergence and support of innovative processes. Figure 3 shows the role of innovation and the existing correlations.

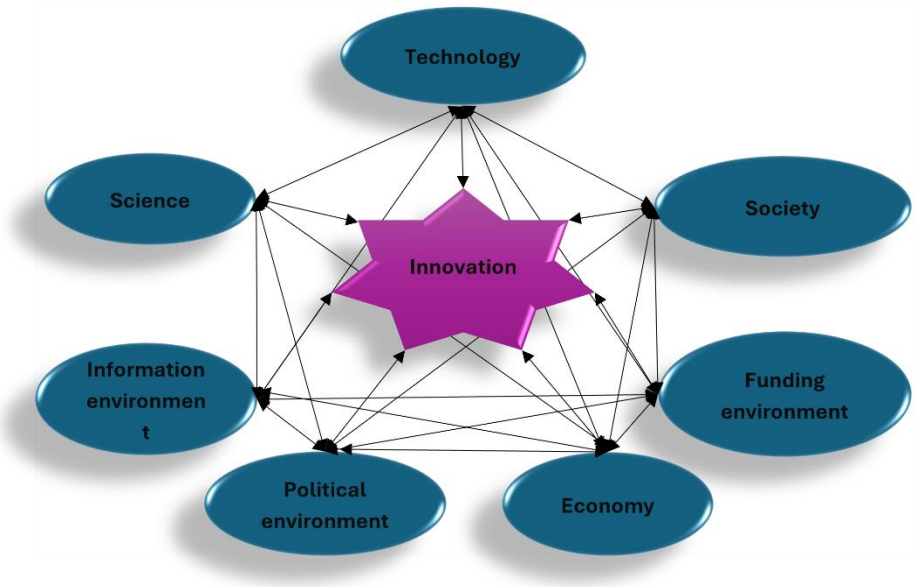


Figure 3. The role of innovation and the existing correlations

Innovation is a key driver of economic competitiveness, with a direct impact on productivity and sustainable growth. In science and technology, it facilitates the transfer of knowledge into applicable solutions, while, at the societal level, it contributes to streamlining services and adapting to new needs. A well-functioning innovative ecosystem requires a predictable policy environment, a favorable regulatory framework and funding mechanisms that stimulate research and entrepreneurship. Rapid access to information also plays an essential role in the dissemination and scaling of innovative ideas.

4. Conclusions

The implementation of an optimized model of strategy in education involves the integration of digital technologies, the efficient use of educational data and the application of student-centered pedagogical practices and results. This approach allows not only to streamline the instructional-educational process, but also to create a relevant and motivating learning environment.

Strategic management in education is not reduced to basic administrative functions, but involves rigorous planning, oriented towards clear, evaluable and sustainable objectives. It has the role of guiding institutional development, in conditions of efficiency, equity and quality.

Linking education policies to innovative trends, supported by an adequate funding framework and a stable policy environment, is key to achieving genuine education reform.

From a strategic perspective, education must be approached as a long-term investment, capable of generating valuable human capital, supporting research and contributing to sustainable economic and social development.

Innovation is a fundamental pillar in the process of modernization of the educational system, contributing significantly to increasing the quality of teaching and adapting educational content to the requirements of a constantly changing society.

REFERENCES

Anghelache, V., & Cucoş, C. (2012). *Managementul schimbării educaţionale: Principii, politici, strategii*. Institutul European.

Costoiu, M., Ioana, A., Semenescu, A., & Marcu, D. (2016). Marketing Management Elements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *161*, 012105. https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012105

Ioana, A., Semenescu, A., & Marcu, Dragoş. (2011). *Bazele managementului: Teorie şi aplicaţii*. Matrix Rom.

Ioana, A., Semenescu, A., & Marcu, Dragoş. (2011). *Bazele managementului: Teorie şi aplicaţii*. Matrix Rom.

Ioana, A., Semenescu, A., & Preda, C. F. (2012). *Management strategic: Teorie şi aplicaţii*. Matrix Rom.

Mates, I.M., Canuta (Bucuroiu), I.L., (2025). *Managementul riscurilor in sistemele universitar si de sanatate*. Editura BREN.

Pătraşcu, I. (2009). *Management: Strategia şi managementul strategic al organizaţiei : curs universitar*. Sitech.

Tufeanu, D., Semenescu, A., & Ioana, A. (2019). Management Criteria and Principles, Applicable in Education and Scientific Research. *Advanced Engineering Forum*, *34*, 277–282. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.34.277

MATHEMATICAL HIGHER-ORDER THINKING ABILITY AND REASONING SKILLS OF FIRST-YEAR COLLEGE STUDENTS

Erica Via V. GASCON
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

Alexa Raine T. PLACIBE
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

Redem Paul M. YAP
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

Georgie F. TABARANZA
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

Vanessa Angelica D. ACOSTA
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

Aldwin T. MIRANDA
Institute of Teacher Education (ITEd), Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST), Malita, Davao Occidental, Philippines

ABSTRACT

This study examined the relationship between mathematical higher-order thinking skills (HOTS) and reasoning skills among first-year college students at the Southern Philippines Agri-Business and Marine and Aquatic School of Technology (SPAMAST) Main Campus during the first semester of Academic Year 2025–2026. A quantitative descriptive-correlational research design was used to determine the level of students' mathematical higher-order thinking ability, assess their reasoning skills based on entrance examination stanine scores, and examine whether mathematical HOTS significantly relates to and predicts reasoning skills. A total of 164 freshmen students from six academic institutes participated in the study through stratified random sampling. The sample size was determined using power analysis. Mean, standard deviation, Pearson correlation, and regression analysis were used to analyze the data. Results showed that students reported a high level of mathematical higher-order thinking ability. Correlation analysis revealed a significant positive relationship between mathematical HOTS and reasoning skills. Regression analysis further indicated that mathematical HOTS significantly predicted reasoning skills, explaining 10.5% of the variance ($R^2 = 0.105$). The findings suggest that students with stronger higher-order thinking skills tend to perform better in reasoning tasks. Although the predictive effect is modest, mathematical HOTS remains a meaningful factor associated with reasoning performance. The study highlights the importance of strengthening higher-order thinking skills through appropriate instructional strategies to support students' reasoning ability and academic readiness in higher education.

Keywords: College Entrance Examination, Mathematical Higher-Order Thinking, Reasoning Skills, Stanine Score

CONTEMPORARY EDUCATION AND SOCIAL DEVELOPMENT

Leyli SHAMMAYEVA
Oguz han Engineering and Technology University, Social Sciences department,Ashgabat, Turkmenistan

ABSTRACT
Contemporary education is the guarantee of future development, as it directly influences the intellectual, social, economic, and cultural progress of society. In the twenty-first century, rapid scientific discoveries, technological innovation, and globalization have transformed the way people live and work. As a result, education has become a key instrument for preparing individuals to meet modern challenges and actively participate in the development of their countries.
Modern education is not limited to the transfer of knowledge; it also focuses on developing critical thinking, creativity, communication skills, and the ability to solve complex problems. These competencies enable learners to adapt to changing conditions and to make responsible decisions in both professional and personal life. Moreover, contemporary education encourages lifelong learning, which is essential in a world where knowledge and professional requirements are constantly evolving.
Keywords: education, policy, intellectual development, creative work of youth, development, society.

AI-DRIVEN FRAUD DETECTION AND PREDICTIVE ANOMALY ANALYTICS

MUHAMMAD FAISAL
Assistant Professor (AI), Allama Iqbal Open University, Pakistan, System Development Specialist (CCT/NSER), CRISP World Bank Project BISP, Pakistan
ORCID ID: 0000-0002-5797-766X

ALQUMA NOOR
Financial Analyst MELA, Benazir Income Support Program (BISP), Sindh, Pakistan

ABSTRACT
Large-scale welfare systems are vulnerable to fraud, duplication, and manipulation. This paper presents an AI-driven anomaly detection framework that leverages advanced machine learning models to identify irregular patterns within beneficiary records and payment cycles. Using supervised and unsupervised learning techniques, including neural networks and clustering algorithms, the model detects outlier's indicative of possible fraud or data inconsistencies. The research uses synthetic and administrative datasets to train models capable of highlighting anomalous transactions in near-real time. A dashboard suite provides risk scores and visual analytics to administrators for actionable insights. The system architecture integrates with BISP's MIS through secure APIs, enabling continuous learning and automated alerts. Future efforts should incorporate explainable AI (XAI) to improve transparency in model decision-making and facilitate due process. Integration with biometric authentication systems and mobile reporting channels will further strengthen detection accuracy.
Keywords: Fraud Analytics, Predictive Modeling, Machine Learning, Explainable AI, Public Sector MIS

SMART BLIND ASSISTANT GLASSES

Thumma RUSHIKESH
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

M. SURESH
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

Dr. TAWSEEF AHMAD
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

Syeda Hafsa NAAZ
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

ABSTRACT
The Smart Blind Assistant Glasses project is developed with the primary purpose of assisting visually impaired individuals in navigating their surroundings safely and independently. Many visually challenged people face difficulties in identifying obstacles, reading signboards, and understanding their environment in real time. This project aims to reduce their dependency on others by providing an intelligent, wearable solution that enhances situational awareness. The system works by integrating a camera with a processing unit that continuously captures real-time visual data from the user's surroundings. Using advanced computer vision techniques and deep learning models such as YOLO (You Only Look Once), the system detects objects like people, vehicles, obstacles, and staircases, while also estimating the distance between the user and detected objects. Additionally, Optical Character Recognition (OCR) is used to extract text from signboards and labels, which is then converted into audio feedback through a text-to-speech system.
The key features of this system include real-time object detection, accurate distance estimation, and text reading capability. The system is designed to provide intelligent voice alerts only when necessary, avoiding repetitive notifications for the same object. It is portable, lightweight, and can be easily integrated into wearable glasses, making it highly convenient for everyday use.
The outcome of this project is a cost-effective and user-friendly assistive device that significantly improves mobility, safety, and confidence for visually impaired individuals. By acting as a "digital vision system," the Smart Blind Assistant Glasses empower users to navigate independently, recognize their surroundings, and perform daily activities more efficiently, thereby enhancing their overall quality of life.
Keywords: Computer Vision , Object Detection , Audio Feedback , Assistive Technology , Deep Learning , Real Time Navigation.

A WEARABLE WIRELESS SOUND PATTERN DETECTION AND ALERT SYSTEM FOR HEARING-IMPAIRED INDIVIDUALS

M. YAMUNA
Department of Mathematics, SAS, VIT, Vellore, India

Shivani R
Student (MTech Software Engineering, SCORE), VIT, Vellore, India

ABSTRACT
To improve the safety and quality of life of hearing-impaired individuals, assistive technologies have become essential in modern smart environments. Hearing-impaired users often face challenges in detecting important environmental sounds such as door knocks, alarm signals, and appliance alerts, especially within indoor home settings. Traditional solutions such as hearing aids or fixed alert systems are limited in mobility, affordability, and efficiency in distinguishing between different sound events. This article presents a wearable wireless sound pattern detection and alert system designed to provide real-time non-auditory notifications. The system uses a sound sensor to continuously monitor environmental sounds and a microcontroller to analyse sound characteristics such as intensity, duration, and repetition patterns. Based on this analysis, specific sound patterns like repeated knocks or continuous alarms are identified. A wireless RF transmitter–receiver architecture is used to communicate detected events from a stationary unit to a wearable smart band. The receiver unit delivers alerts through vibration and LED indication, ensuring immediate awareness without relying on auditory perception. The system is designed to be low-cost, energy-efficient, portable, and easy to deploy. Experimental validation confirms reliable signal transmission, fast response time, and effective alert generation in indoor environments. This approach enhances independence, accessibility, and personal safety for hearing-impaired individuals through an efficient and practical assistive solution.
Keywords: Wearable system, sound detection, wireless communication, hearing-impaired, vibration alert, RF module

CONVERSATIONAL IMAGE RECOGNITION CHATBOT

A.V.S. ANUSHA
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

M. SURESH
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

TAWSEEF AHMED
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

R. KANIMOZHI
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

ABSTRACT
The **Conversational Image Recognition Chatbot** is an intelligent system that combines computer vision and natural language processing (NLP) to provide users with an interactive way to understand images. Users can upload an image, and the AI analyzes it to recognize objects, describe the scene, and answer questions related to the image in a conversational manner. This approach makes image interpretation accessible and engaging for users of all backgrounds.
The system uses pre-trained AI models for both image recognition and conversational responses, allowing for high accuracy without the need for hardware devices or extensive training data. By integrating vision and language processing, the chatbot can provide detailed explanations, suggestions, and insights about the uploaded images in real-time, enhancing the overall user experience.
It demonstrates the practical integration of AI technologies in a mini project format, highlighting user-friendly interaction, real-time feedback, and intelligent image analysis, making it an ideal choice for showcasing innovative AI solutions.
Keywords: Conversational Chatbot, Computer Vision, Natural Language Processing, Artificial Intelligence, Image Recognition, Real-time Analysis, Pre-trained Models, Intelligent Image Understanding.

ETHICAL IMPLICATIONS OF AI ADOPTION IN QUANTITY SURVEYING PRACTICE: A CASE STUDY FROM NIGERIA

Rukayya Ibrahim TUKUR
Department of Quantity Surveying, College of Environmental Studies, Hassan Usman Katsina Polytechnic

ABSTRACT
The adoption of Artificial Intelligence (AI) in the construction industry (CI) is redefining Quantity Surveying (QS) practice, particularly in cost estimation, project control, and procurement processes. The integration of AI into the construction industry is transforming traditional professional practices including QS. While AI enhances efficiency, speed, and predictive accuracy, it introduces complex ethical concerns relating to accountability, transparency, data privacy, algorithmic bias, and professional responsibility.This study examines the ethical implications of AI adoption in QS practice with a focus on the Nigerian construction industry. Using a mixed-methods approach anchored on literature review and survey design, the paper identifies key ethical risks and evaluates their implications for professional practice. A Nigerian case study highlights the current level of AI awareness, adoption challenges, and ethical concerns among practicing quantity surveyors. The study proposes an ethical governance framework emphasizing human oversight, regulatory compliance, data security, and professional capacity development. The findings reveal that although awareness of AI is increasing, concerns regarding data security, algorithmic bias and lack of regulatory frameworks persist. The study proposes a human centered ethical framework for AI adoption in QS emphasizing transparency, accountability and continuous professional development. The paper contributes to ongoing discourse on digital transformation in construction by contextualizing AI ethics within QS practice in a developing economy.
Keywords: Artificial Intelligence, Ethics, Construction Industry, Digital Transformation, Nigeria, Quantity Surveying

BIOBASED ADDICTIVE EFFECTS IN CONCRETE USING SUGARCANE FIBER

N.A. LAWAL
Department of Civil Engineering, Federal Polytechnic Ilaro, Ogun State, Nigeria
ORCID ID: 0009-0001-4785-6258

M.O. FARINDE
Department of Civil Engineering, Federal Polytechnic Ilaro, Ogun State, Nigeria

ABSTRACT
This study examined the effects of sugarcane fiber as a bio-based additive in concrete, with emphasis on its influence on fresh and hardened properties. The fibers were sourced from Papalanto, Ogun State, drained of sugar content, sun-dried, and incorporated into mixes at 1%, 2%, 3%, and 4% by weight of cement, alongside a control mix (0%). Standard laboratory tests were carried out to evaluate slump, density, water absorption, and compressive strength. The slump test showed a reduction in workability with increasing fiber content, decreasing from 70 mm for the control to 46 mm at 4% fiber addition, reflecting reduced flow due to fiber interlocking. Density results also indicated a decline in unit weight, from 2440 kg/m³ (control) to 2350 kg/m³ (4% fiber), confirming the lightweight nature of sugarcane fiber. Water absorption increased consistently with fiber content, rising from 1.75% in the control to 4.28% at 4%, suggesting increased porosity and higher permeability. Compressive strength results revealed a significant reduction compared to the control mix, which achieved 26.542 N/mm² at 28 days. The fiber-mixes performed poorly, with the highest recorded strength of 6.110 N/mm² at 2% fiber and the lowest of 0.168 N/mm² at 4%. These results indicate that untreated, sun-dried sugarcane fiber negatively impacts concrete's structural capacity, though it may still contribute to crack resistance and toughness in non-structural applications.The findings highlight the unsuitability of untreated sugarcane fiber for structural concrete but provide a foundation for exploring treatment methods and optimized usage in sustainable building materials.
Keywords: Sugarcane fiber, slump, density, water absorption, compressive strength, sustainable concrete.

TÜRKİYE'DE YAPI MALZEMESİ OLARAK KULLANILAN BAZI ÇİMENTO ÖRNEKLERİNİN OKSİT VE AĞIR METAL İÇERİKLERİNİN BELİRLENMESİ

DETERMINATION OF OXIDE AND HEAVY METAL CONTENTS OF SOME CEMENT SAMPLES USED AS BUILDING MATERIALS IN TÜRKİYE

Onur METİN
Asst. Prof. Dr., Kastamonu University, Taşköprü Vocational School, Department of Electrıcıty and Energy
ORCID NO: 000-0001-6711-6452

Şeref TURHAN
Prof. Dr., Kastamonu University, Science Faculty, Department of Physics
ORCID NO: 0000-0001-5303-3680

ÖZET
Bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de çimento, evler, otoyollar, köprüler, setler, ofisler ve üst geçitler gibi altyapıların inşasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum da dünya çapında çimento üretiminde büyük bir artışa yol açmaktadır. Bununla beraber, çimento üretimi, atmosfere zehirli toz ve gazlar yayan en kirletici faaliyetlerden biri olarak kabul edilmektedir. Dahası, silisyum dioksit, kalsiyum oksit, demir oksit ve alüminyum oksit gibi çimentonun ana bileşenleri toksik etkilere neden olabilir. Çimento üretim süreçleri ayrıca ağır metaller ve partikül madde gibi kirleticiler de yaymaktadır. Bu kirleticiler arasında, ağır metaller kalıcılıkları ve biyolojik olarak parçalanmamaları nedeniyle çevresel zehirlilikte en sık adı geçen ve en çok araştırılanlar arasındadır. Çimento endüstrisinin ürettiği başlıca görünür kirlilik ise tozlara karşılık gelir. Tozlar, ham maddenin çıkarılması, kırma ve üretim gibi çimento üretim sürecinin her aşamasında atmosfere salınır ve meteorolojik şartlar göre çevreye yayılarak tarımsal alanların üzerine örtebilir. Bu çalışmada Türkiye'nin Adana ilinde yer alan çimento fabrikasının ürettiği altı farklı çimento ürünün (CEM I, CEM II, CEM VI, sülfata dayanıklı, beyaz Portland ve sülfata dayanıklı beyaz) majör-minör oksit ve bazı ağır metal içerikleri, bir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi ile belirlendi. Çimento örneklerinde analiz edilen majör oksitlerin derişimleri, %58,06-%74,56 (CaO), %16,72- %23,68 (SiO_2), %3,49- %6,13(Al_2O_3), %2,22- %5,44 (SO_3), %0,58- %4,12 (MgO) ve %0,19- 3,43 (Fe_2O_3) aralığında değişti. Çimento ürünlerinde analiz edilen ağır metallerin ortalama değerleri, 11451 mg/kg (Fe), 1455 mg/kg (Ti), 1379 mg/kg (Mn), 157 mg/kg (V), 140 mg/kg (Cr), 78 mg/kg (Ni), 36 mg/kg (Zr), 58 mg/kg (Zn), 46 mg/kg (Cu), 18 mg/kg (Pb) ve 7 mg/kg (As) olarak bulundu.
Anahtar kelimeler: Çimento, Ağır metal, Majör oksit, Minör oksit, Çimento fabrikası.

ABSTRACT
As in the rest of the world, cement is widely used in Türkiye for the construction of infrastructure such as houses, highways, bridges, embankments, offices, and overpasses. This has led to a significant increase in cement production worldwide. However, cement production is considered one of the most polluting activities, releasing toxic dust and gases into the atmosphere. Furthermore, the main components of cement, such as silicon dioxide, calcium oxide, iron oxide, and aluminium oxide, can cause toxic effects. Cement production processes also release pollutants such as heavy metals and particulate matter. Among these pollutants, heavy metals are the most frequently mentioned and researched in environmental toxicity due to their persistence and non-biodegradability. The main visible pollution produced by the cement industry is dust. Dust is released into the atmosphere at every stage of the cement production process, such as raw material extraction, crushing, and manufacturing, and depending on meteorological conditions, it can spread into the environment and cover agricultural areas. In this study, the major-minor oxide and some heavy metal contents of six different cement products (CEM I, CEM II, CEM VI, sulphate-resistant, white Portland, and sulphate-resistant white) produced by a cement factory located in Adana, Türkiye, were determined using an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. The concentrations of the major oxides analysed in the cement samples ranged from 58.06% to 74.56% (CaO), 16.72% to 23.68% (SiO_2), 3.49% to 6.13% (Al_2O_3), 2.22% to 5.44% (SO_3), 0.58% to 4.12% (MgO), and 0.19% to 3.43% (Fe_2O_3).

The average values of heavy metals analysed in cement products were found to be 11451 mg/kg (Fe), 1455 mg/kg (Ti), 1379 mg/kg (Mn), 157 mg/kg (V), 140 mg/kg (Cr), 78 mg/kg (Ni), 36 mg/kg (Zr), 58 mg/kg (Zn), 46 mg/kg (Cu), 18 mg/kg (Pb), and 7 mg/kg (As).
Keywords: Cement, Heavy metal, Major oxide, Minor oxide, Cement factory.

INTRODUCTION

One of the main reasons why humans pollute the environment is the constant pursuit of greater development and a more comfortable life. Human activities (rapid population growth, urbanization, modern agricultural practices, commercial, economic, and industrial activities) and natural processes have led to environmental degradation. As a result of these activities, high amounts of toxic substances in solid, gaseous, and liquid forms are released into waters, soil, and ultimately the biosphere. This toxic pollution produces negative effects on ecology and people in many parts of the world, causing serious environmental problems and concerns (Fikad and Mekassa, 2022).

Concrete is the second most used material after water in terms of consumption (approximately 30 billion tons per year) (Bărbulescu and Hosen, 2025). Its widespread use is largely due to its high compressive strength, durability, and superior mechanical properties compared to other construction materials. It is also preferred in architecture for its versatility (allowing for the creation of unique, modern, and minimalist designs with clean lines and innovative forms) and its potential for environmental compatibility (Bărbulescu and Hosen, 2025). These qualities make it an aesthetically appealing material in contemporary and sustainable design projects. Concrete production relies on over 4 billion tons of cement produced annually (Bărbulescu and Hosen, 2025). Concrete consists of cement, fine and coarse aggregates, and water. Cement is the primary binder in concrete and provides the strength that allows structures to withstand loads. Ordinary Portland cement has become one of the most widely used construction materials for concrete due to its availability and ease of application. It is a vital element in strengthening structurally reinforced concrete elements because it binds and strengthens materials, increasing their durability and load-bearing capacity. Cement substitutes (slag, ground granulated blast furnace slag, fly ash, limestone powder, calcined clay, ceramic tile waste, etc.) have been frequently used in recent years to improve the properties of concrete and reduce environmental impact (Bărbulescu and Hosen, 2025). Demand for cement exploded in the 1960s due to the need for durable building materials. While the concrete industry uses approximately 50% of the cement produced, the remaining half is used for plaster, mortar, and blocks. Between 1995 and 2024, total cement production increased from 1.39 billion metric tons to over 4 billion tons, reaching peaks of 4.4 billion tons in 2021 and 2023 (Bărbulescu and Hosen, 2025).

Cement production involves processing raw limestone and other raw materials (shale, clay, marl, kaolin, etc.) in a kiln at high temperatures to obtain clinker, which is then mixed with gypsum and ground (Bărbulescu and Hosen, 2025). The cement industry plays a vital role in the economic development of many countries, including Turkey. Cement consumption has generally progressed in parallel with national economies over time (Ismail et al., 2023). The rapid growth of industries aimed at meeting the demand for housing and necessities is driven by the exponential increase in the global population. The production of cement, the main building material, has accelerated (Ismail et al., 2023). The cement industry is now a critical focus in infrastructure development efforts in many developing countries. Approximately 1 ton of cement is produced annually for every person on Earth (Ismail et al., 2023).

The cement industry, a cornerstone of global infrastructure development, also contributes significantly to environmental pollution. With increasing construction demands, mining is also increasing in many countries, and chemical emissions from the crushing of limestone for cement production have become a concern (Ismail et al., 2023). Dust travels long distances due to the size of the fine particles, and thus, the amount of matter in the total length of the atmosphere increases. This decrease in dust temperature can cause ecosystem degradation as the finer emissions containing various toxic elements are removed from the emission source and have physical and chemical effects on the environment (Ismail et al., 2023). Critical sources of pollution include dust emissions; greenhouse gases, particularly carbon dioxide; and the release of toxic substances such as heavy metals (HMs) and particulate matter. Many studies have confirmed the presence of heavy metal pollution in soils near cement plants (Adekola et al., 2012; El-Sherbiny et al., 2019; Egbe et al., 2019; Awos et al., 2024).

These pollutants contribute to air, water, and soil pollution and are linked to serious health problems in nearby populations, including respiratory illnesses, cardiovascular diseases, and increased mortality rates. Noise pollution is also a significant problem; it causes hearing impairments affecting many workers at cement factories and disturbs the behavior of populations and fauna living in neighborhoods (Fikad and Mekassa, 2022; Bărbulescu and Hosen, 2025).

This study aims to investigate the impact of cement production on environmental pollution in terms of HMs. In this study, the major and minor oxides and some HM contents of six different cement products (CEM I, CEM II, CEM VI, sulfate-resistant SS, white Portland (WP), and sulfate-resistant White (SSW)) produced by a cement factory located in Adana, Turkey, were determined using an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. In this study, the concentrations of major and minor oxide (SiO_2, Al_2O_3, SO_3, Fe_2O_3), etc.) and some HMs (titanium (Ti), vanadium (V), chromium (Cr), manganese (Mn), iron (Fe), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As), zirconium (Zr), and lead (Pb)) in six different cement products (CEM I, CEM II, CEM VI, sulfate-resistant, white Portland, and sulfate-resistant white) produced by a cement factory located in Adana, Turkey, were determined using an energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometer.

MATERIAL AND METHOD

Cement samples were obtained from the cement factory located in Adana, Türkiye, as shown in Figure 1. Founded in 1954, CPF is located approximately 15 km east of Adana and south of the E-5 (Adana-Osmaniye) highway (Figure 1). Its coordinates are 36° 57' 51.8466" north latitude and 35° 27' 0.5904" east longitude. The cement factory produces 2.5 million tons of cement annually using millions of tons of raw materials (Yunsel, 2012). Approximately 25% of the cement produced is exported to European and Middle Eastern countries (Yunsel, 2012). In July 2024, six different types of cement samples obtained from the factory were brought to the sample preparation laboratory in polyethylene bags. The cement samples were dried in an oven at 105°C to remove any moisture.

Analysis of HMs in cement samples was performed using an EDXRF spectrometer (Spectro Xepos). Although EDXRF spectrometry is widely accepted due to its speed, simultaneous multi-element analysis capability, and ease of sample preparation, it has some limitations compared to other analytical spectrometers (ICP-OES, ICP-MS, etc.), such as higher detection limits and matrix effects (Sagoe et al., 2025). However, in this study, PTEs (Cr, Ni, As, Pb, etc.) were present above the detection limits. Detailed information regarding the characteristics of this EDXRF spectrometer, analysis procedures, and detection limit calculation is given in previously published studies (Altıkulaç and Turhan, 2024; Turhan, 2025). The specifications of the spectrometer used in this study are presented in Table 1. Additionally, certified reference material (NIST SRM 2709 soil) was used for quality assessment of the measurement system. Each sample was placed in an automated sampling device, and the analysis was completed by counting for 20 minutes.



Figure 1. Map of the cement factory in Adana province

Table 1. The specifications of the EDXRF spectrometer

Excitation	– X-ray tube with thick binary Pd/Co alloy anode with air-cooling – Maximum power of 50 W – Maximum of 60 kV – Adaptive excitation system with optimized filters – Bandpass filter for improved performance for elements in the range K-Mn
Detection	– Silicon drift detector with Peltier cooling. It has delivered high resolution with low spectral. – Large detector area (30 mm^2, active area 20 mm^2) – Spectral resolution (FWHM) ≤ 155 eV – Input count rate up to 1,000,000 counts/s – Detector filter changer for active pile-up reduction – Application range extended to multilayer analysis, up to 8 layers and up to 55 elements – No required calibration of certified reference samples. The user simply supplies relevant initial samples to build the database; the software examines the measured spectra and creates a fingerprint for each sample. Going forward, every newly introduced sample can be swiftly fingerprinted and compared to the rest of the database. – Easy validation. Instead of validating each calibration for each element in each matrix, users simply check all samples of the database against each other and see the outcome. – Every element from Na to U can be detected.

RESULTS AND DISCUSSION

The concentrations of the major (content greater than 1%) and minor (content between 0.1% and 1%) oxides analyzed in cement samples are given in Table 2. Furthermore, the distribution of oxide contents analyzed in cement samples is shown in Figure 2. As can be seen from Table 2 and Figure 2, the major and minor oxides analyzed in all cement samples were ranked in decreasing order as follows:

CEM I: CaO (67.46%)> SiO_2 (17.23%) > SO_3 (4.59%) > Al_2O_3 (4.21%) > Fe_2O_3 (3.43%) > MgO (2.71%) > K_2O (0.76%) > TiO_2 (0.30%) > P_2O_5 (0.17%)> MnO (0.14%) > Na_2O (0.11%);

CEM II: CaO > (65,64%) SiO_2 > (19,38%) > Al_2O_3 (4,91%) > SO_3 (4,62%) Fe_2O_3 > (3,16%) > MgO (3,06%) > K_2O (0,75%) > TiO2 (0,39%) > MnO (0,26%) > P_2O_5 (0,16%) > Na_2O (0,13%;);

CEM VI: CaO (58,06%) > SiO_2 (22,78%) > Al_2O_3 (6,13%) > MgO (4,12%) > Fe_2O_3 (2,51%) > SO_3 (2,22%) > K_2O (0,79%) > TiO_2 (0,68%) > MnO (0,64%) > Na_2O (0,35%) > P_2O_5 (0,12%);

SS (Sulfate-resistant cement): CaO (74,30%) > SiO_2 (17,71%) > SO_3 (4,78) > Al_2O_3 (3,65%) > MgO (0,58%) > Na_2O (0,58%) > Fe_2O_3 (0,27%) > P_2O_5 (0,14%) > K_2O (0,12);

WP (White Portland cement): CaO (74,56%) > SiO_2 (16,72%) > SO_3 (4,44%) > Al_2O_3 (3,49%) > MgO (0,84%) > Na_2O (0,56%) > Fe_2O_3 (0,27%) > P_2O_5 (0,14%) > K_2O (0,12%) and

Table 2. Major and minor oxides analyzed in all cement samples

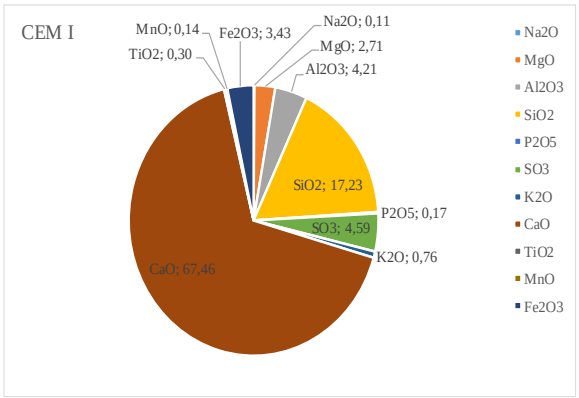
Oxides	Concentration (%)					
	CEM 1	CEM II	CEM VI	SS	WP	SSW
Na_2O	0.11	0.13	0.35	0.58	0.56	0.99
MgO	2.71	3.06	4.12	0.58	0.84	0.85
Al_2O_3	4.21	4.91	6.13	3.65	3.49	4.99
SiO_2	17.23	19.38	22.78	17.71	16.72	23.68
P_2O_5	0.17	0.16	0.12	0.14	0.14	0.17
SO_3	4.59	4.62	2.22	4.78	4.44	5.44
K_2O	0.76	0.75	0.79	0.12	0.12	0.10
CaO	67.46	65.64	58.06	74.30	74.56	66.47
TiO_2	0.30	0.39	0.68	-	-	-
MnO	0.14	0.26	0.64	-	-	-
Fe_2O_3	3.43	3.16	2.51	0.27	0.27	0.19

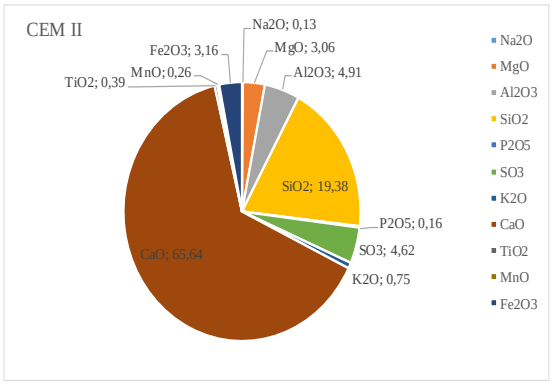
SS: sulfate-resistant, WP: white Portland, SSW: sulfate-resistant white

SSW (Sulfate-resistant white cement): CaO (66,47%) > SiO_2 (23,68%) > SO_3 (5,44%) > Al_2O_3 (4,99%) > Na_2O (0,99%) > MgO (0,85%) > Fe_2O_3 (0,19%) > P_2O_5 (0,17%) > K_2O (0,10%).

The concentrations of SO_3 and CaO analyzed in all cement samples are greater than the average for the Earth's crust of 0.05 mg/kg and 9.41 mg/kg, respectively.

The concentrations of SO_3 and CaO, and Fe_2O_3 analyzed in CEM I, CEM II, and CEN VI cement samples are greater than the average of the Earth's crust of 0.05 mg/kg, 9.41 mg/kg, and 1.11 mg/kg, respectively (Yaroshevsky, 2006). The concentrations of MnO in CEM I and CEM VI are above the average of the Earth's crust of 0.16 mg/kg, and the concentrations of Fe_2O_3 in CEM I, CEM II, and CEM VI are greater than the average of the Earth's crust of 1.11 mg/kg (Yaroshevsky, 2006).





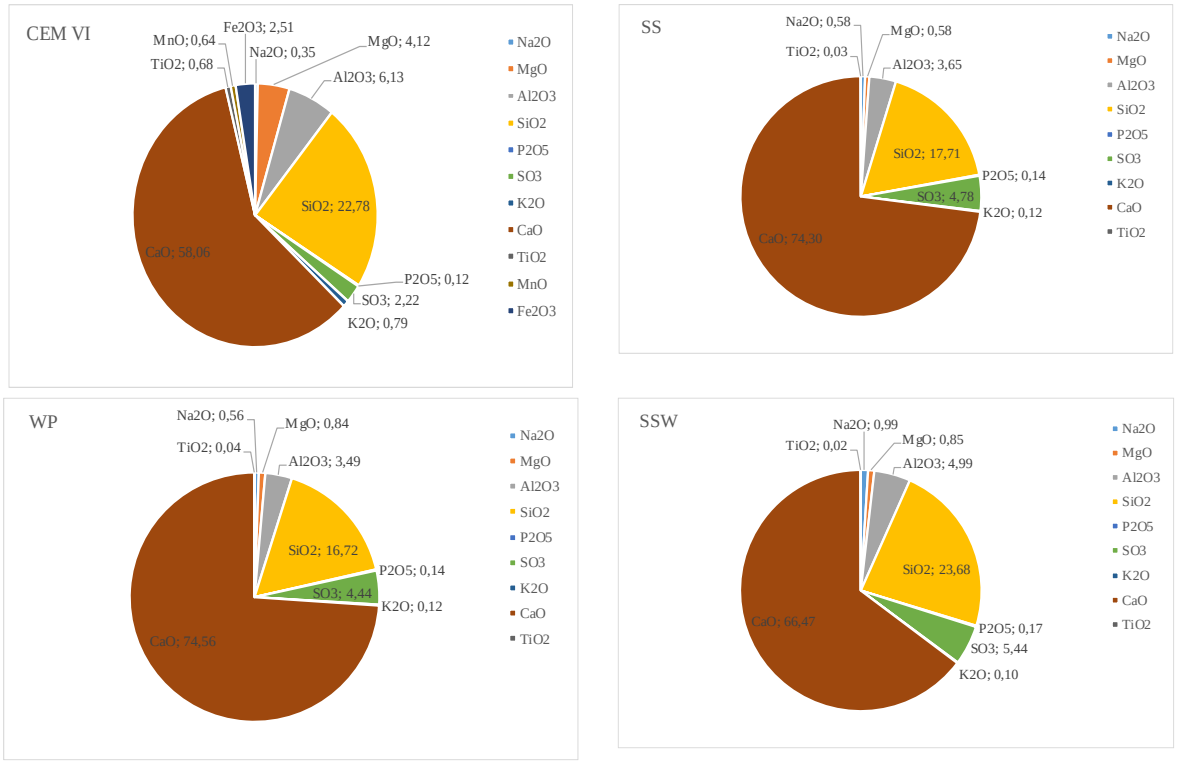


Figure 2. Distribution of oxide contents analyzed in cement samples

The concentrations of the HMs analyzed in cement samples are given in Table 3. It can be seen from Table 3 that the HMs analyzed in all cement samples were ranked in decreasing order as follows:
CEM I: Fe (23970 mg/kg) > Ti (1773 mg/kg) > Mn (1111 mg/kg) >Cr (279 mg/kg) > V (158 mg/kg) >Ni (133 mg/kg) > Zn (126 mg/kg) > Zr (79 mg/kg) > Cu (55 mg/kg) >Pb (24 mg/kg) > As (8 mg/kg)
CEM II: Fe (22120 mg/kg) > Ti (2334 mg/kg) > Mn (2019 mg/kg) > Cr (254 mg/kg) > V (137 mg/kg) > Zn (119 mg/kg) > Ni (116 mg/kg) > Zr (88 mg/kg) > Cu (53 mg/kg) > Pb (23) > As (6 mg/kg)
CEM VI: Fe (17530 mg/kg) > Mn (4928 mg/kg) > Ti (4063 mg/kg) > V (180 mg/kg) Cr (161 mg/kg) > Zr (126 mg/kg) > Ni (82 mg/kg) > Zn (67 mg/kg) > Cu (31 mg/kg) > Pb (20 mg/kg)
SS (Sulfate-resistant cement): Fe (1883 mg/kg) >V (239 mg/kg) > Ti (177 mg/kg) > Mn (65 mg/kg) >Ni (57 mg/kg) > Zr (46 mg/kg) > Pb (16 mg/kg) > Zn (11 mg/kg) > As (7 mg/kg) > Cr (3 mg/kg)
WP (White Portland cement): Fe (1894 mg/kg) > Ti (244 mg/kg) > V (129 mg/kg) > Mn (113 mg/kg) > Ni (51 mg/kg) > Zr (41 mg/kg) > Zn (12 mg/kg) > Pb (12 mg/kg) > As (8)
SSW (Sulfate-resistant white cement): Fe (1307 mg/kg) > Ti (138 mg/kg) > V (101 mg/kg) > Mn (36 mg/kg) > Ni (32 mg/kg) > Zr (28 mg/kg) > Pb (10 mg/kg) > Zn (9 mg/kg) > As (5 mg/kg) > Cr (2 mg/kg)

Table 3. HMs analyzed concentrations in cement samples

Heavy metal	Concentration (mg/kg)					
	Cement type					
	CEM I	CEM II	CEM VI	SS	WP	SSW
Ti	1773 ± 18	2334 ± 20	4063 ± 25	177 ± 8	244 ± 9	138 ± 6
V	158 ± 8	137 ± 9	180 ± 10	239 ± 6	129 ± 5	101 ± 4
Cr	279 ± 5	254 ± 4	161 ± 4	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Mn	1111 ± 8	2019 ± 10	4928 ± 15	65 ± 2	113 ± 3	36 ± 2
Fe	23970 ± 50	22120 ± 50	17530 ± 40	1883 ± 13	1894 ± 14	1307 ± 10
Ni	133 ± 4	116 ± 3	82 ± 3	57 ± 3	51 ± 3	32 ± 2

Cu	55 ± 2	53 ± 2	31 ± 2	< 0.5	< 0.5	< 0.5
Zn	126 ± 2	119 ± 2	67 ± 2	11 ± 1	12 ± 1	9 ± 1
As	8 ± 1	6 ± 1	< 0.5	7 ± 1	8 ± 1	5 ± 1
Zr	79 ± 5	88 ± 5	126 ± 5	46 ± 3	41 ± 3	28 ± 2
Pb	24 ± 1	23 ± 1	20 ± 1	16 ± 1	12 ± 1	10 ± 1

The Ti, Fe, and Zr contents of the cement samples were below the average of the Earth's crust (4500 mg/kg for Ti, 46500 mg/kg for Fe, and 170 mg/kg for Zr) (Yaroshevsky, 2006). The Cr, Mn, Ni, and Pb contents of the CEM I, CEM II, and CEM VI cement samples were higher than the average levels of the Earth's crust (83 mg/kg for Cr, 1000 mg/kg for Mn, 58 mg/kg for Ni, and 16 mg/kg for Pb) (Yaroshevsky, 2006). The V and As contents (excluding CEM VI) of the cement samples are greater than the average of the earth's crust (90 mg/kg for V and 1.7 mg/kg for As) (Yaroshevsky, 2006).

CONCLUSION

This study was conducted to highlight the urgent need for stricter environmental policies and the adoption of greener technologies to reduce the negative impacts of cement production on both the environment and human health. It was shown that cements contain significant amounts of certain heavy metals, and therefore, heavy metals can be released into the environment from cement factories. Heavy metals released from cement factories negatively affect the environment and human health through the food chain. Plants grown in soil contaminated with heavy metals exhibit DNA damage such as chromosomal fragmentation, mutations, and biochemical changes.

REFERENCES

Adekola, F. A., Inyinbo, A. A., Abdul–Raheem, A. M. O. 2012. Heavy Metals Distribution and Speciation in Soils Around a Mega Cement Factory in North–Central Nigeria. Ethiop. Journal of Environmental Studies and Management, 5: 11–19.

Altıkulaç, A., Turhan, Ş., 2024. Evaluation of some potentially toxic elements and associated ecological and health risks in topsoil samples adjacent to an industrial zone in Turkey. ACS Omega, 9(42): 42668–42678.

Awos, A., Thompson, S., Adedeji, O., Zvomuya, F., Zhang, Q. 2024. Monitoring of Air Quality for Particulate Matter (PM2.5, PM10) and Heavy Metals Proximate to a Cement Factory in Ewekoro, Nigeria. Journal of Geoscience and Environment Protection, 12:152–180.

Bărbulescu, A., Hosen, K. 2025. Cement Industry Pollution and Its Impact on The Environment and Population Health: A Review. Toxics, 13(587): 1–24.

Egbe, E. R., Nsonwu-Anyanwu, A.C., Offor, S. J., Opara Usoro, C. A., Etukudo, M. H. 2019. Heavy Metal Content of The Soil in The Vicinity of United Cement Factory in Southern Nigeria. Journal of Advances in Environmental Health Research, 7: 122–130.

El-Sherbiny, M. M., Ismail, A. I., El-Hefnawy, M. E. 2019. A Preliminary Assessment of Potential Ecological Risk and Soil Contamination by Heavy Metals Around a Cement Factory, Western Saudi Arabia. Open Chemistry, 17: 671–684.

Fikadu, T., Mekassa, B. 2022. Determination of Heavy Metals in Cement Dust, Top Soil and Teff Around Habesha and Mugher Cement Factory, Oromia Regional State, Ethiopia. Bulletin of the Chemical Society of Ethiopia, 36(3): 487–501

Ismail, Z., Ali, S., Zulfiqar, A., El-Serehy, H. A. 2023. Impact of Cement Industries on Potentially Toxic Elements' Contamination and Other Characteristics of Topsoil: A case study, Environmental Pollutants and Bioavailability, 35(1): 1–20.

Kaplan, G., Öztürk, A. U., Uğur Kaplan A. B. 2020. A Study on The Effects of Heavy Metal Available in Cement and Fly Ash on Hydration and Environmental Health. Journal of Engineering Sciences and Design 8(1): 305–313 (In Turkish).

Turhan, Ş., 2025. Health risk assessment caused by external and internal exposure to radiation dose from naturally occurring radioactive materials in outdoor dust. Environmental Geochemistry and Health, 47(297): 1–13.

Yaroshevsky, A. A. 2006. Abundances of Chemical Elements in the Earth's Crust. Geochemistry International, 44(1), 48–55.

Yunsel, T.Y. 2012. A Practical Application of Geostatistical Methods to Quality and Mineral Reserve Modelling of Cement Raw Materials. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 112(3): 239–249.

ÇİMENTO ÜRETİM TESİSİ ÇEVRESİNDE BULUNAN TOPRAKLARDAKİ BAZI NADİR TOPRAK ELEMENTLERİNİN ÖN ZENGİNLEŞME DEĞERLENDİRMESİ

PRELIMINARY ENRICHMENT ASSESSMENT OF SOME RARE EARTH ELEMENTS IN SOILS SURROUNDING A CEMENT PRODUCTION PLANT

Şeref TURHAN
Prof. Dr., Kastamonu University, Science Faculty, Department of Physics
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680

Onur METİN
Asst. Prof. Dr., Kastamonu University, Taşköprü Vocational School, Department of Electrıcıty and Energy
ORCID ID: 000-0001-6711-6452

ÖZET

Nadir toprak elementleri (NT'ler), skandiyum (Sc), itriyum (Y) ve 15 lantanit (atom numaraları 57–71 arasında olan lantandan lütesyuma kadar) olmak üzere17 elementten oluşmaktadır. Bu elementler doğada yaygın olarak dağılmıştır ve genellikle karasal ve deniz ortamlarında yaygındır. NT'ler 200'den fazla mineralde bulunur, ancak nadiren konsantre formlarda bulunurlar. Bu durum da NT'leri elde etmeyi ekonomik olarak zorlaştırır. Toprağın NTE ile kirlenmesi yani NTE toksisitesi, bitkilerde hücre zarındaki kalsiyum kanallarının bloke edilmesi, lipid peroksidasyonu, reaktif oksijen türlerinin birikimi ve DNA hasarı gibi biyokimyasal ve fizyolojik bozulmaya yol açabilir. Bu çalışma, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesinde yer alan Adana ilinde bulunan çimento üretim tesisi etrafındaki tarımsal alanlardan toplanan toprak örneklerindeki bazı nadir toprak elementlerin seviyelerini belirlemeyi ve ekolojik riskini değerlendirmeyi amaçlamıştır. Toprak örneklerindeki Y, lantan (La), seryum (Ce) ve neodimyum (Nd) gibi NTE'lerin derişimleri, bir enerji dağılımlı X-ışını floresans spektrometresi ile analiz edildi. NTE'lerden kaynaklanan ekolojik risk değerlendirmesi, yer birikim indisi (I_{geo}), zenginleşme faktörü (EF) ve kontaminasyon faktörü (CF) hesaplanarak yapıldı. NTE'lerin ortalama içeriği 24,9 mg/kg (Y), 33,2 mg/kg (La), 74,8 mg/kg (Ce) ve 71,7 mg/kg (Nd) olarak bulundu. Y ve La'nın derişimleri, yer kabuğu ortalamalarına (21 mg/kg (Y) and 31 mg/kg (La)) yakın iken Ce ve Nd derişimlerinin, yer kabuğu ortalamalarından (63 mg/kg (Ce) and 27 mg/kg (Nd)) daha büyük bulundu. Ekolojik parametre değerleri toprak örneklerinin sadece Nd ile orta seviye zenginleştiğini gösterdi
Anahtar Kelimeler: Nadir toprak elementi, Toprak, Çimento fabrikası, Ekolojik risk değerlendirmesi.

ABSTRACT

Rare earth elements (REEs) consist of 17 elements, including scandium (Sc), yttrium (Y), and 15 lanthanides (lanthanum to lutetium, atomic numbers 57–71). These elements are widely distributed and are generally common in nature in terrestrial and marine environments. REEs are found in over 200 minerals, but are rarely found in concentrated forms. This makes obtaining REEs economically difficult. Soil contamination with reactive oxygen species (REEs), or REE toxicity, can lead to biochemical and physiological degradation in plants, including blockage of calcium channels in the cell membrane, lipid peroxidation, accumulation of reactive oxygen species, and DNA damage. This study aimed to determine the levels of some REEs in soil samples collected from agricultural areas around a cement production plant in Adana province in the Mediterranean Region of Türkiye, and to assess their ecological risk. The concentrations of Y, lanthanum (La), cerium (Ce), and neodymium (Nd) in the soil samples were analysed using an energy dispersive X-ray fluorescence spectrometer. The ecological risk assessment resulting from REEs was performed by calculating the geo-accumulation index (I_{geo}), enrichment factor (EF), and contamination factor (CF). The average content of REEs was found to be 24.9 mg/kg (Y), 33.2 mg/kg (La), 74.8 mg/kg (Ce), and 71.7 mg/kg (Nd). Y and La concentrations were close to the averages of the Earth's crust (21 mg/kg (Y) and 31 mg/kg (La)), while Ce and Nd concentrations were higher than the averages of the Earth's crust (63 mg/kg (Ce) and 27 mg/kg (Nd)). Ecological parameter values showed that soil samples were moderately enriched only with Nd.
Keywords: Rare earth element, Soil, Cement factory, Ecological risk assessment.

INTRODUCTION

The rare earth element (REE) group consists of 17 elements: scandium, yttrium, and 15 lanthanides (lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodymium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd), terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), and lutetium (Lu)) (Rucki et al., 2021). Typically, REEs tend to be found in the same ore deposits because they have similar chemical and physical properties (Ferreira et al., 2021). Furthermore, REEs are found in over 200 minerals, including phosphates, carbonates, silicates, and fluorides (Ferreira et al., 2021). Although REEs are found in significant amounts in the Earth's crust [1], their distribution patterns, low concentration deposits, difficulty of extraction, and similar chemical properties make their commercial extraction economically difficult. Therefore, their extraction and purification are challenging (Domingo, 2026; Balaram, 2019). China, which is the main supplier of REEs for the world market (Rucki et al., 2021). Turkey possesses the second-largest raw material (REE) field after China, with reserves of 694 million tons located in Eskişehir/Beylikova. Following the commissioning of a pilot plant with an annual capacity of 10,000 tons, Türkiye aims to reach an annual purification capacity of 570,000 tons, becoming a "dominant player" in this field in the surrounding region, particularly in Europe. Currently, there is no active activity related to the enrichment of REEs in Türkiye. REEs are being used in an increasing number of applications and have become indispensable for many critical technologies in modern commercial, industrial and military fields. REEs play an integral role in the development of various disciplines related to coordination chemistry, organometallic compounds, luminescent compounds, catalysis, solid-state chemistry, analytical and environmental chemistry, biology and medicine (Rucki et al., 2021). Today, the unique magnetic, catalytic, optical and electronic properties of REEs have made them indispensable in numerous high-tech applications (Domingo, 2026), including permanent magnets used in wind turbines and electric vehicles, catalysts for oil refining and automotive emission control, phosphors for displays and LED lighting, electronic devices ranging from smartphones to advanced defence systems, renewable energy technologies including solar panels and battery systems, and gadolinium-based contrast agents used particularly in magnetic resonance imaging procedures (Domingo, 2026). However, the concentration of REE mining and processing activities in certain geographic regions can lead to local environmental pollution and cause population exposure to REEs in multiple ways, including air emissions, water pollution and soil deposition (Domingo, 2026). The increasing demand for REEs has led to their widespread dispersal into the environment through mining activities and industrial discharges from manufacturing facilities processing materials containing rare earth elements, electronic waste disposal and recycling (Domingo, 2026).

Human exposure to REEs occurs through multiple pathways, each presenting different toxicological challenges (Domingo, 2026). Inhalation is the primary route of occupational exposure in mining, processing, and manufacturing industries. Airborne REE particles can settle in the respiratory tract and remain there for extended periods due to their biopersistence (Domingo, 2026). For the general population not occupationally exposed, ingestion through contaminated food and water sources constitutes the main route of exposure (Domingo, 2026). Agricultural products grown in REE-contaminated soils accumulate these elements, while drinking water contamination near mining sites or through improper waste disposal practices is also a source of human exposure. In contrast, skin contact primarily occurs in occupational settings involving REE mining, processing, and manufacturing, where prolonged contact with REE-containing materials can lead to local skin effects and systemic absorption, although often with limited skin penetration (Domingo, 2026).

According to our literature review, no detailed study focusing on the distribution, fractionation, potential sources, and health risk assessment of REEs in various soils in Türkiye has been conducted. A comprehensive investigation into the geochemical behaviour, potential sources, ecological risk assessment, and radiological hazards of both REEs and co-occurring radionuclides (U and Th) is still lacking. Therefore, the aim of this study is (i) to assess the impact of a cement factory on REEs in the surrounding agricultural soil. To this end, for the first time in this study, (i) the distribution of some REEs in soil samples collected from agricultural areas near a cement factory in Adana province, Türkiye, was analyzed using an energy dispersive X-ray fluorescence (EDXRF) spectrometer, and (ii) ecological risk assessment was performed by calculating some parameters such as geo-accumulation index (I_{geo}), enrichment factor (EF), and contamination factor (CF).

MATERIAL AND METHOD

A total of 63 soil samples (approximately 1 kg) were randomly collected from agricultural fields located at four different distances (1, 2, 3, and 4 km) from the vicinity of the cement plant in Adana province of Türkiye. The geographic coordinates of each sampling site were recorded using a GPS device, and these coordinates are shown on the map in Figure 1. Soil samples were brought to the sample preparation laboratory. The samples were dried in an oven at 105°C for eight hours and then passed through a 2 mm sieve. For calibrated powder geometry in an EDXRF spectrometer small amount (5 g) of each sample was taken, ground into a powder using a mortar and pestle, and homogenised (Altıkulaç and Turhan, 2024).

The analysis of REEs in the soil samples was performed by using an EDXRF spectrometer (Spectro Xepos). Detailed information related to the specifications of this EDXRF spectrometer, analysis procedures, and detection limit calculation was provided in previously published studies (Altıkulaç and Turhan, 2024; Turhan, 2025; Turhan et al., 2026). Each sample was placed in the automated sampling device and counted once every 20 minutes.

In this study, ecological parameters I_{geo}, EF, and CF were calculated using the following equations to evaluate the ecological risks of REEs in soil samples, more specifically, the effect of dust emitted from a cement factory on REE levels in agricultural areas (Turhan et al., 2020):

$$I_{geo} = \log_2\left(\frac{C_n}{1.5 \times B_n}\right) \quad (1)$$

$$EF = \frac{\left(C_n / C_{Ref}\right)_{Sample}}{\left(C_n / C_{Ref}\right)_{Background}} \quad (2)$$

$$CF = \frac{\left(C_n\right)_{Sample}}{\left(C_n\right)_{Background}} \quad (3)$$

where n is the number of REE, Cn is the REE concentration of the soil sample, Bn is the background value of the Earth's crust, and the constant 1.5 represents natural fluctuations because of possible differences in the reference values and very small anthropogenic influences (Turhan et al., 2020). C_{Ref} is the concentration of a reference element. A review of the literature reveals that elements such as Al, Ca, Sc, Sr, Fe, Mn, Zr, and Ti are used as reference elements (Altıkulaç and Turhan, 2024). In this study, Ti was chosen as the reference element in the upper crust composition because Ti is a common rock-forming element and very resistant to weathering in the soil (Poh and Tahir, 2017). Also, the average values of the upper crust composition were used as background values (Yaroshevsky, 2006; Rudnick and Gao, 2014). Based on the values of these indicators, the classification of study areas according to their ecological risk level is given in Table 1.

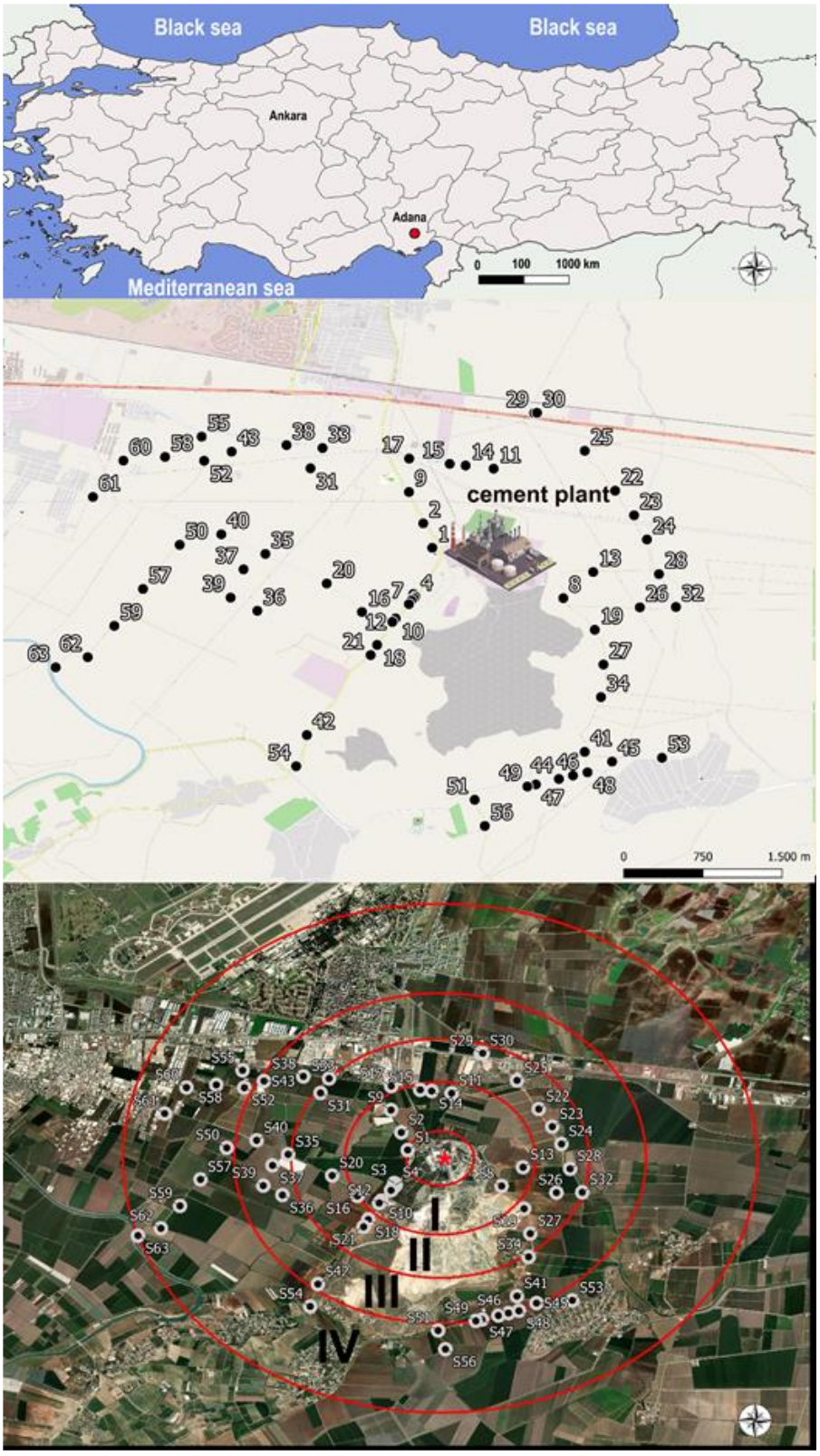


Figure 1. Map of locations of soil samples

Table 1. Ecological parameters and contamination (enrichment) levels

Ecological parameter	Value	Pollution (or contamination) level
Geo-accumulation index (I_{geo})	$I_{geo} \leq 0$	Practically unpolluted
	$0 < I_{geo} < 1$	Uncontaminated to moderately polluted
	$1 \leq I_{geo} < 2$	Moderately polluted
	$2 \leq I_{geo} < 3$	Moderately to heavily polluted
	$3 \leq I_{geo} < 4$	Heavily polluted
	$4 \leq I_{geo} < 5$	Heavily to extremely polluted
	$I_{geo} \geq 5$	Extremely polluted
Enrichment factor (EF)	$EF < 2$	Deficiency to minimal enrichment
	$2 \leq EF < 5$	Moderate enrichment
	$5 \leq EF < 20$	Significant enrichment
	$20 \leq EF < 40$	Very high enrichment
	$EF \geq 40$	Extremely enrichment
Contamination factor (CF)	$CF < 1$	Low pollution
	$1 \leq CF < 3$	Moderate pollution
	$3 \leq CF < 6$	Considerable pollution
	$CF \geq 6$	Very high pollution

RESULTS AND DISCUSSION

The concentrations with some descriptive statistical data (average, median, standard deviation, etc.) of REEs analysed in the agricultural soil samples are given in Table 2. The values of the parameters or indices calculated to assess the ecological risks arising from REEs are given in Tables 3, 4, and 5.

From Table 2, the concentrations of Y analysed in the soil samples varied from 14.9 to 32.7 with an average value of 24.0, which is higher than the average of the upper crust composition of 21 mg/kg (Rudnick and Gao, 2014). From Table 3, the values of I_{geo} estimated for Y varied from -1.08 to 0.05 with an average of -0.42. According to the I_{geo} values, except for the soil sample coded S18, the soil samples examined were practically unpolluted with Y. From Table 4, the values of EF estimated for Y varied from 1.16 to 1.40 with an average of 1.20. According to the average EF value, the soil samples examined were deficient to minimal enrichment with Y. From Table 5, the values of CF estimated for Y varied from 0.71 to 1.56, with an average of 1.14. According to the average CF value, the soil samples examined were moderately contaminated with Y.

From Table 2, the concentrations of La analysed in the soil samples varied from < 2.0 to 103.3 with an average value of 33.2, which is slightly higher than the average of the upper crust composition of 31 mg/kg (Rudnick and Gao, 2014). From Table 3, the values of I_{geo} estimated for La varied from -3.95 to 1.15 with an average of -0.78. According to the average I_{geo} value, the soil samples examined were practically unpolluted with La. From Table 4, the values of EF estimated for La varied from 0.55 to 3.70 with an average of 1.10. According to the average EF value, the soil samples examined were deficient to minimal enrichment with La. From Table 5, the values of CF estimated for La varied from 0.10 to 3.32 with an average of 1.07. According to the CF values, the soil samples examined were moderately contaminated with La.

Table 2. Concentrations with some descriptive statistics of REEs in soil samples

Sample code	Concentration (mg/kg)				Sample code	Concentration (mg/kg)			
	Y	La	Ce	Nd		Y	La	Ce	Nd
S1	28.2	28.5	< 2.0	66.6	S32	22.2	< 2.0	< 2.0	57.7
S2	32.0	< 2.0	65.0	94.1	S33	20.0	3.0	36.0	50.3
S3	23.8	< 2.0	54.0	62.9	S34	23.7	35.2	< 2.0	70.8
S4	31.5	29.4	128.0	92.6	S35	21.4	17.0	133.0	57.5
S5	24.4	< 2.0	11.8	68.4	S36	23.5	< 2.0	37.0	44.7
S6	16.6	19.1	28.0	103.4	S37	24.6	12.5	182.0	72.7
S7	22.3	20.2	31.0	66.5	S38	20.8	14.5	23.1	53.0
S8	17.0	< 2.0	168.0	71.5	S39	20.8	< 2.0	149.0	62.8
S9	18.9	< 2.0	70.0	69.4	S40	28.7	37.1	67.0	102.1
S10	14.9	< 2.0	57.0	64.4	S41	28.8	37.9	< 2.0	77.6
S11	24.5	< 2.0	52.0	98.4	S42	26.8	47.0	< 2.0	72.2
S12	28.6	23.4	113.0	97.6	S43	30.9	< 2.0	60.0	110.3
S13	32.0	< 2.0	38.0	94.2	S44	31.6	< 2.0	< 2.0	94.1
S14	30.2	< 2.0	< 2.0	80.1	S45	21.8	< 2.0	130.0	93.3
S15	26.6	< 2.0	78.0	88.3	S46	21.5	< 2.0	< 2.0	62.2
S16	31.4	40.7	143.0	78.5	S47	25.3	< 2.0	55.0	55.8
S17	29.5	27.1	50.0	95.3	S48	17.7	< 2.0	21.3	59.8
S18	32.7	< 2.0	< 2.0	88.1	S49	18.2	55.0	94.0	43.2
S19	26.6	< 2.0	< 2.0	79.4	S50	26.4	23.8	60.0	94.0
S20	25.1	32.8	78.0	66.2	S51	24.3	< 2.0	< 2.0	43.2
S21	22.0	< 2.0	60.0	79.0	S52	21.2	85.0	< 2.0	52.8
S22	20.9	37.9	< 2.0	49.3	S53	19.9	< 2.0	< 2.0	62.2
S23	17.1	< 2.0	66.0	69.3	S54	23.7	< 2.0	< 2.0	55.0
S24	25.2	18.5	< 2.0	69.0	S55	21.3	33.5	< 2.0	62.3
S25	24.8	45.0	63.0	69.7	S56	21.0	11.1	54.0	59.5
S26	22.9	< 2.0	< 2.0	63.0	S57	25.3	< 2.0	44.0	76.2
S27	22.7	< 2.0	< 2.0	63.7	S58	22.6	< 2.0	< 2.0	55.9
S28	22.2	21.4	45.0	58.9	S59	24.2	< 2.0	70.0	71.9
S29	18.4	37.0	< 2.0	57.9	S60	25.3	63.0	203.0	73.1
S30	15.8	21.8	54.0	93.0	S61	24.3	103.0	< 2.0	47.0
S31	21.0	7.0	45.0	70.0	S62	19.6	< 2.0	< 2.0	60.0
					S63	31.9	41.0	< 2.0	95.8
Average	24.0	33.2	74.8	71.7					
SE	2.7	5.9	2.1	2.1					
Median	29.4	60.0	69.3	69.3					
SD	21.4	46.7	16.8	16.8					
Kurtosis	3.3	0.7	-0.7	-0.7					
Skewness	1.6	1.2	0.4	0.4					
Min	14.9	< 2.0	< 2.0	43.2					
Max	32.7	103.0	203.0	110.3					

SE: Standard error, SD: Standard deviation

Table 3. Geo-accumulation index values calculated for rare earth elements

Rare earth element	Geo-accumulation index			Contamination category
	Minimum	Maximum	Average	
Y	-1.08	0.05	-0.42	Practically unpolluted

La	-3.95	1.15	-0.78	Practically unpolluted
Ce	-3.00	1.10	-0.60	Practically unpolluted
Nd	0.09	1.45	0.79	Uncontaminated to moderately polluted

Table 4. Enrichment factor values calculated for rare earth elements

Rare earth element	Enrichment factor			Enrichment level
	Minimum	Maximum	Average	
Y	1.16	1.40	1.20	Deficiency to minimal enrichment
La	0.55	3.70	1.10	Deficiency to minimal enrichment
Ce	0.76	3.30	1.20	Deficiency to minimal enrichment
Nd	2.74	5.90	2.70	Moderate enrichment

Table 5. Contamination factor values calculated for rare earth elements

Rare earth element	Contamination factor			Contamination category
	Minimum	Maximum	Average	
Y	0.71	1.56	1.14	Moderate contamination
La	0.10	3.32	1.07	Moderate contamination
Ce	0.19	3.22	1.19	Moderate contamination
Nd	1.60	4.09	2.66	Moderate contamination

From Table 2, the concentrations of Ce analysed in the soil samples varied from < 2.0 to 203.0 with an average value of 74.8, which is higher than the average of the upper crust composition of 63 mg/kg (Rudnick and Gao, 2014). From Table 3, the values of I_{geo} estimated for Ce varied from -3.00 to 1.10 with an average of -0.60. According to the average I_{geo} value, the soil samples examined were practically unpolluted with Ce. From Table 4, the values of EF estimated for Ce varied from 0.76 to 3.30 with an average of 1.20. According to the average EF value, the soil samples examined were deficient to minimal enrichment with Ce. From Table 5, the values of CF estimated for Ce varied from 0.19 to 3.32 with an average of 1.19. According to the CF values, the soil samples examined were moderately contaminated with Ce.

From Table 2, the concentrations of Nd analysed in the soil samples varied from 43.2 to 110.3 with an average value of 71.7, which is approximately three times higher than the average of the upper crust composition of 27 mg/kg (Rudnick and Gao, 2014). From Table 3, the values of I_{geo} estimated for Nd varied from 0.09 to 1.45 with an average of 0.79. According to the average I_{geo} value, the soil samples examined were uncontaminated to moderately polluted with Nd. From Table 4, the values of EF estimated for Nd varied from 2.74 to 5.90 with an average of 2.70. According to the average EF value, the soil samples examined were deficient to minimal enrichment with Nd. From Table 5, the values of CF estimated for Nd varied from 1.60 to 4.09 with an average of 2.66. According to the CF values, the soil samples examined were moderately contaminated with Nd.

CONCLUSION

This study provides fundamental information about the rare earth element content and ecological risks of waste soil samples collected from around a cement factory located in Adana, Türkiye, which has been in operation for approximately 70 years. Based on the data obtained, most of the soils showed a moderate enrichment primarily in the element neodymium.

REFERENCES

Adekola, F. A., Inyinbo, A. A., Abdul–Raheem, A. M. O. 2012. Heavy Metals Distribution and Speciation in Soils Around a Mega Cement Factory in North–Central Nigeria. Ethiop. Journal of Environmental Studies and Management, 5: 11–19.

Altıkulaç, A., Turhan, Ş., 2024. Evaluation of some potentially toxic elements and associated ecological and health risks in topsoil samples adjacent to an industrial zone in Turkey. ACS Omega, 9(42): 42668–42678.

Balaram, V. 2019. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. Geoscience Frontiers 10(4): 1285–1303.

Domingo J. L. 2026. Chelation Therapy for Rare Earth Element Toxicity: Current Evidence, Challenges and Future Directions. Basic & clinical pharmacology & toxicology, 138(1): 1-18.

Ferreira, M.S., Fontes, M.P.F., Bellato, C.B., Neto, J.O.M., Lima, H.N., Fendorf, S., 2021. Geochemical signatures and natural background values of rare earth elements in soils of Brazilian Amazon. Environmental Pollution, 277, 116743.

Nuchdang, S., Kingkam, W., Phalakornkule, C., Suwanmanee, U., Rattanaphra, D., Laowattanabandit, P. 2026. Preliminary contamination assessment of rare earth elements (REEs) and radioactivity in soil from Phuket Island, Thailand. Journal of Environmental Sciences, https://doi.org/10.1016/j.jes.2026.01.006.

Poh, S.C., Tahir, N.M., 2017. The common pitfall of using enrichment factor in assessing soil heavy metal pollution. Malaysian Journal of Analytical Sciences. 21: 52–59.

Rucki, M., Kejlova, K., Vlkova, A., Jirova, D., Dvorakova, M., Svobodova,L., Kandarova, H., Letasiova, S.,Kolarova, H., Mannerstrom, M., Heinonen, T. 2021. Evaluation of toxicity profiles of rare earth element salts (lanthanides). Journal of Rare Earths, 39(2): 225-232.

Rudnick, R.L., Gao, S., 2014. Composition of the continental crust. The crust (ed. R.L.Rudnick), Treatise on geochemistry (eds. H.D. Holland and K.K. Turekian), 2nd4. Elsevier-Pergamon, Oxford.

Turhan, Ş., Garad, A.M.K., Hançerlioğulları, A., Kurnaz, A., Gören, E., Duran, C., Karataşlı, M., Altıkulaç, A., Savacı, G., Aydın, A., 2020. Ecological assessment of heavy metals in soil around a coal–fired thermal power plant in Turkey. Environmental Earth Sciences, 79(134): 1–15.

Turhan, Ş., 2025. Health risk assessment caused by external and internal exposure to radiation dose from naturally occurring radioactive materials in outdoor dust. Environmental Geochemistry and Health, 47(297): 1–13.

Turhan, Ş., Türkdoğan, S., Altuner, E.M., Kurnaz, A., Hançerlioğulları, A., 2026. Heavy metals in perlite quarries and exposure of worker. Environmental Earth Sciences, 85(58): 1–13.

Yaroshevsky, A.A. 2006. Abundances of Chemical Elements in the Earth's Crust. Geochemistry International, 44(1), 48–55.

THE EFFECT OF DI(ISONONYL) CYCLOHEXANE-1,2-DICARBOXYLATE EXPOSURE ON THE EPIGENETIC MECHANISM IN ZEBRAFISH

Yeliz GOYUK
M.Sc., Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0002-3335-2515

Mustafa YAVUZ
PhD.,Denizli Food Control Laboratory Directorate, Division of Mycotoxin Denizli, Türkiye
ORCID ID: 0009-0000-8515-0021

Beste TURANLI
Assoc. Prof. Dr., Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1330-9712

Ceyhun BEREKETOGLU
Assoc. Prof. Dr., Marmara University, Faculty of Engineering, Department of Bioengineering, Istanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0001-9400-7892

ABSTRACT
Plasticizers are chemical additives used to increase the flexibility and durability of plastics, and phthalates have historically been one of the most widely used. However, increasing studies on the endocrine-disrupting and toxicological effects of phthalates have led to restrictions on these substances and a growing demand for safer alternatives. One such alternative is Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH). However, despite its widespread use, the effects of DINCH on the endocrine system and epigenetic mechanisms at the molecular level are largely unknown. In this study, five-month-old zebrafish were exposed to DINCH at concentrations of 0.01 and 0.1 µM for 28 days. Following exposure, adult individuals were bred to obtain the F1 generation, and liver tissues were collected from the parent (F0) fish via dissection. The F1 individuals were raised in a plasticizer-free environment until they were five months old, and then dissection was performed to obtain liver tissues for RNA and DNA isolation. Finally, genomic DNA samples from both the F0 and F1 generations were evaluated for global DNA methylation analysis. p50 (NF-κB), was analyzed to evaluate the possible functional consequences of changes in DNA methylation. The results obtained showed that 0.1 µM DINCH exposure significantly suppressed p50 gene expression in F0 adult fish, while the same concentration up-regulated gene expression in F1 fish. Consistent with this data, global DNA analysis results also revealed changes in CpG-independent methylation levels. These findings suggest that DINCH exposure can alter immune-related gene expression patterns and affect epigenetic mechanisms by transmitting these changes to subsequent generations.
Keywords: DINCH, Zebrafish, p50 , Gene expression, Global DNA methylation .

INTRODUCTION
Plasticizers are widely used in industrial production, particularly to enhance the flexibility, processability, and impact resistance of plastic products containing PVC (Daniels, 2009). According to the gel, lubricity, free volume, and kinetic theories developed to explain the plasticization mechanism, plasticizers are reported to bind to polymer chains not through strong chemical bonds such as covalent bonds, but through weak physical bonds such as van der Waals and dipole–dipole interactions (John Wiley & Sons, 2002). Because they do not contain covalent bonds and are loosely bound to the polymer matrix, it has been reported that these compounds due to their non-covalent integration, these compounds exhibit a high potential for environmental migration across varying conditions (John Wiley & Sons, 2002).

It has been demonstrated that these compounds cause indirect or direct exposure by migrating from various products—such as plastic utensils, construction materials, toys, and medical serum bags used in the healthcare sector—into household dust, food, water, or to humans and other living organisms through medical applications (Bajagain et al., 2023; Qadeer et al., 2024). Consequently, the toxicological effects of plasticizers have become a significant area of research. Studies have revealed that certain phthalates, a type of plasticizer, possess endocrine-disrupting effects. In particular, it has been shown that di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) can disrupt thyroid and sex steroid signaling pathways in the endocrine system, leading to adverse effects on developmental processes and the reproductive system (Jung et al., 2024; Mathieu-Denoncourt et al., 2015a, 2015b). Accordingly, the use of many types of phthalates has been subject to various regulations and restrictions in countries such as the European Union, Canada, and the United States, resulting in an increased search for phthalate-free alternative plasticizers (Britt E. Erickson, 2017; Palandri et al., 2026; Renwick et al., 2024).

It has been noted that new-generation alternative plasticizers have lower volatility compared to phthalates and were developed with the aim of reduced toxicity. However, comprehensive toxicological evaluations for a significant portion of these compounds are not yet sufficient, and their effects on epigenetic mechanisms, in particular, have not been fully elucidated. One such new-generation alternative is di-isononyl cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH). Reported to induce inflammation and cellular stress in THP-1 macrophage cells in both in vivo and in vitro studies, this plasticizer—considered a safe alternative—has also been shown to cause changes in hatching time, morphological structure, lipid metabolism, and locomotor behavior in zebrafish larvae (Saad et al., 2021; Schaffert et al., 2021).

It has been demonstrated that the effects of such plasticizers are not limited to the F0 generation but can be transmitted to subsequent generations (Hao et al., 2022). In this context, zebrafish were chosen as a model organism due to their genomic similarity to the human genome, ease of maintenance under laboratory conditions, and rapid reproductive capacity (Clevenger et al., 2024). In the study, global DNA methylation analysis was performed to evaluate the transgenerational effects of DINCH exposure at different concentrations. Additionally, The study specifically focuses on the mRNA expression levels of the NF-κB p50 subunit to determine how DINCH exposure correlates with epigenetic modifications across different generations.

METHODS

Zebrafish Maintenance and Adult Exposure

Adult zebrafish (F0; 6–8 months old) were maintained under a 14-hour light/10-hour dark photoperiod at a temperature of 25 ± 1 °C. The fish were fed commercial feed in the morning and live Artemia salina in the evening every day. As part of the experimental setup, chemicals were added to three aquariums containing 5 liters of tap water, resulting in final concentrations of 0.01 µM, 0.1 µM DINCH, and 0.01% DMSO (control group). A total of 60 zebrafish were randomly distributed among the aquariums, with 12 individuals (7 males, 5 females) in each. Exposure was maintained for 28 days, and the aquarium water was changed every other day to keep the chemical concentration constant. At the end of the exposure period, the fish were transferred to breeding tanks, and the resulting F1 generation was reared in a plasticizer-free environment for 5 months.

Tissue Isolation

Following the completion of chemical exposure in the F0 generation (day 28) and after the rearing of the F1 generation, 3 female and 3 male fish from each group were anesthetized using the rapid cooling method on ice. Liver and kidney tissues were surgically removed and the collected tissues were rapidly frozen by immersion in liquid nitrogen. The frozen tissues were stored at -80 °C until further analysis.

Molecular Analyses

RNA isolation and cDNA synthesis

Zebrafish exposed to DINCH and tissue samples from the F1 generation were homogenized using an MP FastPrep®-24 homogenizer at a speed of 6 m/s for 40 seconds. Total RNA was then extracted according to the RNeasy® Mini Kit (QIAGEN, Valencia, CA) protocol. The concentration and purity of the isolated RNA samples were determined using an IMPLEN P330 nanophotometer.

After determining the appropriate RNA amounts and dilution factors for target cDNA synthesis, single-stranded cDNA was synthesized using the OneScript® Plus cDNA Synthesis Kit (Applied Biological Materials Inc, Canada) according to the manufacturer's instructions. The reverse transcription reaction was performed on a GeneAmp® PCR System 2700 (Applied Biosystems, USA) under the following conditions: 15 minutes at 55 °C, followed by 5 minutes at 85 °C for enzyme inactivation.

Quantitative PCR (qPCR)

The quantitative polymerase chain reaction (qPCR) method was used to determine the expression levels of target genes. The cDNA samples synthesized during qPCR analyses were analyzed using the QuantiNova™ SYBR® Green PCR Kit (QIAGEN, Germany). Cycle conditions consisted of 40 cycles performed on the Rotor-Gene Q (QIAGEN, Germany) instrument, with an initial denaturation at 95 °C for 2 minutes, followed by 5 seconds at 95 °C and 20 seconds at 60 °C.The obtained data were calculated using the Livak method (2^(-ΔΔCT)) and normalized against the RPL7 control gene. The primer sequences for the target genes analyzed for gene expression are provided in Table 1.

DNA Isolation and Whole-Genome DNA Methylation Analysis

DNA isolation from liver tissues of the F0 and F1 generations was performed using the FastDNA® Spin Kit (MP Biomedicals) protocol following homogenization. DNA concentration and purity were assessed using an IMPLEN P330 nanophotometer, and samples meeting quality control criteria were proceeded to the library preparation stage.

The sequencing library was prepared through the steps of DNA fragmentation, adapter ligation, and PCR amplification. Following library quality control and quantification, the samples were sequenced using Sequencing by Synthesis (SBS) technology on the Illumina platform. The obtained BCL files were converted to FASTQ format; the total number of bases, read count, GC content, and Q20 and Q30 quality scores were calculated.

To analyze DNA methylation patterns, we utilized the Bismark (v0.2.4.2) toolkit. Reference genome preparation involved the 'bismark_genome_preparation' script with Bowtie2 integration, using NCBI RefSeq assembly GCF_000002035.6 as the template. Bidirectional reads were aligned to the reference genome; cytosine methylation at the CpG, ChG, and ChH levels was analyzed. The alignment parameters used were -p 12, -N 1, and -L 20.

Statistical Analysis

To evaluate inter-group differences, we performed a one-way analysis of variance (ANOVA) within the GraphPad Prism (v10) environment. When significant differences were observed, Dunnett's multiple comparison test was applied to compare the exposure groups with the control group. The statistical significance threshold was determined as *$p < 0.05$, with increasing levels of significance indicated as **$p < 0.01$, ***$p < 0.001$, and ****$p < 0.0001$.

Table 1:Primer Sequences

Symbol	***Gene Name***	***Forward Primer Sequence***	***Reverse Primer Sequence***
p50/nfkb1	*Nuclear Factor of Kappa Light Polypeptide Gene Enhancer in B-Cells 1*	AGTCAGCCTCAGATCCGTGTGTTT	TTGTAAGCAAGGCCCATCAACTGC
rpl7	*Ribosomal Protein L7*	CAGAGGTATCAATGGTGTCAGCCC	TTCGGAGCATGTTGATGGAGGC

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

In this study, the transgenerational effects of DINCH—marketed as an alternative plasticizer—on zebrafish were evaluated using global DNA methylation analysis. The reflections of these epigenetic changes at the mRNA level were examined through the intergenerational expression levels of the NF-κB p50 subunit (NFKB1) gene.

NF-κB p50 gene expression levels were assessed in cDNA samples obtained from the F0 and F1 groups following exposure. It was determined that in the F0 generation, an increase in DINCH concentration was associated with a significant decrease in p50 expression; conversely, in the F1 generation, a significant increase was observed at a 0.1 µM DINCH concentration, in contrast to the F0 group (Figure 1).

Although the literature on DINCH's direct effects on p50 is limited, studies on phthalates have generally reported that the NF-κB signaling pathway is activated. For example, it has been shown that di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) activates the NF-κB pathway in zebrafish and mouse models (Cui et al., 2021; Li et al., 2024). Furthermore, it has been reported that plasticizers can modulate gene expression profiles across F1–F3 generations in in vivo models.

For example, a study on daphnia magna demonstrated that exposure to nanoplastics and dehp alters gene expression related to growth and reproduction across f0–f3 generations (liao et al., 2023).

The observed differences in expression profiles across generations suggest that dinch may lead to epigenetic reprogramming via the nf-κb signaling pathway and that this may be associated with transgenerational compensatory regulatory mechanisms.

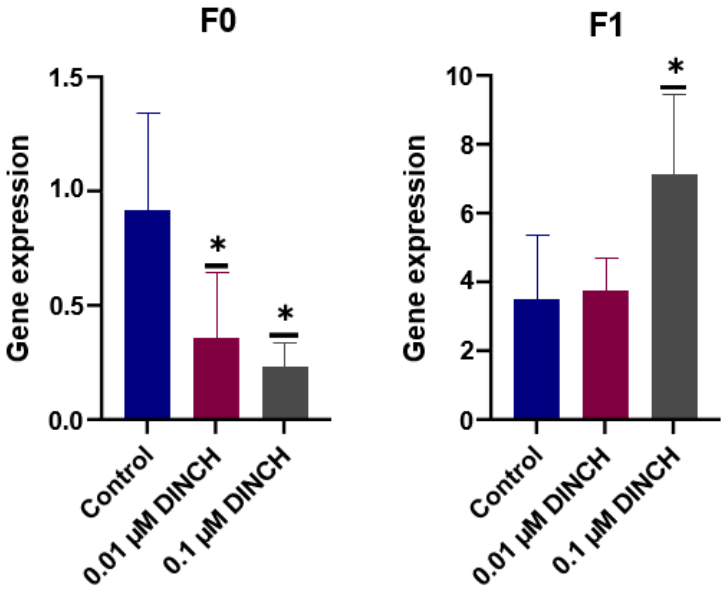


Figure 1: Immune system-associated p50 (NF-κB) gene expression levels in F0 and F1 generation tissues following DINCH exposure.

Upon examination of the methylation results, an increase in CpG methylation levels was observed in the F0 generation as DINCH concentration increased. This finding was interpreted as reflecting a direct epigenetic response to an environmental stressor (Figure 2). In contrast, it was determined that CpG methylation levels remained at lower levels in the F1 generation despite the increase in dose.

This finding suggests that intergenerational adaptive epigenetic mechanisms or a reprogramming toward reduced sensitivity may have been activated. Similarly, intergenerational shifts in DNA methylation patterns have been previously reported in the literature (Legoff et al., 2019). For example, it has been reported that methylation changes inconsistent with the F0 generation emerged following exposure to MEHP, a metabolite of DEHP, in zebrafish (Kamstra et al., 2017).

When non-CpG methylation patterns were examined, no significant change was observed at 0.01 µM DINCH, whereas an increase in methylation levels was detected at 0.1 µM DINCH. This suggests that

cellular protectivemechanisms may be activated at 0.01 µM DINCH, whereas more pronounced epigenetic reprogramming occurs at 0.1 µM DINCH (Jang et al., 2017).
Overall, it has been suggested that epigenetic changes caused by DINCH exposure may play a role in a transgenerational adaptation process.

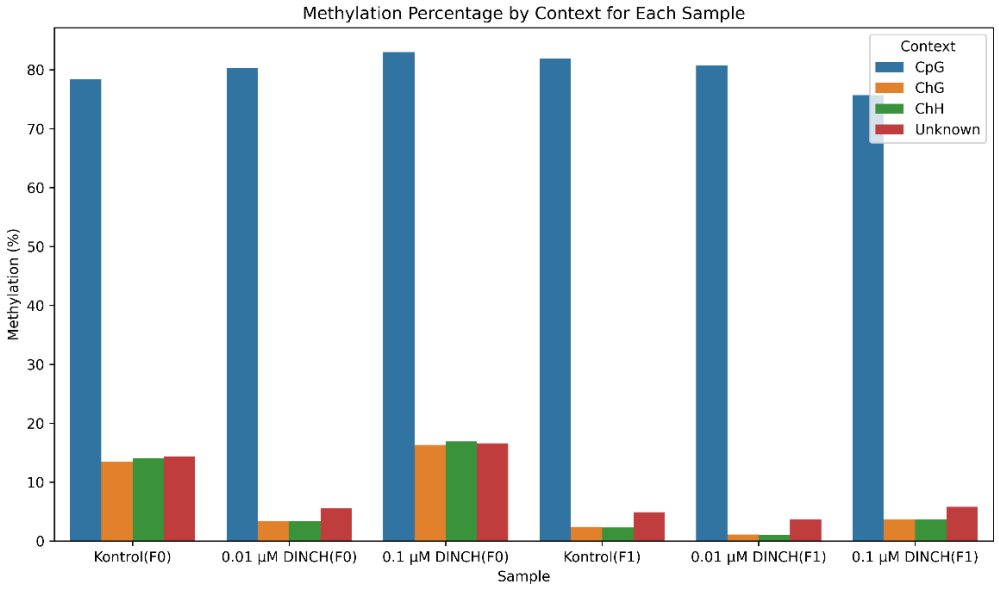


Figure 2:Methylation content and percentage in the F0 and F1 generations due to DINCH exposure

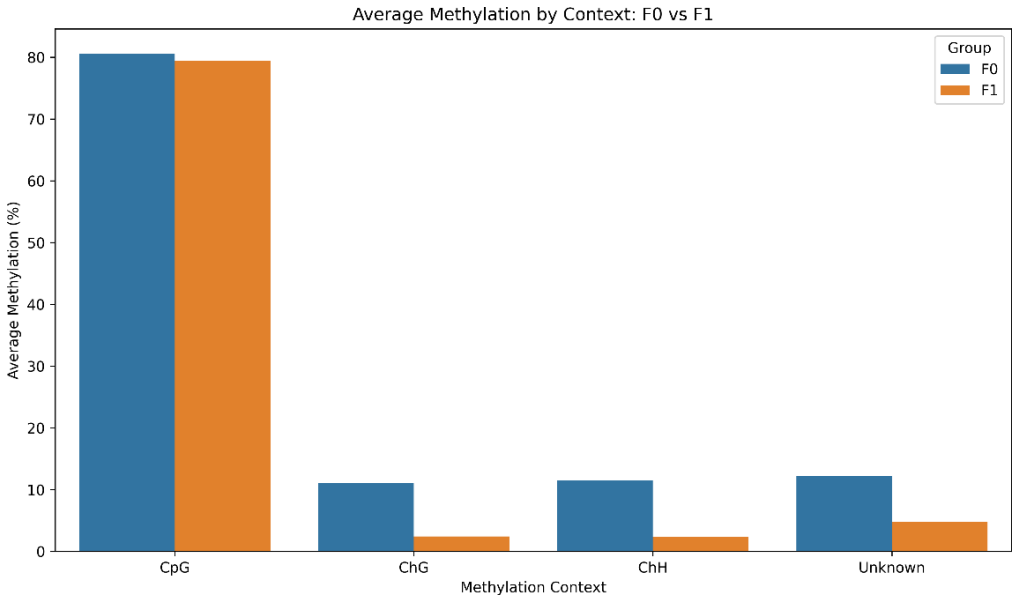


Figure 3:F0 and F1 generations and average methylation rate by content

CONCLUSION

This study has demonstrated that the differences in CpG and non-CpG methylation patterns, particularly the changes in gene expression observed at 0.1 µM DINCH concentrations, may lead to transgenerational epigenetic reprogramming. Furthermore, it has been suggested that increased non-CpG methylation at high doses may indicate the involvement of alternative regulatory mechanisms beyond classical CpG-based epigenetic regulation.

However, it is believed that future promoter-specific methylation analyses will be necessary to more clearly establish the relationship between changes in NF-κB p50 subunit expression and promoter region methylation.

ACKNOWLEDGEMENTS
This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK) under Grant 120Z748.

REFERENCES

Bajagain, R., Panthi, G., Park, J.-H., Moon, J.-K., Kwon, J., Kim, D. Y., Kwon, J.-H., & Hong, Y. (2023). Enhanced migration of plasticizers from polyvinyl chloride consumer products through artificial sebum. *Science of The Total Environment*, *874*, 162412. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162412

Britt E. Erickson. (2017). European Union further restricts four phthalates. *C&EN Global Enterprise*, *95*(26), 15-15. https://doi.org/10.1021/cen-09526-notw16

Clevenger, T., Paz, J., Stafford, A., Amos, D., & Hayes, A. W. (2024). An Evaluation of Zebrafish, an Emerging Model Analyzing the Effects of Toxicants on Cognitive and Neuromuscular Function. *International Journal of Toxicology*, *43*(1), 46-62.
https://doi.org/10.1177/10915818231207966

Cui, Y., Yin, K., Zheng, Y., Wang, B., Qu, Y., Li, S., & Lin, H. (2021). Mixed plasticizers aggravated apoptosis by NOD2-RIP2-NF-κB pathway in grass carp hepatocytes. *Journal of Hazardous Materials*, *402*, 123527. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123527

Daniels, P. H. (2009). A brief overview of theories of PVC plasticization and methods used to evaluate PVC-plasticizer interaction. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, *15*(4), 219-
223. https://doi.org/10.1002/vnl.20211

Hao, L., Ru, S., Qin, J., Wang, W., Zhang, J., Wei, S., Wang, J., & Zhang, X. (2022). Transgenerational effects of parental bisphenol S exposure on zebrafish (Danio rerio) reproduction. *Food and Chemical Toxicology*, *165*, 113142.
https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.113142

Jang, H., Shin, W., Lee, J., & Do, J. (2017). CpG and Non-CpG Methylation in Epigenetic Gene Regulation and Brain Function. *Genes*, *8*(6), 148. https://doi.org/10.3390/genes8060148

John Wiley & Sons (Ed.). (2002). *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. Wiley. https://doi.org/10.1002/0471440264

Jung, J., Cho, Y., Lee, Y., & Choi, K. (2024). Uses and occurrences of five major alternative plasticizers, and their exposure and related endocrine outcomes in humans: A systematic review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, *54*(16), 1165-1194. https://doi.org/10.1080/10643389.2024.2301922

Kamstra, J. H., Sales, L. B., Aleström, P., & Legler, J. (2017). Differential DNA methylation at conserved non-genic elements and evidence for transgenerational inheritance following developmental exposure to mono(2-ethylhexyl) phthalate and 5-azacytidine in zebrafish. *Epigenetics & Chromatin*, *10*(1), 20. https://doi.org/10.1186/s13072-017-0126-4

Legoff, L., D'Cruz, S. C., Tevosian, S., Primig, M., & Smagulova, F. (2019). Transgenerational Inheritance of Environmentally Induced Epigenetic Alterations during Mammalian Development. *Cells*, *8*(12), 1559. https://doi.org/10.3390/cells8121559

Li, S., Gu, X., Zhang, M., Jiang, Q., & Xu, T. (2024). Di (2-ethylhexyl) phthalate and polystyrene microplastics co-exposure caused oxidative stress to activate NF-κB/NLRP3 pathway aggravated pyroptosis and inflammation in mouse kidney. *Science of The Total Environment*, *926*, 171817. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171817

Liao, H., Gao, D., Junaid, M., Liu, S., Kong, C., Chen, X., Pan, T., Zheng, Q., Ai, W., Chen, G., & Wang, J. (2023). Parental exposure to polystyrene nanoplastics and di(2-ethylhexyl) phthalate induces transgenerational growth and reproductive impairments through bioaccumulation in Daphnia magna. *Science of The Total Environment*, *882*, 163657.
https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163657

Mathieu-Denoncourt, J., Wallace, S. J., de Solla, S. R., & Langlois, V. S. (2015a). Plasticizer endocrine disruption: Highlighting developmental and reproductive effects in mammals and non-mammalian aquatic species. *General and Comparative Endocrinology*, *219*, 74-88. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2014.11.003

Mathieu-Denoncourt, J., Wallace, S. J., de Solla, S. R., & Langlois, V. S. (2015b). Plasticizer endocrine disruption: Highlighting developmental and reproductive effects in mammals and non-mammalian aquatic species. *General and Comparative Endocrinology*, *219*, 74-88. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2014.11.003

Palandri, L., Monti, M., Scasserra, M. R., Lugli, C., Fasano, M., Lucaccioni, L., & Righi, E. (2026). Regulatory framework of phthalates and two common alternatives: A review of the European Union legislation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, *271*, 114704. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2025.114704

Qadeer, A., Anis, M., Warner, G. R., Potts, C., Giovanoulis, G., Nasr, S., Archundia, D., Zhang, Q., Ajmal, Z., Tweedale, A. C., Kun, W., Wang, P., Haoyu, R., Jiang, X., & Shuhang, W. (2024). Global environmental and toxicological data of emerging plasticizers: current knowledge, regrettable substitution dilemma, green solution and future perspectives. *Green Chemistry*, *26*(10), 5635-5683. https://doi.org/10.1039/D3GC03428C

Renwick, M. J., Bølling, A. K., Shellington, E., Rider, C. F., Diamond, M. L., & Carlsten, C. (2024). Management of phthalates in Canada and beyond: can we do better to protect human health? *Frontiers in Public Health*, *12*. https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1473222

Saad, N., Bereketoglu, C., & Pradhan, A. (2021). Di(isononyl) cyclohexane-1,2-dicarboxylate (DINCH) alters transcriptional profiles, lipid metabolism and behavior in zebrafish larvae. *Heliyon*, *7*(9), e07951. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07951

Schaffert, A., Arnold, J., Karkossa, I., Blüher, M., von Bergen, M., & Schubert, K. (2021). The Emerging Plasticizer Alternative DINCH and Its Metabolite MINCH Induce Oxidative Stress and Enhance Inflammatory Responses in Human THP-1 Macrophages. *Cells*, *10*(9), 2367. https://doi.org/10.3390/cells10092367

THE DANGER WE BREATHE
SOLUDUĞUMUZ TEHLİKE

OSMANOVA ILAHA IZMIR
Odlar Yurdu University Faculty of Nature and Technology, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0000-5254-9212

SAFAROVA MUNAVVAR AJDER
Odlar Yurdu University Faculty of Nature and Technology, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0007-1495-9684

ÖZET
Hava, bizi çevreleyen gazların bir karışımıdır. Yaşadığımız hava tabakasına atmosfer denir. Hava yaklaşık %78 azot, %21 oksijen ve %1 diğer gazlar, toz ve diğer maddelerden oluşur. Hava kirliliği, dünya nüfusundaki hızlı artış, artan enerji kullanımı ve endüstriyel gelişmenin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Hava kirliliği, insan sağlığına, ekosistemlere ve çevreye ciddi zararlar veren, dolayısıyla sağlığı "tehdit eden" zararlı maddelerin bir toplamıdır. Köken nedenlerine göre 2 gruba ayrılır: doğal kaynaklı hava kirliliği ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan hava kirliliği. Hava kirliliği gazlar, katılar ve sıvılardan oluşabilir. Hava kirliliğine örnek olarak endüstriyel gazlar, araç egzoz gazları vb. verilebilir. Hava kirliliği ve iklim değişikliği birbiriyle ilişkili konulardır. İklim değişikliğiyle birlikte hava kalitesi ciddi şekilde bozulabilir. İklim değişikliğine neden olan sera gazları karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), azot oksit (N_2O) ve ozondur. Çevresel kirleticiler, birçok farklı kirleticinin karışımıdır. Hava kirliliği iki gruba ayrılır: 1) toz ve is gibi görünür parçacıklar, 2) gazlar gibi görünmez parçacıklar. Kirlilik birincil ve ikincil olmak üzere ikiye ayrılır. Birincil kirleticiler, araçlardan yayılan karbonmonoksit gazı (CO) gibi doğrudan oluşan maddelerdir. İkincil kirleticiler ise birincil kirleticilerin reaksiyona girmesiyle oluşur. Ozon buna bir örnektir. Hava kirliliği sadece çevreye zarar vermekle kalmaz, aynı zamanda canlıların yaşamı için de büyük bir risk oluşturur. Özellikle akciğerleri etkiler. Havadaki her maddenin olumsuz bir etkisi vardır. Örneğin, kurşun çocuklarda beyin fonksiyonlarını olumsuz etkileyebilir. İnce toz vücuda girer ve solunum sistemine zarar verir. Kükürt dioksit suda çözünür ve bu da bitki ve hayvan dokularına zarar verir. Hava kirliliğini önlemek için bazı önlemler vardır. Örneğin, enerjiyi verimli kullanmak, araba kullanmak yerine bisiklet sürmek ve daha az uçmak, hava kirliliğini küçük bir ölçüde de olsa önleyebilir.
Anahtar Kelimeler: hava kirliliği, karbondioksit, solunum sistemi, ozon, kükürt dioksit

ABSTRACT
Air is a mixture of gases that surround us. The layer of air we live in is called the atmosphere. Air contains approximately 78% nitrogen, 21% oxygen, and 1% other gases, dust, and other substances. Air pollution occurs as a result of the rapid increase in the world's population, increased energy use, and industrial development. Air pollution is a collection of harmful substances that seriously harm human health, ecosystems, and the environment, thereby "threat" health. It is divided into 2 groups according to the causes of its origin: air pollution from natural sources and air pollution caused by human activities. Air pollution can consist of gases, solids, and liquids. Examples of air pollution include industrial gases, exhaust gases from vehicles, etc. Air pollution and climate change are related topics. Air quality can seriously deteriorate with climate change. The greenhouse gases that cause climate change are carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O), and ozone. Environmental pollutants are mixtures of many different pollutants. It is divided into 2 groups- 1) visible particles such as dust and soot 2) invisible particles such as gases. Pollution is divided into primary and secondary categories. Primary pollutants are substances that are directly formed, such as carbon monoxide gas (CO) emitted from vehicles. Secondary pollutants are formed when primary pollutants react. An example is ozone. Air pollution not only harms the environment, but also poses a great risk to the life of living beings. In particular, it affects the lungs. Every substance in the air has a negative effect. For example, lead can negatively affect brain function in children. Fine dust enters the body and damages the respiratory system. Sulfur dioxide dissolves in water. And this also damages plant and animal tissues.

There are certain measures to prevent air pollution. For example, using energy efficiently, cycling instead of driving, and flying less can prevent air pollution, albeit to a small extent.
Keywords: air pollution, carbon dioxide, respiratory system, ozone, sulfur dioxide

GİRİŞ

Hava, atmosferi oluşturan ve canlılar için hayati önem taşıyan gazların bir karışımıdır. Temiz hava %78 azot, %21 oksijen ve %1 diğer gazlardan oluşur. Hava kirliliği, insanlara ve diğer canlı organizmalara zararlı kimyasalların ve parçacıkların atmosfere girmesidir. Başlıca kükürt dioksit, azot oksitler, karbon monoksit, ozon ve uçucu organik bileşikler dahil olmak üzere çeşitli gazları içerir. Ayrıca, kurşun ve cıva gibi ağır metaller ve organik kirleticilerden oluşur *(Karagulian et al., 2015).* Bu maddelerle kirlenmiş hava, atmosferde yaygın olarak dağılır. Bu parçacıklar solunduğunda, genellikle astım, kanser ve kronik obstrüktif akciğer hastalığı gibi akciğer hastalıklarına neden olur *(Salih & Aziz, 2020).* Hava kirliliği, çevresel sağlık için ana risklerden biri olarak tanımlanmıştır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), her yıl yaklaşık 7 milyon ölümün hava kirliliğine maruz kalmayla ilişkili olduğunu belirlemiştir. Özellikle Pm 2.5 olarak adlandırılan partikül madde, kardiyovasküler ve solunum yolu hastalıkları riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiş ve tahmini 4,2 milyon ölüme neden olmuştur. Bazı çalışmalar, azot oksitler ve ozon gibi hava kirleticilerine maruz kalmanın kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH) ve akciğer kanseri insidansını önemli ölçüde artırdığını göstermiştir *(United Nations Environment Programme, 2023).*

Hava kirliliği neden oluşur?

Kimyasal bileşimleri, reaksiyon özellikleri ve insanlar ve diğer organizmalar üzerindeki etkileri bakımından farklılık gösteren çeşitli hava kirleticileri vardır. Bunlar 4 kategoriye ayrılabilir:

- Gaz halindeki kirleticiler
- Kalıcı organik kirleticiler (örneğin dioksinler)
- Ağır metaller
- Partikül madde

1. Gaz Halindeki Kirleticiler

Gaz halindeki kirleticiler, atmosferik değişiklikler üzerinde geniş bir etki yelpazesine sahiptir. Bunlar esas olarak fosil yakıtların yakılmasıyla ilişkilidir *(Katsouyanni, 2003).* Hava kirliliğinin başlıca gaz halindeki bileşenleri ozon, karbonmonoksit (CO), azot dioksit ve kükürt dioksittir *(Mustafic et al., 2012).*

1.1. Karbondioksit

CO_2, insan ve hayvan solunumunun bir atık ürünü olarak üretilir. Bir hava örneğinde karbondioksit yaklaşık %0,05 oranındadır. Fotosentezde rol oynar. Fosil yakıtla çalışan ulaşım ve enerji sistemleri, büyük miktarda karbon emisyonuna katkıda bulunur. Karbonun tam oksidasyonu karbondioksit üretir.

1.2. Karbonmonoksit

CO, insanlar için zehirli olabilen renksiz ve kokusuz bir gazdır *(Iqbal et al., 2012).* Bu renksiz, kokusuz ve zehirli gaz, yanma sırasında karbon (C) oksijen (O) ile birleştiğinde oluşur. Petrol, benzin, kömür, odun ve tütün gibi karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucu oluşur *(Bauer & Pannen, 2009).* Araç yolculuğu sırasında CO seviyeleri 6-15 ppm olabilir; bu, evlerdeki konsantrasyonlardan yaklaşık 2-5 kat daha yüksektir. Her günün en az %5'i ulaşımda geçirilir. Sigara dumanı %2'den fazla CO içerir ve sigara içme sırasında akciğerlere ulaşan ortalama CO konsantrasyonu 400 ppm'dir *(Beard, 1982).* Solunum yoluyla karbonmonoksit zehirlenmesinin belirtileri arasında baş ağrısı, baş dönmesi, halsizlik, mide bulantısı, kusma ve sonunda bilinç kaybı yer alır. Karbonmonoksit, oksijenden daha fazla hemoglobine ilgi duyar. Bu bağlamda, uzun süre yüksek seviyelerde karbonmonoksite maruz kalan kişilerde ciddi zehirlenme meydana gelebilir. Karbonmonoksitin rekabetçi bağlanması nedeniyle oksijen kaybından dolayı hipoksi, iskemi ve kardiyovasküler hastalık gözlemlenir. Karbonmonoksit, küresel ısınma ve iklimle yakından ilişkili bir sera gazıdır. Bu, kara ve su sıcaklıklarında artışa ve aşırı hava olaylarının veya fırtınaların meydana gelmesine yol açabilir *(Emberson et al., 2018).* Bununla birlikte, laboratuvar deneylerinde bitki büyümesini artırdığı gözlemlenmiştir *(Soon et al., 1999).*

1.3. Kükürt dioksit

Kükürt dioksit, veya kükürt dioksit, kükürtün oksijenle birleşmesiyle oluşur. Renksiz, keskin kokulu, boğucu bir gazdır. Esas olarak kükürt içeren yakıtların yanması, volkanik patlamalar ve endüstriyel işlemler sonucu atmosfere salınır. SO_2 için yıllık standart değer 0,03 ppm'dir *(U.S. Environmental Protection Agency, n.d.)*. Hayvanlar, bitkiler ve insanlar dahil olmak üzere tüm canlı organizmaların yaşamını etkiler. Akciğer hastalığı olan kişiler için ve en önemlisi yaşlılar ve çocuklar için çok zararlı bir gazdır. Ayrıca cilt kızarıklığı, göz hasarı, mukoza zarları ve kardiyovasküler hastalıklarda ciddi sorunlara neden olduğu bulunmuştur *(Chen et al., 2007)*. Toprak asitlenmesi ve asit yağmuru gibi doğa üzerindeki etkiler, kükürt dioksit salınımından kaynaklanır *(World Health Organization, 2000)*.

1.4. Azot oksit

Çeşitli oranlarda azot ve oksijenin birleşmesiyle oluşan bir gaz grubudur. Doğada ve endüstride bulunan en yaygın türleri şunlardır:
Azot monoksit. Renksiz, kokusuz bir gazdır. Havadaki oksijenle kolayca reaksiyona girer ve azot dioksite dönüşür.
Azot dioksit, kahverengi, keskin kokulu ve zehirli bir gazdır. Şehirlerdeki hava kirliliğinin başlıca nedenlerinden biridir.
Esas olarak termik santrallerden ve fabrikalardan çıkan atıklardan, yıldırım çarpması sırasında atmosferdeki azotun oksidasyonundan ve yanmalı motorlarda yüksek sıcaklıklarda azotun yanmasından oluşur. Otomobil motorlarından yayıldığı için trafik kaynaklı bir kirletici olarak bilinir *(Richmond-Bryant et al., 2017. Hesterberg et al., 2009)*. NO_2'ye uzun süreli maruz kalma koku alma duyusunu bozar. Sadece solunum sistemini etkilemez. Göz, boğaz ve burun tahrişi gibi belirtiler de gözlemlenmiştir. Yüksek azot dioksit seviyeleri bitkiler ve hayvanlar için de zararlıdır. Çalışmalar, bitkilerin verimliliğini ve büyüme verimliliğini azalttığını göstermiştir.

1.5. Ozon

Ozon (O_3), yüksek voltajlı elektrik deşarjı altında oksijenden oluşan bir gazdır *(Bezirtzoglou & Alexopoulos, 2009)*. Güçlü bir oksitleyicidir, klordan %52 daha güçlüdür. Stratosferde oluşur, ancak troposferde fotokimyasal duman zincirleme reaksiyonlarından sonra da oluşabilir *(Villányi et al., 2010)*. Karbon özümlemesini azalttığı için ormanlar ve bitki örtüsü için zararlıdır *(Lorenzini & Saitanis, 2003)*. Büyümeyi ve verimliliği azaltır. Antimikrobiyal özellikleri nedeniyle bitki mikroflorasını etkiler *(Harmens et al., 2012. Emberson et al., 2018)*. Ozon vücuda esas olarak solunum yoluyla girer. Epidermisi ve gözyaşı kanallarını etkiler *(World Health Organization, n.d.)*. Ozon maruziyetine maruz bırakılan fareler üzerinde bir çalışma yapılmıştır. C ve E vitaminlerinin azaldığı bulunmuştur. Epidermiste malondialdehit de oluşmuştur *(Thiele et al., 1997)*. Ozonun düşük su çözünürlüğü nedeniyle, solunum yoluyla vücuda girer ve akciğerlerin derinliklerine kadar nüfuz etme yeteneğine sahiptir *(Hatch et al., 1994)*.

2. Kalıcı Kirleticiler

Bunlara örnek olarak dioksinler verilebilir. Bunlar esas olarak endüstriyel süreçlerle üretilir. Ayrıca orman yangınları ve volkanik patlamalarla da üretilebilirler. Et ve süt ürünlerinde, balık ve deniz ürünlerinde, yani hayvanların yağ dokusunda birikirler. Yüksek düzeyde dioksinlere maruz kalma, ciltte koyu lekeler, gelişimsel sorunlar, bağışıklık, endokrin ve sinir sistemlerinin zayıflaması, üreme kısırlığı ve kansere neden olabilir *(World Health Organization, n.d.)*.

3. Ağır Metaller

Kurşun, çeşitli endüstriyel tesislerde kullanılan ve bazı benzinli motorlardan, akülerden, radyatörlerden, atık yakma fırınlarından ve atık sudan yayılan bir ağır metaldir *(Prüss-Ustün et al., n.d.)*. Havadaki kurşun kirliliğinin ana kaynakları metaller, cevherler ve pistonlu motorlu uçaklardır. Kurşun zehirlenmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, insanlar, hayvanlar ve çevre üzerindeki zararlı etkileri nedeniyle halk sağlığı açısından bir tehlikedir. Kurşun maruziyeti solunum, yutma ve deri yoluyla gerçekleşebilir. Kurşun toksisitesi fetüsün sinir sistemini etkiler; beyin ödemi veya şişmesi gözlenir. Solunduğunda kurşun kanda, yumuşak dokularda, karaciğerde, akciğerlerde, kemiklerde, kardiyovasküler, sinir ve üreme sistemlerinde birikir.

Ayrıca yetişkinlerde dikkat ve hafıza kaybının yanı sıra kas ve eklem ağrıları da gözlemlenmiştir *(National Institute of Environmental Health Sciences, 2013).*

4. Partikül Madde

Partikül madde (PM) genellikle atmosferdeki çeşitli kirleticiler arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşur. Partiküllerin nüfuz etme yeteneği büyük ölçüde boyutlarına bağlıdır *(Wilson & Suh, 1997)*. Partikül madde, solunabilen ve ciddi sağlık etkilerine sahip küçük sıvı veya katı damlacıklardan oluşur *(Cheung et al., 2011).* Çapı <10 µm olan partiküller (PM10) akciğerlere nüfuz edebilir ve hatta kan dolaşımına ulaşabilir. PM2.5 gibi ince partiküller sağlık açısından daha büyük bir risk oluşturur *(Zhang et al., 2019).*

Hava Kirliliğinin Çevresel Etkileri

Hava kirliliği çevre için çok zararlıdır. Etkileri şunlardır:

Asit Yağmuru - yağmur kükürt veya azot oksitlerle reaksiyona girer. Bu su buharı daha sonra yüksek konsantrasyonlu kükürt veya nitrik asitlere dönüşür. Buna asit yağmuru denir *(Bhargava, 2013).* İnsan sağlığına zararlı olabilir ve kireçtaşı, mermer ve metali aşındırabilir *(Mehta, 2010).* Asit yağmuru, özellikle ormanlarda ve göllerde, endüstriyel faaliyetlerden uzakta olsalar bile toprağa zarar verebilir *(Liu et al., 2022).* Ayrıca bitki yapraklarının yanmasına neden olur ve gölleri o kadar asidik hale getirir ki balıklar ve diğer yaşam formları içinde yaşayamaz.

Duman - ince parçacıkların havada dağılması ve atmosferin şeffaflığını azaltmasıyla oluşur. Endüstrilerden, enerji santrallerinden, otomobillerden ve kamyonlardan kaynaklanan emisyonlardan kaynaklanır.

Stratosferik ozon - bizi Güneş'in zararlı ultraviyole (UV) ışınlarından korur. Yer seviyesindeki ozon insan sağlığına zararlıdır. Ne yazık ki, stratosferik ozon, ozon tabakasını incelten maddeler (örneğin, kimyasallar, pestisitler ve aerosoller) tarafından giderek zarar görmektedir. Bu koruyucu stratosferik ozon tabakası inceldiğinde, UV radyasyonu Dünya'ya ulaşarak insan yaşamında (cilt kanseri) ve bitkilerde zararlı etkilere neden olabilir *(Madronich & de Gruijl, 1993. Teramura, 2006).*

Küresel iklim değişikliği insanlık için büyük bir endişe kaynağıdır. Bilindiği üzere, "sera etkisi" Dünya'da sabit bir sıcaklığı korur. Ne yazık ki, insan faaliyetleri büyük miktarda sera gazı üreterek bu koruyucu sıcaklık etkisini yok etmiş ve küresel ısınma artmaktadır; bu da insan sağlığı, hayvanlar, ormanlar, vahşi yaşam, tarım ve su ortamı üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Bir raporda, küresel ısınmanın yoksulların sağlık risklerini artırdığı belirtilmektedir. Sıcak iklimlerde kötü inşa edilmiş binalarda yaşayan insanlar, sıcaklıklar yükseldikçe ısıya bağlı sağlık sorunları açısından yüksek risk altındadır *(Manderson, n.d.)* .

Hava Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

İnsanlar, hava kirleticilerinin bileşiminden ve bunlara maruz kalma süresinden etkilenebilir. Başlıca nedenler arasında mide bulantısı, nefes darlığı ve hatta kanser yer alır. Yaş ve beslenme gibi faktörler de hava kirliliğinden etkilenir. Bazı çalışmalar, hava kirliliğinin kardiyovasküler ve solunum sistemlerini ve bazen diğer organları da etkilediğini göstermiştir *(Cohen et al., 2005).*

Solunum Sistemi Üzerindeki Etkiler - Azot oksitler gibi hava kirleticileri, solunum sisteminin enfeksiyonlara karşı duyarlılığını artırır. Azot oksitlere, arsenik, nikel ve vanadyum gibi ağır metallere maruz kalma astım ve nefes darlığına yol açar. Ozon maruziyeti de akciğer fonksiyonunu azaltır *(Tager et al., 2005).*

Kardiyovasküler Sistem Üzerindeki Etkiler - Karbonmonoksit, hemoglobin ile birleşerek yapısını değiştirir. Oksijen taşınmasını engeller *(Badman & Jaffe, 1996).* Akciğer iltihabına ek olarak, parçacıklar kan pıhtılaşmasını da etkiler. Hava kirliliği kan damarlarını tıkayabilir. Bu da anjina ve miyokard enfarktüsüne neden olur *(Vermylen et al., 2005).*

Sinir sistemi üzerindeki etkiler - Sinir sistemi esas olarak ağır metallerden (kurşun, cıva ve arsenik) ve dioksinlerden etkilenir. Arsenik, kurşun ve cıvaya maruz kalma sonrasında hafıza bozukluğu, uyku bozuklukları, öfke, yorgunluk, el titremesi, bulanık görme ve konuşma bozuklukları gibi semptomlarla nörotoksisite gözlemlenmiştir *(Ratnaike, 2003).* Cıva ayrıca bazı nörolojik kanserlere de neden olur. Dioksinler sinir iletim hızını azaltır ve çocuklarda zihinsel gelişimi bozar *(Thomke et al., 1999).*

Boşaltım sistemi üzerindeki etkiler - Ağır metaller böbrek hasarına neden olur. Ayrıca taş oluşumuna ve böbrek kanserine yol açarlar.
Hamile kadınlar üzerindeki etkiler - Hava kirleticileri gelişmekte olan fetüsü olumsuz etkileyebilir *(Schell et al., 2006).* Annenin ağır metallere, özellikle kurşuna maruz kalması, kendiliğinden düşük riskini ve fetal büyümenin azalmasını (erken doğum, düşük doğum ağırlığı) artırır. Dioksinlerin plasenta yoluyla anneden fetüse geçtiği bulunmuştur. Endokrin bozucu olarak hareket ederler ve fetüsün merkezi sinir sisteminin büyümesini ve gelişimini etkilerler *(Wang et al., 2004).*

SONUÇ

Hava kirliliği, önemli bir çevresel sağlık tehlikesidir. Kanser, felç ve solunum yolu hastalıklarına neden olur. Her yıl 8 milyondan fazla insanı öldürmektedir. İnsan sağlığının yanı sıra ekosistemleri de yok eder. Doğaya zarar verir ve biyoçeşitliliği tahrip eder. Bitkiler ve mahsuller, uzun süreli hava kirliliğine maruz kaldıklarında daha az büyürler. Ozon kirliliği, bitkilerin "nefes almasını" sağlayan yaprakların altındaki küçük gözenekler olan stoma adı verilen yapıları tahrip ederek bitkilere zarar verir. Sera gazı kirliliği iklim değişikliğine neden olur. Sonuç olarak, ekosistemler bitki ve hayvanların uyum sağlayabileceğinden daha hızlı değişmekte ve birçok tür yok olmaktadır. Deniz ekosistemleri, deniz suyunda karbondioksitin çözünmesinden kaynaklanan okyanus asitlenmesine karşı savunmasızdır. Okyanus asitliği, birçok deniz türünün kabuk ve iskelet geliştirmesini zorlaştırır. Tarımdan kaynaklanan amonyak gazı (NH3) ve araba, kamyon ve uçak egzozundan kaynaklanan azot dioksit (NO2), topraklardaki azot miktarını artırır. Bitkilerin büyümesi için nitrojen gereklidir, ancak çok fazla nitrojen bazı bitkilerin büyümesini sınırlayabilir, diğerlerinin büyümesini artırabilir ve ekosistemlerdeki tür dengesini bozabilir. Bu bozulma, dünya genelindeki otlakları ve diğer ortamları olumsuz etkiler. Hava kirliliği nasıl ortadan kaldırılabilir? Enerji tasarrufu, atık yönetimi, endüstriyel kontrol ve çevre koruma, hava kirliliğini, az da olsa, azaltmaya yardımcı olabilir.

KAYNAKLAR

Badman, D.G., Jaffe, E.R., 1996. Blood and air pollution: state of knowledge and research needs. Otolaryngol. Head Neck Surg. 114, 205.

Bauer I, Pannen BH. Bench-to-bedside review: Carbon monoxide--from mitochondrial poisoning to therapeutic use. Crit Care. 2009; 13:220. [PubMed: 19691819]

Beard RR. Inorganic compounds of oxygen nitrogen and carbon. In: Patty's industrial hygiene and toxicology. New York: John Wiley & Sons, 1982.

Bezirtzoglou E, Alexopoulos A. Ozone history and ecosystems: a goliath from impacts to advance industrial benefits and interests, to environmental and therapeutical strategies. In: Ozone Depletion, Chemistry and Impacts. (2009).p. 135–45.

Bhargava S. Ecological consequences of the acid rain. IOSR J. Appl. Chem. 2013;5:19–24. DOI: https://doi.org/10.9790/5736-0541924

Chen T-M, Gokhale J, Shofer S, Kuschner WG. Outdoor air pollution: nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and carbon monoxide health effects. Am J Med Sci. (2007) 333:249–56. doi: 10.1097/MAJ.0b013e31803b900f

Cheung K, Daher N, Kam W, Shafer MM, Ning Z, Schauer JJ, et al. Spatial and temporal variation of chemical composition and mass closure of ambient coarse particulate matter (PM10–2.5) in the Los Angeles area. Atmos Environ. (2011) 45:2651–62. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.02.066

Cohen, A.J., Ross Anderson, H., Ostro, B., Pandey, K.D., Krzyzanowski, M., Kunzli, N., Gutschmidt, K., Pope, A., Romieu, I., Samet, J.M., Smith, K., 2005. The global burden of disease due to outdoor air pollution. J. Toxicol. Environ. Health A 68, 1301.

Emberson LD, Pleijel H, Ainsworth EA, den Berg M, Ren W, Osborne S, et al. Ozone effects on crops and consideration in crop models. Eur J Agron. (2018) 100:19–34. doi: 10.1016/j.eja.2018.06.002

Emberson LD, Pleijel H, Ainsworth EA, den Berg M, Ren W, Osborne S, et al. Ozone effects on crops and consideration in crop models. Eur J Agron. (2018) 100:19–34. doi: 10.1016/j.eja.2018.06.002

F. Karagulian, C. A. Belis, C. F. C. Dora, A. M. Pru ss-Ustu n, S. Bonjour, H. Adair-Rohani, and M. Amann, "Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level," Atmospheric Environment, Vol. 120, pp. 475-483, 2015.

Harmens H, Mills G, Hayes F, Jones L, Norris D, Fuhrer J. Air Pollution and Vegetation. ICP Vegetation Annual Report 2006/2007. (2012)

Hatch GE, Slade R, Harris LP, McDonnell WF, Devlin RB, Koren HS, et al. Ozone dose and effect in humans and rats. A comparison using oxygen18 labeling and bronchoalveolar lavage. Am J Respir Crit Care Med. (1994) 150:676–83. doi: 10.1164/ajrccm.150.3.8087337

Hesterberg TW, Bunn WB, McClellan RO, Hamade AK, Long CM, Valberg PA. Critical review of the human data on short-term nitrogen dioxide (NO2) exposures: evidence for NO2 no-effect levels. Crit Rev Toxicol. (2009) 39:743–81. doi: 10.3109/10408440903294945

Iqbal S, Clower JH, Hernandez SA, Damon SA, Yip FY. A review of disaster-related carbon monoxide poisoning: surveillance, epidemiology, and opportunities for prevention. Am J Public Health. 2012a; 102:1957–63. [PubMed: 22897556]

Katsouyanni, K., 2003. Ambient air pollution and health. Br. Med. Bull. 68, 143.

Liu Z, Liu Z, Wu L, Li Y, Wang J, Wei H, Zhang J. Effect of polyethylene microplastics and acid rain on the agricultural soil ecosystem in Southern China, Environ. Pollut. 2022;303:119094. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119094

Lorenzini G, Saitanis C. Ozone: A Novel Plant "Pathogen." In: Sanitá di Toppi L, Pawlik-Skowronska B, editors. ´ Abiotic Stresses in Plant Springer Link (2003). p. 205–29. doi: 10.1007/978-94-017-0255-3_8

Madronich S, de Gruijl F. Skin cancer and UV radiation. Nature. (1993) 366:23–9. doi: 10.1038/366023a0

Manderson L. How global Warming is Adding to the Health Risks of Poor People. The Conversation. University of the Witwatersrand. Available online at: http://theconversation.com/how-global-warming-is-adding-tothe-health-risks-of-poor-people-109520 (accessed October 5, 2019).

Mehta P. Science behind acid rain: analysis of its impacts and advantages on life and heritage structures. South Asian J. Tour. Herit. 2010;3;123–132.

Mustafic H, Jabre P, Caussin C, Murad MH, Escolano S, Tafflet M, et al. Main air pollutants and myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. JAMA. 2012; 307:713–21.

National Institute of Environmental Health Sciences (NIH). Lead and Your Health. (2013). 1–4 p. Available online at: https://www.niehs.nih.gov/health/ materials/lead_and_your_health_508.pdf (accessed September 17, 2019).

Pruss-Ustun A, Fewrell L, Landrigan PJ, Ayuso-Mateos JL. Lead exposure. Comparative Quantification of Health Risks. World Health Organization. p. 1495–1542. Available online at: https://www.who.int/publications/cra/ chapters/volume2/1495-1542.pdf?ua=1

Ratnaike, R.N., 2003. Acute and chronic arsenic toxicity. Postgrad. Med. J. 79, 391.

Richmont-Bryant J, Owen RC, Graham S, Snyder M, McDow S, Oakes M, et al. Estimation of on-road NO2 concentrations, NO2/NOX ratios, and related roadway gradients from near-road monitoring data. Air Qual Atm Health. (2017) 10:611–25. doi: 10.1007/s11869-016-0455-7

Schell, L.M., Gallo, M.V., Denham, M., Ravenscroft, J., 2006. Effects of pollution on human growth and development: an introduction. J. Physiol. Anthropol. 25, 103.

Soon W, Baliunas SL, Robinson AB, Robinson ZW. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. Climate Res. (1999) 13:149–64 doi: 10.1260/0958305991499694

Tager, I.B., Balmes, J., Lurmann, F., Ngo, L., Alcorn, S., Kunzli, N., 2005. Chronic exposure to ambient ozone and lung function in young adults. Epidemiology 16, 751.

Teramura A. Effects of UV-B radiation on the growth and yield of crop plants. Physiol Plant. (2006) 58:415–27. doi: 10.1111/j.1399-3054.1983.tb04203.x

Thiele JJ, Traber MG, Tsang K, Cross CE, Packer L. In vivo exposure to ozone depletes vitamins C and E and induces lipid peroxidation in epidermal layers of murine skin. Free Radic Biol Med. (1997) 23:365–91. doi: 10.1016/S0891-5849(96)00617-X

Thomke, F., Jung, D., Besser, R., Roder, R., Konietzko, J., Hopf, H.C., 1999. Increased risk of sensory neuropathy in workers with chloracne after exposure to 2,3,7,8-polychlorinated dioxins and furans, Acta Neurol. Scand 100, 1.

UN Environment Programme, "Pollution Action Note – Data you need to know," UN Environment Programme, 2023.

US EPA. Table of Historical SO2 NAAQS, Sulfur US EPA. Available online at: https://www3.epa.gov/ttn/naaqs/standards/so2/s_so2_history.html (accessed October 5, 2019).

Vermylen, J., Nemmar, A., Nemery, B., Hoylaerts, M.F., 2005. Ambient air pollution and acute myocardial infarction. J. Thromb. Haemost. 3, 1955.

Villányi V, Turk B, Franc B, Csintalan Z. Ozone Pollution and its Bioindication. In: Villányi V, editor. Air Pollution. London: Intech Open (2010). doi: 10.5772/10047

Wang, S.L., Lin, C.Y., Guo, Y.L., Lin, L.Y., Chou, W.L., Chang, L.W., 2004. Infant exposure to polychlorinated dibenzo-p-dioxins, dibenzofurans and biphenyls (PCDD/Fs, PCBs)dcorrelation between prenatal and postnatal exposure. Chemosphere 54, 1459.

WHO (World Health Organization). Dioxins and Their Effects on Human Health. Available online at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/ detail/dioxins-and-their-effects-on-human-health (accessed October 5,2019).

WHO Regional Office of Europe (2000). Available online at: https://euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0020/123086/AQG2ndEd_7_4 Sulfuroxide.pdf

WHO. Health Risks of Ozone From Long-Range Transboundary Air Pollution. Available online at: http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/ 0005/78647/E91843.pdf (accessed August 15, 2019).

Wilson WE, Suh HH. Fine particles and coarse particles: concentration relationships relevant to epidemiologic studies. J Air Waste Manag Assoc. (1997) 47:1238–49. doi: 10.1080/10473289.1997.10464074

Z. Salih and F. Aziz, "Heavy Metal Accumulation in Dust and Workers' Scalp Hair as a Bioindicator for Air Pollution from a Steel Factory," Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 29(2), pp. 1805-1813, 2020.

Zhang L, Yang Y, Li Y, Qian ZM, Xiao W, Wang X, et al. Shortterm and long-term effects of PM2.5 on acute nasopharyngitis in 10 communities of Guangdong, China. Sci Total Env. (2019) 688:136–42. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.470.

WHISPER OF RADIATION - THE SILENT WORLD

RADYASYONUN FISILTISI - SESSİZ DÜNYA

OSMANOVA ILAHA IZMIR
Odlar Yurdu University Faculty of Nature and Technology, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0000-5254-9212

SAFAROVA MUNAVVAR AJDER
Odlar Yurdu University Faculty of Nature and Technology, Azerbaijan
ORCID ID: 0009-0007-1495-9684

ÖZET

26 Nisan 1986'da Çernobil Nükleer Santrali'nde meydana gelen kaza, en kötü endüstriyel kazaydı. Radyoizotopların salınımı, kaza bölgesinin çevresindeki alanın radyoaktif kirlenmesine neden oldu. Sonuç olarak, birçok canlı radyasyona maruz kaldı. İlk temizlik çalışmalarında yer alan işçiler, kazadan sonra santral yakınlarındaki yerleşim yerlerinden tahliye edilen insanlar, Belarus, Rusya, Ukrayna vb. etkilenen bölgelerde yaşamaya devam eden nüfus üyeleri radyasyona maruz kaldı. İlk patlama iki işçinin ölümüne neden oldu. Patlamadan sonraki ilk 3 ay içinde, yirmi sekiz itfaiyeci ve acil durum çalışanı akut radyasyon maruziyetinden öldü ve bir kişi kalp krizi nedeniyle hayatını kaybetti. Santrale 3 kilometre uzaklıkta bulunan Priyat şehrinin tamamı ve yaklaşık 49.360 kişi, kazadan 36 saat sonra tahliye edildi. Toplamda, kaza sonucu 200.000 kişi yerinden edildi. Kaza sırasında, 0-14 yaş arası yaklaşık 1.800 çocuğa tiroid kanseri teşhisi konuldu. Çernobil'in psikolojik etkileri de yaygın. Kazadan sonra önemli sayıda intihar vakası yaşandı. Alkol bağımlılığı arttı. Çernobil santralindeki patlamadan sonra atmosfere 100'den fazla radyoaktif elementin salındığı bugün bile biliniyor. Bu elementlerin çoğu kısa ömürlüydü, bu nedenle çok hızlı bir şekilde bozundular. Salınan elementler arasında en tehlikelileri iyot, stronsiyum ve sezyumdu. Bozunma süreleri sırasıyla 8 gün, 29 yıl ve 30 yıldır. İyot tiroid kanseriyle ilişkilendirilirken, stronsiyum lösemiye neden olabilir. Sezyum en uzun süre kalan ve tüm vücudu etkileyen elementtir. Özellikle karaciğer ve dalağa ciddi zararlar verir. Ayrıca, patlamadan sonra bitki ve hayvanlarda mutasyonlar meydana geldi. Yaprakların şekli değişti. Bazı hayvanlar fiziksel deformitelerle doğdu. Radyasyona rağmen, nadir türler şimdi bölgeye büyük sayılarda geri dönüyor. Hatta yasak bölge sakinleri bile gönüllü olarak evlerine geri döndüler ve çevredeki radyasyon seviyesinin normalden daha yüksek olduğu bölgelerde yaşıyorlar.
Anahtar Kelimeler: Çernobil, tiroid kanseri, radyasyon, radyoaktif element, radyoaktif kirlenme

ABSTRACT

The accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant on April 26, 1986 was the worst industrial accident. The release of radioisotopes caused radioactive contamination of the area surrounding the accident site. As a result, many living beings were exposed to radiation. Workers involved in the initial clean-up operations, people evacuated from settlements near the power station after the accident, members of the population continuing to live in the affected areas of Belarus, Russia, Ukraine, etc. were exposed to radiation. The initial explosion resulted in the death of two workers. In the first 3 months after the explosion, twenty-eight firefighters and emergency workers died from acute radiation exposure, and one person died from cardiac arrest. The entire city of Priyat, located 3 kilometers from the station, and approximately 49,360 people were evacuated 36 hours after the accident. In total, 200,000 people were displaced as a result of the accident. At the time of the accident, about 1,800 children aged 0–14 years were diagnosed with thyroid cancer. The psychological effects of Chernobyl are also widespread. A significant number of suicides occurred after the accident. Alcohol addiction increased. It is still known today that more than 100 radioactive elements were released into the atmosphere from the explosion at the station. Most of these elements were short-lived, so they decayed very quickly. Iodine, strontium and cesium were the most dangerous of the elements released. Their decay periods are 8 days, 29 years and 30 years, respectively. While iodine is associated with thyroid cancer, strontium can cause leukemia. Cesium is the element that remains the longest and affects the entire body. In particular, it seriously damages the liver and spleen. Also, after the explosion, mutations occurred in plants and animals. The shape of the leaves changed. Some animals were born with physical deformities.

Despite the radiation, rare species are now returning to the area in large numbers. Even residents of the exclusion zone have voluntarily returned to their homes and live in areas where the radiation level in the environment is higher than normal.
Keywords: Chernobyl, thyroid cancer, radiation, radioactive element, radioactive contamination

GİRİŞ

26 Nisan 1986'daki Çernobil nükleer santral kazası, 20. yüzyılın en kötü nükleer kazasıydı. Güçlü bir hidrojen patlaması, radyoaktif fisyon ürünlerini atmosfere saldı *(Centers for Disease Control, 1982)*. Patlama o kadar çok radyasyon hasarına neden oldu ki, çevredeki birçok insan öldü. Kazanın boyutu ve etkilenen insan sayısı emsalsizdi. 2002 yılında S. Nagataki, Çernobil hakkındaki bilgi durumunu değerlendirirken, kaza sonrası dönemleri şu şekilde ayırdı:

- 1986-1989 yılları arasında bilgiye ulaşmanın zor olduğu dönem
- 1990-1991 yılları arasında diğer ülkelerle bilgi alışverişi
- 1992 yılında çocukluk çağı tiroid kanseri vakaları
- 1992-1994 yılları arasında açıklama dönemi
- 1995 yılında nedenlerin belirlenmesi ve araştırılması
- 1996'dan günümüze kadar yürütülen araştırmalar (ve gelecekte de devam edecek) *(Nagataki, 2002).*

Belarus, Rusya ve Ukrayna'da yaklaşık 150.000 kilometrekarelik bir alan kirlenmiş olup, bu alan santral sahasının 500 kilometre kuzeyine kadar uzanmaktadır. Santralin etrafındaki 30 kilometrelik bir alan "yasak bölge" olarak kabul edilmektedir. Bu bölge büyük ölçüde ıssızdır. Yasak bölge, günümüze kadar terk edilmiş 187 küçük yerleşim yerini içermektedir. Birkaç sakin yasak bölgedeki evlerine geri dönmüştür, ancak çocukların bölgede yaşamasına izin verilmemektedir. Tahliye edilen nüfus çoğunlukla Slavutich gibi yeni inşa edilmiş kasabalarda, az veya hiç kirlenme olmayan bölgelerde yaşamaktadır *(International Atomic Energy Agency, n.d.)*. 26 Nisan 1986'nın erken saatlerinde, bölgedeki 600 işçiden 134'ü yüksek dozda radyasyona (0,8–16 Gy) maruz kalmış ve radyasyon hastalığına yakalanmıştır. Bunlardan 28'i ilk üç ayda, 19'u ise 1987 ile 2004 yılları arasında radyasyona maruz kalmayla ilgisi olmayan çeşitli nedenlerden ölmüştür *(UNSCEAR, n.d.)*.

Çevresel Etki

Tarımsal Etki - Kazanın tarım üzerindeki etkisi önemliydi. Belarus topraklarının yaklaşık %23'ü (46 bin km2), 2,2 milyon insanın yaşadığı ve 1,8 milyon hektar tarım arazisinin 137Cs (37 kBq.m-2) ile kirlendiği, bunun 265.000 hektarının ise tarım sisteminden tamamen çıkarıldığı tespit edildi *(Annenkov & Averin, 2003. Bogdevitch, 2014)*.

Ormanlar Üzerindeki Etki - 1986'daki Çernobil Nükleer Santrali kazasından sonra, yüksek radyasyon seviyeleri nedeniyle bir iğne yapraklı orman alanı (4-6 km2) tahrip oldu. Etkilenen alan, ağaçların iğnelerinin 1986'da ölmeden önce kırmızı (veya daha doğrusu turuncu) renge dönüşmesi nedeniyle "Kızıl Orman" olarak bilinir. Kızıl Orman daha sonra, yaprak döken ağaçlar (iğne yapraklı türlerden daha az radyasyona duyarlı) ve alt tabaka bitkileriyle bir ölçüde restore edildi. Akut radyasyon, santralin yakınındaki İskoç çamı (Pinus sylvestris L.) ormanlarının ölümüne neden oldu. Çernobil nükleer reaktör kazasından sonra, geniş orman alanları radyoaktif atıklarla kirlendi. Kazadan sonraki ilk birkaç yılda, bilim camiasının ilgisi esas olarak tarımsal ekosistemlere odaklanmıştı. Son yıllarda, orman alanlarındaki ve odun, mantar ve meyve gibi önemli orman ürünlerindeki radyoaktif kirlenme seviyesine giderek daha fazla dikkat edilmektedir. Radyoaktif serpinti üzerine yapılan uzun vadeli çalışmalar, ağaçların genellikle orman ekosistemlerinin önemli bir bileşeni olarak kabul edilebileceğini göstermiştir. Çernobil kazasından 7 yıl sonra bile, ağaçlardaki toplam 137Cs envanterinin oranı, farklı ormanların özelliklerine bağlı olarak %1 ile %18 arasında değişiyordu *(Belli & Tikhomirov, 1996)*.

Su kütleleri üzerindeki etki - Çernobil felaketinden sonraki ilk aylarda, bölgedeki tüm su yolları mecazi olarak radyasyonla zehirlenmişti. Bu radyasyon tüm su döngüsüne yayıldı: yağmurla birlikte düştü; Aylar boyunca batı Sovyetler Birliği üzerinde dolaşan radyoaktif bulutlardan süzüldü. Köyleri ve nükleer santral alanını dezenfekte etmek için kullanılan tonlarca su ve kimyasal maddeyle yıkandı. Olaydan hemen sonra, nükleer santralin soğutma havuzunda litre başına on binlerce bekerel radyoaktivite tespit edildi; bunların çoğu, yüzeye çöken ve yavaşça derinliklere batan iyot-131 ve

baryum-140 gibi kısa ömürlü izotoplardı. Bununla birlikte, bu kısa ömürlü radyonüklitler bozunurken ve daha uzun ömürlü izotoplar ve yakıt parçacıkları dip tortularına batarken seviyeler hızla azaldı *(National Academies, n.d.)*.

Bitkiler üzerindeki etkiler - Çernobil felaketinden bitkilerin aldığı dozlar, çeşitli radyonüklitlerin fiziksel özelliklerinden (yani yarı ömürleri, radyasyon emisyonları vb.), kaza anındaki bitki türünün fizyolojik aşamasından ve türün radyonüklitleri kritik bitki dokularına emme eğiliminden etkilenmiştir. Nisan sonlarındaki kaza, bitkilerde hızlanmış büyüme ve üreme dönemine denk gelmiş ve bu da yağışın zararlı etkilerini artırmıştır. Kritik bitki dokularına beta yayan kirliliğin birikmesi, aynı ortamda yaşayan hayvanlardan önemli ölçüde daha yüksek dozlar almalarına neden olmuştur *(Prister et al., 1982)*. Ağaçların kritik kısımlarının aldığı dozun %90'ı, biriken radyonüklitlerden kaynaklanan beta radyasyonundan, %10'u ise gama radyasyonundan kaynaklanmıştır *(Arkhipov et al., 1994)*. Beta radyasyonu ayrıca otsu bitki türü Arabidopsis'in dozunu da etkilemiş ve %82-96 oranında katkıda bulunmuştur. Beta radyasyon bileşeni dikkate alınmadığında, doz-yanıt gözlemlerinde büyük farklılıklar ortaya çıkmıştır *(Grodzinsky et al., 1991)*.

Hayvanlar üzerindeki etkiler - Çernobil felaketinin en gizemli ve kafa karıştırıcı sonuçlarından biri, "bölge" içinde ve çevresinde yaşayan gri kurtların sayısındaki artıştı. Kalan radyoaktif maddenin, bölgede yaşayan yaklaşık 300 kurt ve diğer vahşi yaşam türünü zehirlediği bildirildi. Kamu Yayıncılık Servisi'nin "Radyoaktif Kurtlar" (2011) belgeselinde, iki Alman bilim insanı, kurtların avlanmasından sonra geriye kalan geyik kemiklerini inceledi. İncelenen kemikler ortalama olarak normal miktarın elli katı radyoaktif madde içeriyordu. Bilim insanları endişelendi ve daha fazla bilgi edinmek için araştırma amacıyla kurtları yakalamaya devam etti. Aylarca süren araştırmadan sonra, bilim insanları kurtların sağlıklı ve gelişmekte olduğunu buldu *(Feichtenberger, 2011)*. Başka bir çalışma, farelerde hücresel düzeyde mutasyonlar ve uzun süreli radyasyona maruz kalmanın neden olduğu sorunlar buldu. Fareler ayrıca radyosensitivitede bir artış gösterdi. Çernobil felaketi bu çalışmadan yaklaşık 25 yıl önce meydana geldi *(Pelevina et al., 2011)*.

İnsan etkisi - Kaza anında genç olan ve Belarus, Rusya Federasyonu ve Ukrayna'nın en çok kirlenmiş bölgelerinde yaşayan çocuk ve ergenler arasında tiroid kanseri vakalarında büyük bir artış gözlemlendi. Bu, kazadan sonraki ilk günlerde Çernobil reaktöründen salınan yüksek düzeydeki radyoaktif iyottan kaynaklanmaktadır. Radyoaktif iyot, ineklerin yediği meralarda birikti ve daha sonra süt yoluyla çocuklara geçti. 1992 ile 2000 yılları arasında Belarus, Rusya ve Ukrayna'da 0-18 yaş arası çocuk ve ergenlerde yaklaşık 4.000 tiroid kanseri vakası teşhis edildi; bunların yaklaşık 3.000'i 0-14 yaş arası çocuklarda görüldü. 1986 ile 2002 yılları arasında Belarus'ta Çernobil çocuklarında teşhis edilen 1.152 tiroid kanseri vakasının hayatta kalma oranı %98,8 idi. Sekiz çocuk tiroid kanserinin ilerlemesi nedeniyle, altı hasta ise diğer nedenlerden öldü. Rusya'da bir hasta tiroid kanserinden öldü *(World Health Organization, 2006)*. Radyasyonun nesilden nesile aktarılıp aktarılmadığı henüz net değildi. Ve cevabı bulmak uzun zaman aldı. Dr. Chanock ve meslektaşları, kazadan sonra doğan çocukların ve ebeveynlerinin genomlarını analiz ettiler. Ebeveynler, kazadan sonra enkazı temizlemeye yardım eden ve kaza bölgesine yakın yaşadıkları için tahliye edilen işçilerdi. Her bir kişinin radyasyona maruz kalıp kalmadığını, kirlenmiş süt tüketimini dikkate alarak kontrol ettiler. Ebeveynlerin farklı dozlarda radyasyon aldıkları bulundu. Araştırmacılar ayrıca de novo mutasyonlar olarak bilinen kalıtsal genetik değişiklikleri de belirlediler. De novo mutasyonlar, bir kişinin germ hücrelerinde ortaya çıkan ve yavrularına aktarılabilecek mutasyonlardır *(National Cancer Institute, 2021)*.

Psikolojik etkiler - Psikolojik etkiler çok önemlidir. Bölgede yaşayan insanlar ve çocuklar, tekrarlanan radyasyona maruz kalma nedeniyle travma geçiriyor *(Havenaar et al., 1997)*. Bazı gözlemler, stresin psikolojik bozukluklara neden olduğunu göstermiştir. Bazı insanlar alkol ve sigara bağımlısı oluyor. İntihar, akciğer kanseri ve sirozdan kaynaklanan birçok ölüm var.

Fukushima ve Çernobil: Analizler, Japonya'daki 2011 Fukushima kazasının soğutma sisteminin arızasından kaynaklanan doğal bir felaketten kaynaklandığını, 1986 Çernobil kazasının ise insan faktörlerinden kaynaklandığını göstermiştir.

Her iki kaza da neden mekanizmalarında farklılık göstermektedir. Fukushima kazası, tesise çarpan tsunami dalgalarından kaynaklanmıştır. Sonuç olarak, nükleer yakıtı soğutmak için gerekli sistemler arızalanmıştır. Çernobil kazası ise insan hatasından kaynaklanmıştır. Salınan radyasyon, Fukushima kazasında salınan radyasyonun yaklaşık 10 katıydı *(Nuclear Energy Institute, n.d.)*.

FAKTÖR	ÇERNOBİL	FUKUSHİMA
Kaza yılı	1986	2011
Neden	Teknik ve insan hatası	Tsunami
Yayılan Nükleotidler	I-131, Cs-137, Sr-90	I-131, Cs-137
Tahliye Edilen Nüfus	Yaklaşık 200.000 kişi	Yaklaşık 150.000 kişi
Radyoaktif Madde Yayılımı	Çok yüksek	Düşük
Ölümler	Radyasyon hastalığı	Radyasyon ölümleri düşük

SONUÇ

Çernobil kazası, dünya tarihinin en kötü nükleer kazası olarak kaldı. Radyonüklitlerin yaygın olarak salınması nedeniyle birinci sınıf bir radyolojik kazaydı. Birkaç yüz acil durum çalışanı yüksek dozda radyasyona maruz kaldı ve bunlardan yaklaşık 50'si radyasyon hastalığı ve sonuçlarından öldü. Toplamda, kazadan etkilenen 600.000 kişiden yaklaşık 4.000'inin erken ölümüne neden oldu. Radyasyondan etkilenen bir diğer grup ise radyoaktif iyotla kirlenmiş süt tüketen çocuklar ve ergenlerdir. 1992-2003 yılları arasında 4.000 tiroid kanseri vakası tespit edildi ve bunların %99'u başarılı bir şekilde tedavi edildi. Alınan önlemler sonucunda, çevredeki radyasyon seviyesi 1986'dan bu yana birkaç yüz kat azaldı. Kaza, sadece ciddiyeti nedeniyle değil, özellikle iyonlaştırıcı radyasyonun varlığı nedeniyle de nüfus üzerinde önemli bir etkiye sahipti. Bu olay sadece ciddi sağlık sorunlarına, endüstriyel ve ekonomik hasara neden olmakla kalmadı. Ayrıca sosyo-ekonomik bozulmaya, psikolojik strese ve intiharlara da yol açtı.

KAYNAKLAR

ANNENKOV BN. and AVERIN VS. Organisation de l'agriculture dans les districts contaminés (radionucléides dans les produits alimentaires). Propilei, 2003.-111p. Ouvrage traduit du russe au français par A. Shevchenko en 2009.

Arkhipov NP, Kuchma ND, Askbrant S, Pasternak PS, Musica VV. Acute and long-term effects of irradiation on pine (Pinus silvestris) stands post-Chernobyl. Sci Total Environ 157:383–386; 1994.

Belli M, Tikhomirov F (eds) (1996) Behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments. European Commission, Directorate General XII: Brussels, EUR-16531 EN

BOGDEVITCH I. The Management of Contaminated Land – Challenges in Belarus following the Chernobyl Accident. IAEA, 2014.

Feichtenberger, Klaus. (Director). (2011). Radioactive Wolves. [Media]. USA: Public Broadcasting Service Nature.

Grodzinsky D, Kolomiets OD, Kutlakhmedov YuA. Anthropogenic radionuclide anomaly and plants. Kiev: Lybid; 1991 (in Russian).

Havenaar J, Rumyantzeva G, Kasyanenko A, Kaasjager K, Westermann A, van den Brink W, et al. Health effects of the Chernobyl disaster: illness or illness behavior? A comparative general health survey in two former Soviet regions. Environ Health Perspect. 1997;105(suppl 6):1533–1537. doi: 10.1289/ehp.97105s61533.

Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes, Report of the UN Chernobyl Forum, Expert Group "Health". World Health Organization: 2006.

https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs

https://www.nationalacademies.org/read/11318/chapter/7#170

https://www.nei.org/resources/fact-sheets/comparing-fukushima-and-chernobyl
https://www.unscear.org/unscear/en/areas-of-work/chernobyl.html
https://www.cancer.gov/news-events/press-releases/2021/genetic-effects-chernobyl-radiation-exposurem
Morbidity and Mortality Weekly. Annual Summary Report for 1982, Center for Disease Control, Congenital Malformations reported in the Birth Defects Monitoring Program, pp. 84-86.
Nagataki S. Comments: lessons from the international collaboration. In: Yamashita S, Shibata S, Hoshi M, Fujimura K, editors. Chernobyl: Message for the 21st Century. International Congress Series 1234. Amsterdam-London-New York-Oxford-Paris-Shannon-Singapore-Tokyo: Elsevier, 2002:95-102.
Pelevina, I.I. et al. (2011). The Molecular and Cellular Consequences of the Chernobyl Accident. Biophysics, 56.3:577-583.
Prister BS, Shevchenko VA, Kalchenko VA. Genetic effects of radionuclides on agricultural crops. In: Progress of modem genetics. Moscow: USSR Academy of Science; 1982: 138 –148

ZİRAİ DON STRESİNE KARŞI BİTKİSEL TEPKİLERİN DENEYSEL ANALİZİ VE ALGORİTMİK KARAR MODELLEMESİ

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF PLANT RESPONSES TO AGRICULTURAL FROST STRESS AND ALGORITHMIC DECISION MODELING

Kübra YÜZBAŞIOĞLU
Etimesgut Science and Art Center, Student, Ankara-Türkiye
ORCID : 0009-0005-1664-9845

Şirin Demircan YILDIZ
Etimesgut Science and Art Center, Chemistry Teacher, Ankara-Türkiye
ORCID : 0009-0000-4518-5975

ÖZET

Zirai don, bitkilerde hücresel hasara ve bitki ölümüne yol açarak tarımsal üretimde önemli ekonomik ve biyolojik kayıplara neden olan başlıca abiyotik stres faktörlerinden biridir. İklim değişikliğiyle birlikte don olaylarının sıklığı ve şiddetinin artması, don zararına karşı geliştirilen mevcut yöntemlerin etkinliğinin sorgulanmasını gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, don stresine karşı kullanılan bazı biyokimyasal ve bitkisel takviyelerin etkinliği deneysel olarak değerlendirilmiş ve bu uygulamaların yetersiz kaldığı durumlar için meteorolojik verilere dayalı algoritmik bir karar destek yaklaşımı geliştirilmiştir. Araştırmanın birinci aşamasında zararlı olabileceği kanıtlanmış mevcut kimyasal önleyicilere daha doğal alternatifler aranmıştır. Altı ayrı Afrika menekşesine salisilik asit, ıspanak özütü, arpa özütü, çavdar özütü, bitkisel yağ (zeytinyağı) ve bu takviyelerin kombinasyonu yapraktan sprey yardımıyla uygulanmış; bitkiler -1 °C sıcaklıkta sekiz saat süreyle don stresine maruz bırakılmıştır. Deneysel sonuçlar, söz konusu takviyelerin don stresini anlamlı düzeyde engelleyemediğini göstermiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında ilk aşamada denenen takviyelerden verimli bir sonuç alınamadığı için daha teknolojik bir yöntem araştırılmıştır. Yapılan literatür taramaları sonunda etkinliği kanıtlanmış olan yağmurlama sulama tekniği üzerinden bir sistem tasarlanmıştır. Bitkinin don zararına girdiği kritik sıcaklık değeri temel alınarak meteorolojik don uyarıları ve geçmiş sıcaklık verilerini değerlendiren algoritmik bir sulama simülasyonu geliştirilmiştir. Simülasyon, don riski tespit edildiğinde sabit miktarda sulama kararı üreterek önleyici bir yaklaşım sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, zirai donla mücadelede biyolojik uygulamalar ile dijital ve veri temelli yöntemleri bir araya getiren yenilikçi bir model ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Zirai don, bitki, sulama, simülasyon, don stresi.

ABSTRACT

Agricultural frost is one of the main abiotic stress factors causing significant economic and biological losses in agricultural production by leading to cellular damage and plant death. With climate change, the increasing frequency and severity of frost events necessitate questioning the effectiveness of existing methods developed to prevent frost damage. In this study, the effectiveness of certain biochemical and plant-based supplements used against frost stress was experimentally evaluated, and for situations in which these applications proved insufficient, an algorithmic decision support approach based on meteorological data was developed. In the first stage of the research, more natural alternatives were sought to replace existing chemical preventatives that have been proven to be potentially harmful. Salicylic acid, spinach extract, barley extract, rye extract, vegetable oil (olive oil), and a combination of these supplements were applied via foliar spray to six different African violets; the plants were then exposed to frost stress at a temperature of −1 °C for eight hours. Experimental results showed that these supplements were not able to significantly prevent frost stress. In the second stage of the research, since no efficient results were obtained from the supplements tested in the first stage, a more technological method was investigated. Following a review of the literature, a system was designed based on the sprinkler irrigation technique, whose effectiveness has been scientifically proven. An algorithmic irrigation simulation was developed that evaluates meteorological frost warnings and historical temperature data based on the critical temperature at which the plant enters frost damage.

When frost risk is detected, the simulation generates a decision to apply a fixed amount of irrigation, offering a preventive approach. In this respect, the study presents an innovative model that combines biological applications with digital and data-driven methods in the fight against agricultural frost.
Keywords: Agricultural frost, plant, irrigation, simulation, frost stress.

TARİHİ MİRASIN MODERN DİRİLİŞİ: RICHARDSON OLMSTED KAMPÜSÜ'NÜN OTEL HENRY'E DÖNÜŞÜMÜ

THE MODERN RESURRECTION OF HERITAGE: THE TRANSFORMATION OF THE RICHARDSON OLMSTED CAMPUS INTO HOTEL HENRY

Zeynep KEREM ÖZTÜRK
Dr., Istanbul Sabahattin Zaim University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Architecture
ORCID NO: 0000-0001-7691-9126

Esra TOKUÇ
Istanbul Sabahattin Zaim University, Graduate School of Education, Department of Architecture
ORCID NO: 0009-0003-9708-0691

ÖZET

Kentsel dönüşüm, yapıların yenilenmesiyle birlikte toplumsal, kültürel ve mekânsal değişimi de içeren kapsamlı bir süreçtir. Teknolojik gelişmeler, demografik değişimler ve bakım maliyetleri nedeniyle birçok yapı kullanım dışı kalabilmektedir. Tarihi yapılar ise kent belleğinin sürekliliği açısından korunarak çağın ihtiyaçlarına uygun şekilde yeniden işlevlendirilmelidir. Bu süreç, sosyal, kültürel, ekonomik ve ekolojik katkılar sunarken; özellikle ruh sağlığı hastaneleri, sahip oldukları potansiyele rağmen damgalama ve dönüşüm zorlukları nedeniyle geri planda kalmaktadır. Oysa uygun yaklaşımlarla dönüştürüldüklerinde hem geçmişi yaşatmakta hem de bulundukları alanları yeniden canlandırmaktadır.

Bu çalışmada, kentsel dönüşümün genel çerçevesi tanımlanmakta ve buna örnek olarak New York'taki Richardson Olmsted Hastane Kampüsü'nün, Otel Henry'e dönüştürülme süreci ele alınmaktadır. Tarihi bir akıl hastanesinin mimari kimliğini koruyarak konaklama işleviyle yeniden yapılandırılması, özgün bir dönüşüm örneği sunmaktadır. Otel Henry, geçmişin tasarım anlayışlarını yansıtan yapısal niteliklerini koruyarak günümüz gereksinimlerine yanıt veren bir kullanım biçimine dönüştürülmüştür. Çalışma, tarihi ruh sağlığı hastanesinin yeniden işlevlendirilmesinin, kültürel mirasın korunmasını sağlamanın yanı sıra bulunduğu şehrin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısını da desteklediğini vurgulamaktadır. Ayrıca süreçte, yapının özgün mimarisini koruma ile çağdaş ihtiyaçlara uygun hale getirilmesi arasındaki denge ortaya konmaktadır. Bu araştırma, kültürel mirasın yaşatılması, toplumsal katılım ve sürdürülebilir kentleşme bağlamında yeniden işlevlendirmenin sunduğu katkıları incelerken, benzer projelere rehberlik edecek nitelikte bir kaynak sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Kentsel dönüşüm, Richardson Olmsted Kampüsü, Tarihi yapı, Otel Henry, Yeniden işlevlendirme.

ABSTRACT

Urban renewal can be defined as a multifaceted process that involves not only the renovation of buildings, but also broader social, cultural, and spatial transformation. Whilst many structures become redundant due to technological, demographic or economic factors, historic buildings are vital for the sustenance of urban memory and should be adapted to contemporary needs. Despite the evident social, cultural, economic and ecological advantages offered by such projects, historic mental health hospitals are often overlooked due to prevailing stigma and inherent challenges in the process of transformation. However, with the correct approach, it is possible to preserve the past and at the same time reinvigorate the surroundings.

The present study examines the conversion of the Richardson Olmsted Hospital Campus in New York into Hotel Henry, a distinctive example of adaptive reuse. The project demonstrates the transformation of a historic mental hospital into accommodation, a process that involved the preservation of its architectural character while addressing contemporary requirements. The research emphasises the importance of balancing heritage preservation with contemporary adaptation, highlighting how repurposing contributes to cultural continuity, social engagement, and sustainable urban development.

Keywords: Urban renewal, Richardson Olmsted Campus, Historical building, Hotel Henry, Adaptive reuse.

GİRİŞ

Kentsel dönüşüm, mevcut kentsel dokunun fiziksel olarak yenilenmesini, sosyal ve ekonomik boyutlarıyla yeniden ele alınmasını ifade eden kapsamlı bir kavramdır. Farklı uygulama biçimleri olmasına rağmen, bu çalışmada ele alınan dönüşüm anlayışının temelini, yenileme ve koruma odaklı yaklaşımlar oluşturmaktadır. Söz konusu süreç, bir yandan tarihsel ve kültürel mirasın sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik koruma ve restorasyon çalışmalarını diğer yandan ekonomik ve toplumsal gelişimi desteklemeyi amaçlayan yenileme uygulamalarını kapsamaktadır. Yenileme odaklı müdahaleler yıkım gibi daha radikal kararlar olarak; çoğunlukla kentsel yaşam kalitesinin artırılması, ekonomik canlılığın sağlanması ve sosyal yapının güçlendirilmesi hedefleri doğrultusunda şekillenirken; koruma odaklı yaklaşımlar, özellikle tarihi nitelik taşıyan mevcut yapı stokunun iyileştirilmesi ve kentsel kimliğin devamlılığının sağlanması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Bu iki yaklaşımın birlikte değerlendirilmesi, tarihi nitelikli kültürel miras kapsamındaki yapıların gelecek nesillere aktarılarak sürdürülebilirliğine olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda kentsel dönüşüm; mevcut alanların yeniden düzenlenmesi, sağlıklaştırılması, toplumsal yapının güçlendirilmesi, belirli bölgelerin canlandırılması ve farklı işlevler doğrultusunda yeniden yapılandırılması gibi çok yönlü amaçlara hizmet etmektedir (Kerem Öztürk, 2023). Bu süreç, yalnızca fiziksel çevrenin yeniden düzenlenmesiyle sınırlı kalmamakta; aynı zamanda toplumsal yapının ve kültürel mirasın yeniden değerlendirilmesine katkı sağlayarak kent kimliğinin gelecek kuşaklara aktarılmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

Tarihsel ve kültürel mirasa ait olan anıtsal yapılar, geçmişle gelecek arasında köprü kurarak toplumların bu değerleri gelecek nesillere aktarmasını sağlamaktadır. Ancak, birçok tarihi yapı zamanla işlevini yitirmekte, atıl bir şekilde bakımsızlık nedeniyle yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bunun önüne geçmek için kültürel mirasın korunması ve yeniden işlevlendirilmesi, mimarlık ve kentsel planlama alanlarında önemli bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. İnşa edildikleri dönemde o günün gereksinimlerine yanıt veren yapılar ve mekânlar, teknolojik gelişmeler ve değişen yaşam koşullarıyla birlikte birçok faktöre bağlı olarak zamanla işlevsel açıdan yetersiz hale gelmekte ve eskime sürecine girmektedir. Bu nitelikteki yapıların mimari, kültürel ve sosyal değerlerini koruyarak yeni işlevlerle yaşatılması, sürdürülebilir koruma açısından büyük bir fırsat sunmaktadır. Bazı yapılar, özgün işlevlerini süreç içerisinde yitirmiş olsalar da inşa edildikleri dönemin mimari, kültürel özelliklerini yansıtmaya devam ederek varlıklarını korumaktadırlar. Bu durum, tarihi yapıların yalnızca güçlü mimari özellikler taşıyan fiziksel birer nesne olarak değil, aynı zamanda toplumsal belleğin sürekliliğini sağlayan önemli yapıtlar olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu tarz yapılar, işlevsel anlamda eskimesine rağmen, mimari, sosyal ve kültürel açıdan o döneme ait örnekler olarak değer taşıyan kültürel mirasın birer parçasıdır (Çabuk, 2023). Dolayısıyla, söz konusu yapıların özgün kimliklerini bozmadan yeniden işlevlendirilmesi hem tarihsel sürekliliğin sağlanması hem de kentlerin dinamik yapısına katkı sunulması açısından büyük önem taşımaktadır.

Tarihi yapıların korunması, kültürel mirasın canlı tutulmasını ve şehirlerin karakterinin oluşturulmasını desteklemektedir. Ancak koruma anlayışının yalnızca restorasyon çalışmaları ve fiziksel müdahale yöntemleriyle sınırlı kalmaması gerekmektedir. Tarihi ve kültürel yapıların korunarak gelecek kuşaklara aktarılmasında en etkili yöntemlerden biri, bu yapıların yeniden canlandırılarak çağdaş gereksinimlere uygun yeni işlevlerle yaşatılmasıdır (Turanlı & Satıcı, 2021). Bu bağlamda, kültürel değerlerin korunması alanında öne çıkan yaklaşımlardan biri olan yeniden işlevlendirme, bir yapının birçok etkenle özgün işlevini yitirdikten sonra, günün koşullarına göre yeni bir amaca hizmet edecek biçimde uyarlanması sürecini ifade etmektedir. İşlev değişikliği tarihi yapıların özgün dokularını koruyarak çağdaş kullanım gereksinimlerine cevap verebilmesini sağlayan önemli bir müdahale yöntemidir (Ahunbay, 2009). Yeniden işlevlendirme, yeni bir koruma yöntemi değil, uzun bir geçmişi olan ve her dönemde farklı eserlerde uygulanmış olan bir yöntemdir. Tarihin çeşitli dönemlerinde yıkılmış veya zarar görmüş yapılar, o döneme uygun şekilde uyarlanmıştır (Eyüce &Eyüce, 2010). Tarihi yapıların yeni bir işlev kazanması sürecinde, müdahalenin sınırları önceden belirlenmeli ve titizlikle ele alınmalıdır. Yapılacak müdahalelerde, yapının mimari ve estetik özelliklerine zarar verebilecek ve geri dönüşü olmayan değişikliklerden kaçınılmalı, tarihi yapının farklı işlevlere uygun olmasına özen gösterilmelidir. Bu noktada, her tarihi yapı için en uygun işlevin belirlenmesi, yapının özgün kimliğiyle uyumlu olacak şekilde ele alınmalıdır (Uğursal, 2011).

Avrupa'nın kentsel dönüşüm sürecinin ortaya çıkışı ve gelişiminde önemli katkılar sağladığı bilinmektedir. Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında kentlerin merkezleriyle birlikte tüm yerleşim alanlarında meydana gelen yıkımın doğurduğu ihtiyaçlar, zarar gören kültürel mirasın onarılması ve ekonomik çöküş yaşayan bölgelerin yeniden canlandırılması gibi zorunluluklar, kentsel yenileme kavramının önemini ortaya çıkarmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda konu, ilgili çevreler tarafından yoğun biçimde tartışılmaya başlanmıştır. (Özden, 2008). Günümüzde ise bu süreç, sadece savaş sonrası yeniden yapılanma ile sınırlı kalmayıp, değişen kent ihtiyaçlarına yönelik sürdürülebilir bir gelişim modeli olarak benimsenmiştir.

Bu çalışmalar, yalnızca fiziksel değişimle sınırlı kalmayıp aynı zamanda toplumun katılımını, yerel ekonomiyi ve kültürel kimliği de göz önünde bulundurmaktadır. Dolayısıyla, kentsel dönüşüm projelerinde, tarihi dokunun korunması ile çağdaş yaşam ihtiyaçlarının dengeli bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Yapılar, yeni işlevler kazandırılarak kent yaşamına uyarlanırken aynı zamanda kullanıcılar için farklı deneyim alanları yaratılmaktadır. Özellikle otel, kültür merkezi, müze veya eğitim yapısı gibi işlevler kazanan atıl durumdaki tarihi yapılar, toplumla bütünleşerek geçmişin izlerini günümüz yaşamıyla harmanlamakta ve bu binalar ekonomiye geri kazandırılmaktadır. Böylece hem tarihsel süreklilik sağlanmakta hem de ekonomik sürdürülebilirlik açısından önemli kazanımlar elde edilmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Eski akıl hastaneleri, verem sanatoryumları gibi toplumsal damgalama taşıyan tarihî sağlık yapılarının korunması ve yeniden işlevlendirilmesi, yalnızca fiziksel bir dönüşüm olmayıp kolektif hafızanın yeniden yorumlanmasını gerektiren bir süreçtir. Bu tür yapılar, geçmişte sağlık, hastalık ve çekince nedeniyle dışlanma gibi eylemlerin mekânsal karşılıklarını barındırmaları nedeniyle, yalnızca mimari miras olarak değil, toplumsal belleğin önemli tanıklık alanları olarak da karşımıza çıkmaktadır. Nitekim 2019 yılında ortaya çıkan ve küresel ölçekte etkili olan COVID-19 salgını sürecinde yaşanan kapanma ve uzun süre dış etkenlerden izole olma deneyimi, sağlık krizlerinin bireysel ve toplumsal hafızada derin izler bıraktığını açık biçimde göstermiştir. Bu durum, benzer şekilde geçmişte yaşanmış hastalık deneyimlerinin de mekânlar aracılığıyla hatırlanmasının ve geleceğe aktarılmasının önemini yeniden gündeme getirmektedir.

Bu bağlamda söz konusu yapılar, çoğu zaman korku ve toplumsal dışlanma ile ilişkilendirilmiş olmalarına rağmen, yeniden işlevlendirme süreçlerinde hassasiyet gerektiren özel bir yaklaşımın benimsenmesini zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla bu tür dönüşümlerde, yalnızca fiziksel koruma değil, aynı zamanda tarihsel bağlamı gözeten, kültürel duyarlılığı yüksek bir yaklaşımın esas alınması büyük önem taşımaktadır.

Bu araştırma, ABD'nin Buffalo kentinde 19. yüzyılda inşa edilen ve uzun yıllar akıl ve ruh hastalıkları hastanesi olarak hizmet veren Richardson Olmsted Kampüsü'nün Otel Henry adı altında yeniden işlevlendirilme sürecini inceleyerek, tarihî yapıların korunması ve çağdaş kullanımlara uyarlanma yaklaşımlarını analiz etmektedir. Çalışma, özellikle toplumsal damgalamanın etkisi altında kalmış tarihî sağlık yapılarının mimari ve kültürel miras bağlamında nasıl değerlendirilebileceğine ve yeni işlevler aracılığıyla nasıl dönüştürülebileceğine ilişkin kapsamlı bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır. Çalışma, şu temel hipotezler üzerine kurulmuştur: Tarihi nitelik taşıyan psikiyatri hastaneleri, günümüz gereksinimlerine uygun yeni işlevlere dönüştürülebilecek önemli mimari ve kültürel değerlere sahiptir. Bununla birlikte, bu yapılar toplumsal damgalanma ve dönüşüm sürecinde karşılaşılan teknik, ekonomik ve işlevsel zorluklar nedeniyle çoğu zaman yeniden kullanım süreçlerinde geri planda kalmaktadır. Ayrıca, bu tür yapıların yeniden işlevlendirilmesine yönelik toplumun bazı kesimlerinde gözlemlenen çekinceli yaklaşımlar da bulunmaktadır. Bu görüşler söz konusu süreçlerin uygulanabilirliğini sınırlayan önemli etkenler arasında yer almaktadır. Oysa uygun koruma stratejileri ve doğru müdahale yöntemleriyle bu yapılar kent yaşamına yeniden entegre edilebilir ve sürdürülebilir karma kullanımlı işlevlerle topluma yeniden kazandırılabilir. Bu hipotezler, Richardson Olmsted Kampüsü'nün Hotel Henry'ye dönüştürülmesi örneği üzerinden değerlendirilmiştir. Tarihi nitelik taşıyan psikiyatri hastaneleri, mimari ve kültürel miras açısından yüksek değere sahip olmalarına rağmen, toplumdaki damgalama ve işlevsel dönüşüm süreçlerindeki zorluklar nedeniyle yeniden işlevlendirme çalışmalarında geri planda kalmaktadır. Ancak uygun koruma stratejileri ve doğru müdahale yöntemleri ile bu yapılar kent yaşamına entegre edilebilir ve sürdürülebilir faydalar üretebilir.

Araştırmanın temel amacı; yapının restorasyon süreci sonucunda kazandığı yeni işlevin fiziksel ve mekânsal yapıya etkilerini ortaya koymak, kültürel mirasın korunması ile çağdaş kullanım arasında kurulan dengeyi ve bu sürecin toplumsal katılım ile sürdürülebilir kentleşme açısından ne tür bir işleyişe sahip olduğunu açıklamaktır.
Araştırma kapsamında, Otel Henry'de gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları ve bu süreçte benimsenen ilkeler ile müdahale nedenleri incelenmiştir. Yapının yeni işlevi doğrultusunda kullanım biçimi değerlendirilmiş; yapılan işlev değişikliğinin tarihi dokuyla ve günümüz yaşam dinamikleriyle uyumluluğu ele alınarak, gelecekteki araştırmalara referans olacak bir belge oluşturulması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, araştırmada nitel yöntem benimsenmiş olup, veri toplama sürecinde literatür taraması, mimari raporlar, eski ve yeni fotoğraflar ile plan analizleri kullanılmıştır.
Richardson Olmsted Kampüsü örneği özelinde yürütülen inceleme aracılığıyla tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesinin sosyal, kültürel ve ekonomik boyutları sorgulanmakta ve bu sürecin benzer projelere referans oluşturabilecek biçimde belgelenmesi amaçlanmıştır. Böylece, kültürel mirasın çağdaş yaşama dahil edilmesine yönelik sürdürülebilir bir yaklaşımın, tarihi hastane yapılarının dönüşüm potansiyeli üzerinden nasıl geliştirilebileceğine dair akademik katkı sunulması hedeflenmiştir. Çalışmanın, benzer nitelikteki projelere rehberlik edebilecek bir kaynak oluşturması ve tarihi yapıların sürdürülebilir şekilde korunmasına ilişkin literatüre katkı sağlayabileceği öngörülmektedir. Bu bağlamda veri toplama süreci, literatür taraması (kavramsal ve kuramsal çerçeve), mimari raporlar, arşiv belgeleri, kullanıcı yorumları, eski ve yeni fotoğraflardan yararlanılmıştır.

RICHARDSON OLMSTED KAMPÜSÜ

Richardson Olmsted Kampüsü, Buffalo kentinin en önde gelen ve göz alıcı ikonik yapılarından biri olarak kabul edilmektedir. Yapının inşası 1872 yılında başlamış ve 1880 yılında Buffalo Akıl Hastanesi olarak faaliyete geçmiştir. Buffalo Akıl Hastanesi, 19. yüzyılın önde gelen tasarımcılarından Frederick Law Olmsted, Henry Hobson Richardson ve Thomas Story Kirkbride'ın iş birliğiyle 1870 yılında Kirkbride Planı'na göre oluşturulmuştur (Şekil 1). Thomas Story Kirkbride 19. yüzyıl Amerikan psikiyatrisinde akıl hastanelerinin mimari tasarımı ve hasta bakımı konusunda çığır açarak, "Kirkbride Planı"nın kurucusu olan Amerikalı bir hekim ve psikiyatristtir. Büyük kırmızı kumtaşı ve tuğladan yapılan bu hastane, o dönemdeki modern ve insancıl psikiyatrik tedavi prensiplerini yansıtarak, psikiyatrik sağlık hizmetlerine dair ileri düzeyde bir proje olarak şekillendirilmiştir (Şifa, 2021).



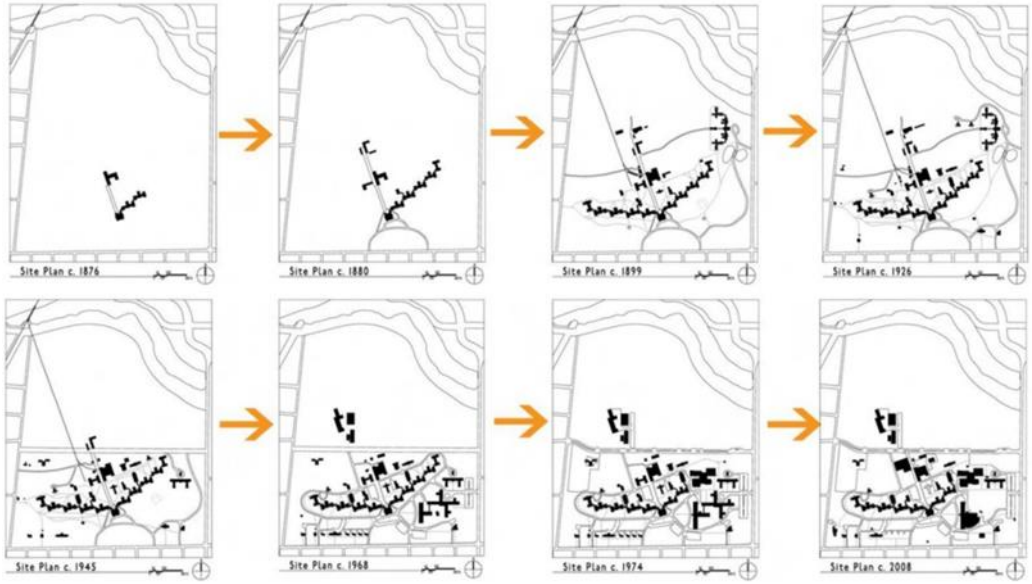
Şekil 1. 20. Yüzyılın Başlarında Merkezi Yönetim Binası (Goody Clancy, 2008)

Peyzaj düzenlemesi Frederick Law Olmsted tarafından planlanmıştır. Olmsted, Amerikalı bir peyzaj mimarı olup, Calvert Vaux ile birlikte New York'ta bulunan Central Park ve Buffalo'nun park düzenlemesini tasarlamıştır. Henry Hobson Richardson ise Amerikalı ünlü bir mimar olarak tanınmış ve Richardson Romanesk Mimari üslubunun öncüsüdür.

Thomas Story Kirkbride ise Amerikalı bir doktor olup, Pennsylvania Akıl Hastanesi'nin yöneticisi, Amerikan Akıl Hastaları Enstitüsü Sağlık Müfettişler Derneği'nin kurucusu ve Amerikan Psikiyatri Birliği'nin başkanı olarak önemli pozisyonlarda bulunmuştur (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a).
Kirkbride Planı, 19. yüzyılın ortalarında Thomas Story Kirkbride tarafından desteklenen bir akıl hastanesi tasarım sistemini ifade etmektedir. Bu plan, merkezden dışarı doğru yayılan, 'yarasa kanadı' tarzında bir kat planına sahip olup, çok sayıda yapının bulunduğu bir düzeni içermektedir. 'Kirkbride Binaları' olarak da bilinen akıl hastaneleri, 19. yüzyılın ortalarından sonlarına kadar Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilmiştir. Kirkbride'ın belirlediği hastane yapıları, akıl hastalarının tedavisi ve iyileşmesine dair teorilerine dayanmakta olup, çevresel faktörlerin; özellikle de doğal ışık ve hava dolaşımının hastaların iyileşme sürecindeki önemine vurgu yapmaktadır (Yanni, 2007).
Hastane kampüsü, bir merkezi idari kuleyi barındıran ve birbirlerine kısa kavisli iki katlı koridorlarla bağlanan toplam on bir yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar, her iki tarafa kademeli bir düzende yerleştirilmiş beş pavyon veya koğuş yapısını içermektedir. Hastaların cinsiyetine göre ayrılmış olup, erkekler doğu bölgesinde, kadınlar ise batı bölgesinde konumlandırılmıştır. Servisler, 1970'lerin ortalarına kadar hastaların barındığı alanlar olarak hizmet vermiştir. Merkezi idari bina ise 1994 yılına kadar ofis olarak kullanılmıştır.

Richardson Olmsted Hastane Kampüsü Tarihçesi

1832 yılında Buffalo'nun hızlı gelişimi, geniş arazilere, dinamik nüfusa, ekonomik zenginliğe, su kaynaklarına yakınlığa ve etkileyici bir eğitim topluluğuna sahip olması, büyük projeler için kapsamlı bir potansiyel sunmuştur. Bu unsurlar, gelecekte inşa edilecek devlet hastanesi için Buffalo'nun cazibesini artırmıştır. Devletin, yeni bir devlet hastanesi projesi için Buffalo'yu tercih etmesi, kentteki bu avantajlı koşulların etkisiyle daha doğal ve kolay bir seçim haline gelmiştir (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Kentin bu avantajlı konumu ve altyapı olanakları, ilerleyen yıllarda önemli mimar ve planlamacıların dikkatini çekmiştir.
1868'de Frederick Law Olmsted, ilk kez 1868'de Buffalo, New York'a ziyaret gerçekleştirmiştir. Calvert Vaux ile birlikte şehir için benzersiz ve büyük ölçekli bir halka açık park sistemi oluşturma misyonunu üstlenmişlerdir. Yaklaşık üç yıl süren bu çabanın ardından Olmsted, gerçekleştirdiği çalışmanın sonucunda Buffalo'yu 'sokakları, kamusal alanları ve arazileriyle, Amerika Birleşik Devletleri'nde en iyi planlanmış şehir' olarak tanımlamıştır. 1869 yılında New York Eyaleti yasama organı, Batı New York bölgesi için yeni bir akıl hastanesi kurulmasına izin vermiştir. Lockport, Batavia, Varşova, Westfield, Mayville ve Buffalo arasında akıl hastanesinin konumu ile ilgili bir rekabet yaşanmış ve her topluluk farklı teşvikler sunmuştur. En sonunda, şehrin hastaneye ücretsiz ve sürekli 'saf Niagara suyu tedariki' garantisini vermesi üzerine Buffalo tercih edilmiştir. Bu tercihte etkili olan diğer faktörlerden biri, Buffalo'nun Batı New York bölgesinde en büyük nüfusa sahip olması ve yakınında bir tıp fakültesinin bulunmasıdır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Proje, Frederick Law Olmsted ve Henry Hobson Richardson'a verilmiştir. Böylelikle, dönemin sağlık ve mimarlık anlayışını yansıtan özgün bir hastane projesinin temelleri atılmıştır.
1871'de Richardson yeni Buffalo Eyaleti Akıl Hastanesi için Kirkbride Tedavi Planına uygun bir mimari plan oluşturmuştur. Bu sistem, huzurlu bir atmosferin çeşitli ruhsal rahatsızlıkları tedavi etmede yardımcı olacağına inanarak, akıl hastalığı olan bireyler için sakin ve havadar bir ortamın oluşturulmasını teşvik etmiştir. Hastanenin inşası 1871'de başlamış ve bir yıl sonra 1872'de temel atma töreni gerçekleştirilmiştir. Ana binaların inşası 20 yıl boyunca devam etmiş ve sonraki yıllarda hastane kampüsüne ek binalar eklenmiştir (Şekil 2). 1880'li yıllarda binaların yarısı tamamlanmış olup, hastaların kabulüne karar verilmiştir ve hastane faaliyetleri başlamıştır. Hastanenin doğu kanadında yer alan 300 hasta kapasitesine sahip beş büyük bina tamamlanmıştır. Batı kanadındaki inşaat, birbirine bağlı beş adet binayı içermektedir ve kaynaklar tamamen sağlanana kadar on yıl ertelenmek zorunda kalınmıştır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a).



Şekil 2. Richardson Olmsted Kampüsü Tarihsel Gelişimi (Goody Clancy, 2008)

Kaynak sorununun aşılmasının ardından devletin sağladığı yeni fon desteği ile inşaat çalışmaları yeniden hız kazanmıştır. Batı kanadındaki yapıların inşası 1889'da başlamış olup sonuç olarak mimar H.H. Richardson'ın 1870'te tasarladığı simetrik plan tamamlanmıştır. Richardson'ın 1886'da vefat etmiş, planın tamamlanışını görememiştir. Hastanenin tüm kanat açıklığı, 1896'da gerçekleştirilen tamamlama çalışmaları sonucunda elde edilmiştir (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Böylelikle 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde, kampüsün fiziksel bütünlüğü büyük ölçüde tamamlanmış ve Buffalo Eyaleti Akıl Hastanesi, dönemin en iddialı sağlık yapılarından biri olarak hizmet vermeye başlamıştır.

1900'lere kadar tedavilerin ilerlemesiyle birlikte hastane genişlemeye devam etmiştir. 1900 ile 1945 arasında, hastane bir dizi genişleme projesine girişmiş ve yeni bir şapel, personel için konutlar, atölye binaları, mesleki terapi merkezleri ve tüberkülozlu hastalar için özel pavyonlar gibi yapılar inşa edilmiştir. 1918'de, hastanenin çatısının tamamı değiştirilerek arduvaz kiremitlerle yeni bir çatı yapılmış ve kulelerin üst kısımları bakır ile kaplanmıştır. Günümüzde, yeşil bakır tepeli kuleler, Buffalo şehri için sembolik bir öneme sahip olmakla birlikte, orijinal yapıya ait değillerdir (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Bu dönemde gerçekleştirilen eklemeler, hastanenin yalnızca tedavi işlevini değil, aynı zamanda bir topluluk yaşam alanı olma özelliğini de güçlendirmiştir.

203 dönümlük alanın, ana binaların kuzeyindeki 100 dönümlük bölümü tarım arazisi olarak ayrılmıştır. Bu aktif çiftlik, 1881'den beri hastanenin gıda ihtiyacını karşılamaktadır ve hastalar, tedavilerinin bir parçası olarak çiftlikte çalışma fırsatına sahiptir. Ancak, yıllar içinde çiftlikten elde edilen verimlilik azalmıştır ve ulaşım olanaklarının gelişmesiyle dış kaynaklardan taze ürünler temin edilebilir hale gelmiştir. New York Eyaleti, arazinin kuzey yarısını Buffalo şehrine satmıştır. Bu alan şu anda Buffalo Eyalet Üniversitesi kampüsü olarak kullanılmaktadır. Yıllar içinde ruh sağlığı tedavisinin değişmesiyle alan 1927 yılında yarıya düşürülmüştür. Bu sayede kampüsün kuzeyinde bulunan Buffalo Devlet Koleji genişleme imkânı bulmuştur (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Alan kullanımındaki bu değişim, bir yandan sağlık politikalarındaki dönüşümü yansıtırken diğer yandan kentin akademik altyapısının gelişmesine olanak tanımıştır.

1950 yılına gelindiğinde, hastane toplam hasta sayısında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Ancak takip eden on yıl içinde, ilaçların gelişimi ve hastaların taburcu edilmesiyle birlikte hastane, hasta sayısında giderek azalmaya başlamıştır. 1963 yılında Başkan Kennedy tarafından yasalaştırılan Toplum Ruh Sağlığı Yasası, ülke genelinde yeni toplum ruh sağlığı merkezlerinin oluşturulmasını öngörmüştür. Bu merkezlerin, hastalara daha iyi hizmet sunması amacıyla büyük devlet psikiyatri hastanelerinin yerini alması hedeflenmiştir. Toplum Ruh Sağlığı Yasası'nın, daha etkili psikotrop ilaçlar ve yeni psikoterapi tedavileriyle birleşmesi sonucunda, birçok hastanın devlet hastanelerinden taburcu edilmesiyle neticelenmiştir. 1968 yılında, Hastane, modern bir rehabilitasyon binası inşa etmek adına orijinal Richardson tasarımına ait en doğudaki üç binayı yıkmıştır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a).

Dolayısıyla, 20. yüzyılın ikinci yarısında kampüs, giderek artan modernleşme baskıları ve değişen sağlık anlayışı nedeniyle özgün yapısında ciddi değişiklikler yaşamıştır.
1970'li yıllarda hasta nüfusundaki azalma ve devasa tarihi binaların bakım zorlukları, geriye kalan tüm hastaların daha modern tesislere nakledilme kararını beraberinde getirmiştir. Bu süreç dört yıl boyunca devam etmiştir ve 1974'te son hastalar, 1965'te yeni bir Resepsiyon ve Yoğun Tedavi Binası olarak inşa edilen Strozzi Binasına taşınmıştır. (Şekil 3). Merkezi Yönetim Binası ise 1990'lı yıllara kadar ofis olarak kullanılmış olup, yan binalar terkedilmiş ve boş bırakılmıştır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Dolayısıyla, 1970'li yıllardan itibaren kampüs, sağlık işlevinden çok mimari mirasıyla anılmaya başlanmıştır.



Şekil 3. Richardson Bina Kompleksi ve Strozzi Binası (Goody Clancy, 2008)

Kampüs, 1973'te Ulusal Tarihi Yerler listesine dahil edilmiş ve 1986 yılında Ulusal Tarihi Kent Simgesi unvanını almıştır. 2006 yılında, dönemin Valisi George Pataki, Richardson Olmsted Kampüsü'nün Ulusal Tarihi Kent Simgesi statüsünde olan yapısını korumak amacıyla devlet fonları tahsis etmiştir ve bu konuda Richardson Merkezi Şirketi Yönetim Kurulu'na yetki vermiştir (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Tarihsel mirasın korunması için atılan bu adımlar, kampüsün tamamen işlevsiz hale gelmesini önlemiş ve yeniden kullanım potansiyelini gündeme taşımıştır.
Richardson Merkez Şirketi güney peyzajını düzenlemiş, kampüs binalarını sağlamlaştırmış ve bir ana plan hazırlamıştır. Bu plan, Richardson Olmsted Kampüsü'nün yeniden canlandırılması için kısa ve uzun vadeli yeniden işlevlendirme stratejileri üzerine bir rehber sunmuştur. Akıl hastanesi eski işlevini kaybetmiş olsa da günümüzde New York Eyaleti Ruh Sağlığı Ofisi'nin yönettiği Buffalo Psikiyatri Merkezi'nde hizmet vermeye devam etmektedir. Kampüsün kuzeydoğusundaki 7 dönümlük alanda ise Buffalo New York Eyalet Üniversitesi tarafından işletilen, Batı New York'un sanatçılarına adanmış tek müze olan Burchfield Penney Sanat Merkezi bulunmaktadır (Şifa, 2021).
Sonuç olarak, Richardson Olmsted Kampüsü, 19. yüzyılın sağlık ve mimarlık anlayışını yansıtan bir yapı kompleksi olarak doğmuş, 20. yüzyılda değişen tedavi yaklaşımları ve kentleşme dinamikleriyle dönüşüme uğramış, günümüzde ise hem bir kültürel miras alanı hem de kentsel belleğin önemli bir parçası haline gelmiştir. Bu çok katmanlı tarih, kampüsün toplumsal ve mimari gelişimlerin bir aynası olduğunu göstermektedir.

Richardson Olmsted Kampüs Binalarının Mimari Özellikleri ve Dönüşüm Öncesi Durumu
İdari Bina
Kampüsün merkezinde yer alan ve iki kuleli tasarımıyla dikkat çeken yönetim binası, bölgenin en ikonik yapılarından biridir. Yapı, yığma taş duvarlara ve ahşap çerçeveli bir çatı sistemine sahip olup, dört katlıdır. Binanın her iki yanında bulunan kuleler, 180 metre yüksekliğinde olup tamamen süs amacıyla inşa edilmiştir. Bina cephesinde kesme Medine kumtaşı kullanılmış ve taşlar rastgele bir desen oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. Dış cephe, zamanla meydana gelen kısmi bozulmalar ve yapısal hasarlar dışında büyük ölçüde korunarak günümüze ulaşmıştır. Mimari açıdan dikkate değer unsurlar arasında dik eğimli piramidal çatılar, güney cephesindeki kemerler, pencere açıklıklarında basık kemerler, kornişler ve süsleme detayları bulunmaktadır. Ayrıca, yapının ön girişinde tonozlu bir geçiş tasarlanmış olup, bu özgün mimari öğeler yapının tarihi kimliğini yansıtmaktadır (Goody Clancy, 2008).

1918 yılında, hastanenin çatısı tamamen yenilenerek arduvaz kiremitlerle kaplanmış, kulelerin üst kısımları ise bakır malzeme ile kaplanmıştır. Günümüzde, yapı üzerinde yeşil bakır kaplı kuleler bulunmaktadır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Çatı drenaj sisteminde meydana gelen sızıntıları önlemek amacıyla, oluklar birçok kez membran malzeme ile kaplanmıştır. Kuleler arasındaki düz çatı ise sac çatı kaplama membranı ile örtülmüş olup, orijinal kaplama malzemesinin bakır veya kalay metal levha olduğu tahmin edilmektedir. Yapının orijinal ahşap pencerelerinin büyük bir kısmı korunarak günümüze ulaşmıştır (Şekil 4). Ayrıca, birinci katta bulunan dekoratif taş şömine, ahşap merdiven ve doğramalar, panjurlar ile dekoratif sıva elemanlarının büyük bölümü sağlam durumdadır. Ancak, iç mekânda meydana gelen hasarın büyük bir kısmı su sızmaları ve duvarlardaki nem doygunluğundan kaynaklanmaktadır. Nem oranının yüksek olması, sıva ve boya yüzeylerinin hızla bozulmasına neden olmuş, böylece yapının iç mekân dokusunun korunmasını zorlaştırmıştır (Goody Clancy, 2008).



Şekil 4. Günümüze Ulaşan Ahşap Merdivenler (Goody Clancy, 2008)

Richardson ‘un ilk çalışmalarından biri olan bu bina, giriş holündeki süssüz kubbeli yarım yuvarlak kemerler ve ağır iskeleler gibi birçok özelliği Richardson karakterini taşımaktadır. Romanesk kütle, sade, dekore edilmemiş bir cepheyle çevrelenmektedir (Tenberke, 2017). Yapılan dönüşümle birlikte içerisinde mimarlık galerisi, konferans odası, balo salonu ve Otel Henry’e ait resepsiyon bulunmaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. Dönüştürülen Hastane Yapısı Kesiti (Şifa, 2021)

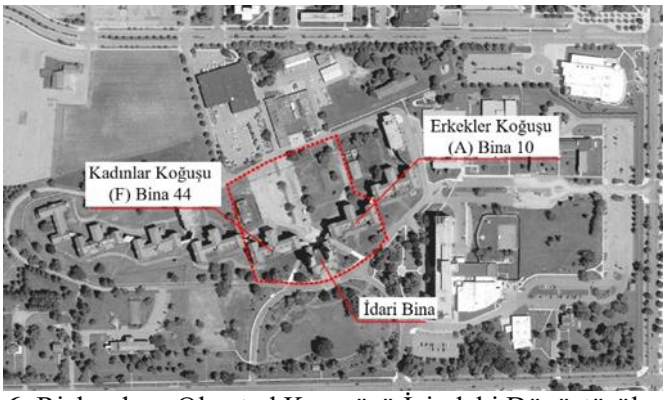
Erkekler koğuşu A (Bina 10)

Erkekler Koğuşu binası, bodrum katı, çatı katı ve üç normal kattan oluşan, taş cepheli ve yığma yapı sistemine sahip bir yapıdır. Çatı kaplaması asfalt shingle malzeme ile yenilenmiş olup, çatı strüktürü ahşap makas kirişlerden oluşmaktadır ve ön yüzü ahşap kaplama ile tamamlanmıştır. Tavan taşıyıcı sistemi ahşap kirişlerden oluşmakta olup, binanın yapısal özellikleri büyük ölçüde korunmuştur (Goody Clancy, 2008). Bu bağlamda yapı, dönemine özgü malzeme tercihleri ve inşa teknikleriyle dikkat çeken, sağlam bir strüktürel bütünlüğe sahiptir.

Dış cephe tasarımında, dekoratif desenler oluşturmak amacıyla kırmızı Medine taşı ve sarı kumtaşı kullanılarak kontrast bir görünüm elde edilmiştir.

Bu binaya özgü mimari detaylardan biri de saçak kornişlerinde yer alan oyulmuş braketlerdir. Yapının cephesinde 1990'lara kadar varlığını sürdüren demir sundurmalar, bu dönemde gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları kapsamında kaldırılmıştır (Goody Clancy, 2008). Böylece cephe, tarihsel dokusunu korurken daha sade bir görünüm kazanmıştır.
İç mekân düzenlemeleri 1989-1992 yılları arasında yapılan müdahalelerle büyük ölçüde yenilenmiştir. Bu süreçte, orijinal mimari unsurların bir kısmı korunarak iç mekânda ahşap kapılar kullanılmıştır. Erkekler Koğuşu binasında günümüze ulaşan mimari ve yapısal özelliklerin önemli bir bölümü, 1990'lı yıllarda gerçekleştirilen tadilat çalışmalarıyla şekillenmiştir (Goody Clancy, 2008). Bu durum, yapının tarihsel süreç içerisinde farklı dönemlerin müdahalelerini barındıran katmanlı bir kimliğe sahip olmasına yol açmıştır.

Kadınlar koğuşu F (Bina 44)
Kadınlar Koğuşu binası, bodrum katı, çatı katı ve üç normal kattan oluşan, taş cepheli ve yığma yapı sistemine sahip bir yapıdır. Çatı katı cephesinde kör nişler ve baklava desenli dekoratif taş oymalar bulunmakta olup, kampüsteki diğer yapılarda olduğu gibi pencere üstlerinde basık kemer formlu süslemeler ve ahşap doğramalar bu yapıda da devam etmektedir. Yapının cephesinde, 2002 yılına kadar demir sundurma bulunmuş, önceki dönemlerde ise ahşap bir sundurmanın var olduğu belirtilmiştir. Ancak, bu sundurmalar günümüzde mevcut değildir. Çatı kaplaması asfalt shingle malzeme ile yenilenmiş olup, tavan taşıyıcı sistemi ahşap kirişlerden oluşmaktadır. Yapı genel olarak iyi durumda olup, orijinal mimari unsurlarını büyük ölçüde korumaktadır. Yapıya özgü dikkat çekici mimari elemanlar arasında, merkez salonda yer alan dekoratif alçı pervazlar, iki adet taş ve tuğladan yapılmış dekoratif şömine ile bir odada bulunan dökme demir sütunlar bulunmaktadır. Bu unsurlar, yapının tarihi ve estetik değerini vurgulayan özgün özellikler arasında yer almaktadır (Goody Clancy, 2008). Kadınlar Koğuşu binası, Erkekler Koğuşu ve İdari Bina ile birlikte kampüsün önemli yapılarını oluşturmakta olup, Şekil 6'da kampüs içindeki dönüştürülen alanın genel görünümü sunulmaktadır.



Şekil 6. Richardson Olmsted Kampüsü İçindeki Dönüştürülen Alan

Richardson Olmsted Kampüsü'nün Önemi
Amerika Birleşik Devletleri'nde bir bina veya alan 50 yaşında veya daha eskiyse tarihi bir yapı olarak değerlendirilebilmektedir. Bu bağlamda, Richardson Olmsted Kampüsü, sahip olduğu mimari ve tarihi özellikler nedeniyle bu kategoriye girmektedir. ABD'de bir yapının Ulusal Tarihi Yapılar Listesi'ne dahil edilmesi için belirli kriterler göz önünde bulundurulmaktadır. Bunlar arasında:
ABD tarihine önemli katkılarda bulunan olaylarla ilişkili olması,
- Tarihte önemli bir rol oynayan kişilerin yaşamıyla bağlantılı olması,
- Bir dönemin, yapı türünün veya yapım yönteminin ayırt edici özelliklerini taşıması,
- Yüksek sanatsal değere sahip olması veya önemli bir ustanın eseri olması,
- Tarihi veya tarih öncesi dönemlere ait önemli bilgiler sunması ya da sunma potansiyeli taşıması yer almaktadır (Zullo, 2022).

Richardson Olmsted Kampüsü, yukarıdaki kriterlerin birçoğunu karşılayarak tarihi ve kültürel önemi yüksek bir yapı kompleksi olarak değerlendirilmektedir. Kampüs, 19. yüzyılda hastane yapılarında baskın olan "Kirkbride Planı" tipolojisini temsil eden özgün mimari özelliklere sahiptir.

Aynı zamanda, Romanesk mimari unsurlarını barındırması, Amerika Birleşik Devletleri'nde ruh sağlığı tedavisinin evrimini yansıtması ve bu alandaki reform hareketlerine örnek teşkil etmesi, yapıyı daha da önemli hale getirmektedir. Bunların yanı sıra, kampüsün tasarımı 19. yüzyılın önde gelen Amerikalı mimarlarından biri olarak kabul edilen Henry Hobson Richardson ile ünlü peyzaj mimarı Frederick Law Olmsted tarafından gerçekleştirilmiştir. Richardson'un Romanesk mimarisi üzerindeki etkisi ve Olmsted'in peyzaj tasarımına getirdiği yenilikler, kampüsün yalnızca bir sağlık tesisi olarak değil, aynı zamanda Amerikan mimarlık ve peyzaj tasarımı tarihindeki önemli dönüm noktalarından biri olarak değerlendirilmesini sağlamaktadır. Bütün bu özellikleriyle Richardson Olmsted Kampüsü, mimari mirasın korunması, adaptif yeniden kullanım stratejileri ve kültürel sürdürülebilirlik açısından önemli bir referans noktası oluşturmaktadır.

KÜLTÜREL MİRASIN KORUNMASI VE YENİDEN İŞLEVLENDİRİLMESİ

Koruma ve Dönüşüm Sürecinin Amacı

Richardson Olmsted Kampüsü'nün otel olarak yeniden işlevlendirilmesi, tarihi ve mimari mirasın korunarak gelecek nesillere aktarılması amacına dayanmaktadır. Kampüsün ikonik mimarisi ve kültürel önemi, uyarlanabilir yeniden kullanım sürecinde belirleyici bir faktör olmuştur.

Richardson Olmsted Kampüsü'nün bir parçası olan eski akıl hastanesinin Hotel Henry olarak yeniden işlevlendirilmesi, kültürel mirasın sürdürülebilir bir şekilde kullanılması, korunması ve topluma kazandırılması hedefiyle gerçekleştirilmiştir. Bu dönüşüm sürecinde, yapının mimari ve kültürel değerlerinin korunması öncelikli hedef olarak belirlenmiştir. Projeyi yürüten mimarlık firması, yapının tarihsel kimliğini muhafaza ederken, çağdaş kullanımlara uyum sağlayacak bir dönüşüm gerçekleştirmeyi amaçlamıştır. Bu bağlamda, mimarlık şirketi müdürü Stephen Brockman, dönüşüm sürecinde temel amacın binaların mimarisine saygı göstermek ve özgün unsurlarını vurgulamak olduğunu ifade etmiştir (Cogley, 2017).

Gerçekleştirilen restorasyon çalışmaları, orijinal tasarımın ve tarihi detayların korunmasını temel almış ve yapı, yalnızca fiziksel bir dönüşüme uğramamış, aynı zamanda kamusal, kültürel ve ekonomik işlevleri bir araya getiren bir mekâna dönüştürülmüştür. Kampüs içerisinde yer alan hastane kompleksine ait bu yapının otel konseptine uygun hale getirilmesi, yalnızca tarihi bir yapının muhafazasını değil, aynı zamanda bu yapının günümüz toplumsal ihtiyaçlarına entegre edilmesini de hedeflemiştir. Yeni kullanım senaryosu hem geçmişin izlerini taşıyan hem de modern gereksinimlere cevap veren bir alan yaratılması açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Dönüşüm projesi, yerel toplumun tarihî mirasıyla daha güçlü bir bağ kurma hedefini taşımaktadır. Hotel Henry, yalnızca ziyaretçilere ve yerel sakinlere tarihî bir deneyim sunmakla kalmayıp, aynı zamanda çeşitli kültürel etkinlikler aracılığıyla toplumsal etkileşimi teşvik eden bir merkez haline gelmeyi hedeflemiştir.

Richardson Olmsted Kampüsü'nün yeniden işlevlendirilmesine yönelik ilk adım, yapıların fiziksel sağlamlığını artırmak olmuştur. 2008 yılında başlatılan çalışmalar kapsamında, Richardson Merkez Şirketi dört yıl boyunca ayrılan 10 milyon dolarlık fonu, çökme riski taşıyan bölgelerin güçlendirilmesi, çatıların onarılması, kırık pencerelerin tamiri, yeni dış aydınlatmaların düzenlenmesi ve güvenlik ile havalandırma sistemlerinin kurulması için kullanmıştır. En ciddi hasara sahip binalarda yapısal iyileştirmeler gerçekleştirilmiş, çevrede kamusal kullanımı teşvik edecek düzenlemeler yapılmıştır. Bu doğrultuda, çevreye çitler ve aydınlatmalar eklenmiş, Güney çimenliği yenilenmiş ve alanın güvenliği artırılmıştır. Ayrıca, kampüs peyzajının canlandırılması amacıyla 125 yeni ağaç dikilmiştir. Bu süreçte, hastane kampüsünün yeniden geliştirilmesi aktif bir kamusal katılım süreciyle ilerlemiştir. Kâr amacı gütmeyen Richardson Merkez Şirketi, alanı daha erişilebilir ve kamusal kullanıma uygun bir hale getirmeyi hedefleyerek restorasyon sürecini toplumun beklentileri doğrultusunda şekillendirmiştir. 2012 yılında tamamlanan bu çalışmalar, tarihi yapıları koruyarak çağdaş işlevlere uyum sağlamalarını amaçlayan sürdürülebilir bir dönüşüm modeli sunmuştur (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a).

İşlev Değişikliğinin Nedenleri

Richardson Olmsted Kampüsü'nde gerçekleştirilen işlev değişikliği, birden fazla önemli faktör doğrultusunda şekillenmiştir. Öncelikli neden, yapının tarihî ve kültürel değerinin korunması gerekliliğidir. 19. yüzyılda inşa edilen ve Romanesk mimari tarzının önemli bir örneği olarak kabul edilen bu kampüs, uzun yıllar boyunca kullanılmaması nedeniyle fiziksel bozulma riski taşımaktaydı.

Yıkılma tehdidine karşı, yapının korunması ve yeniden işlevlendirilerek sürdürülebilir bir kullanım alanına dönüştürülmesi zorunlu hale gelmiştir.
Bir diğer önemli etken, ekonomik sürdürülebilirlik ihtiyacıdır. Uzun süre âtıl durumda kalan yapıların bakım ve onarım maliyetleri giderek artmış, bu da mevcut finansal kaynaklarla yapının korunmasını zorlaştırmıştır. Kampüsün yeniden kullanımı, bakım maliyetlerini karşılamak ve yapının kendi kendini finanse edebilir hale gelmesini sağlamak amacıyla planlanmıştır.
Çevresel ve kentsel dönüşüm gereklilikleri de işlev değişikliği sürecinde etkili olan önemli unsurlar arasında yer almıştır. Mevcut yapı stoğunun korunarak yeniden değerlendirilmesi, yıkım yerine dönüşüm odaklı bir koruma yaklaşımı çerçevesinde ele alınmıştır. Yapının çevresinde gerçekleştirilen peyzaj düzenlemeleri ile ekolojik planlama kararları, alanın çağdaş kullanım gereksinimlerine uyum sağlayabilmesi açısından gerekli görülmüştür.
Bunun yanı sıra, kampüsün uzun süre kullanım dışı kalmasının beraberinde getirdiği güvenlik ve altyapı sorunları da yeniden işlevlendirme kararında belirleyici etkenlerden biri olmuştur. Bakımsızlık nedeniyle ortaya çıkan fiziksel bozulmalar ile güvenlik riskleri artmış, yapının korunması ve kontrollü bir biçimde yeniden işlevlendirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Tüm bu etkenler doğrultusunda, kampüsün yeni bir işleve kavuşturulması yalnızca tercih edilen bir yaklaşım değil, aynı zamanda kaçınılmaz bir koruma ve dönüşüm kararı olarak ortaya çıkmıştır.

Akıl Hastanesinden Otele Dönüşüm

5 Ocak 2013 tarihinde, Richardson Olmsted Kampüsü'nün üçte birini kapsayan ilk aşama yeniden işlevlendirme planları açıklanmıştır. Bu kapsamda, kule binası ve ona bitişik iki yapı, Hotel Henry Urban Resort Konferans Merkezi, otel bünyesindeki mutfaklar ve Lipsey Buffalo Mimarlık Merkezi olarak dönüştürülmüştür. Alanın restorasyon sürecinde, yapıların işlevleri birbiriyle uyumlu olacak biçimde yeniden kurgulanmış; bu doğrultuda otel, konferans merkezi ve mimarlık merkezi arasında bütüncül bir kullanım senaryosu öngörülmüştür. Böylece kampüs içerisinde farklı işlevlerin birbirini desteklediği, iç içe geçmiş mekânsal bir organizasyon oluşturulmuştur. İlk etap 2016 yılında tamamlanmış olup, hastane kampüsünün yeniden işlevlendirilme sürecinin temel bileşenlerini Hotel Henry Konferans Merkezi ile Lipsey Buffalo Mimarlık Merkezi oluşturmuştur.
Otelin, bölgenin kültürel turizminde önemli bir odak noktası haline gelmesi amaçlanarak, ikonik kulelerin yer aldığı ana yapı ve ona bitişik binalar bu dönüşüm sürecine dahil edilmiştir. Ayrıca, Hotel Henry Konferans Merkezi bünyesinde '100 Acres' adlı bir restoran da yer almakta olup hem otel konuklarına hem de ziyaretçilere hizmet vermektedir. Hotel Henry ve 100 Acres, Mayıs 2017'de halka açılmıştır (Şifa, 2021; Richardson Olmsted Campus, t.y.-a). Yenileme çalışmaları, Richardson Romanesk tarzının karakteristik özelliklerini koruyarak gerçekleştirilmiştir. Kampüsün ön plana çıkan mimari yapısı, rustik taş işçiliği ve tuğla duvarlarıyla dikkat çekmektedir. Ana yapının ikonik öğeleri arasında, konik çatı başlıklarına sahip iki büyük kule yer almaktadır (Cogley, 2017).
Yeniden işlevlendirme süreci, modern tasarım anlayışı ile Olmsted'in peyzaj tasarım ilkelerini bir araya getiren kapsamlı bir restorasyon çalışmasını içermektedir. Kampüsün ilk tasarımında, Calvert Vaux ve Frederick Law Olmsted tarafından pastoral çevrenin akıl hastaları üzerindeki iyileştirici etkisi göz önünde bulundurularak oluşturulan peyzaj düzenlemesi, Uluslararası tanınırlığa sahip ekolojik peyzaj mimarlığı ve planlama şirketi olan Andropogon firması tarafından yeniden ele alınmıştır (Şifa, 2021). Mevcut ağaçlara ek olarak yeni ağaçlar eklenmiş, yağmur suyu drenaj sistemlerine sahip bahçeler oluşturulmuş ve yapıların etkileyici manzaralarına uygun açık alanlar düzenlenmiştir. Binaların fiziksel iyileştirilmesi kapsamında; çatı onarılmış, su sızıntıları giderilmiş, havalandırma, güvenlik ve yangın alarm sistemleri kurulmuş ve yapıların genel sağlamlığı artırılmıştır. Dış cephede duvarlar ve pencereler tamir edilerek, yapının orijinal karakterinin korunmasına özen gösterilmiştir (Richardson Olmsted Campus, t.y-a.).
İç mekânda ise kanatlı merdivenler, geniş ve aydınlık koridorlar, dekoratif şömine manto parçaları ve korniş pervazları gibi mimari unsurlar orijinal yapıya sadık kalınarak muhafaza edilmiştir (Cogley, 2017). Bununla birlikte yapının hastane konseptinden uzaklaştırılması için tamamen farklı renkler tercih edilmiştir. Mavi ve yeşil tonlarının kullanımı en aza indirilerek, genel olarak beyaz tonları tercih edilmiş ve böylece ferah bir atmosfer oluşturulması hedeflenmiştir (Kellogg, 2018). Yapının iç mekânındaki dönüşüm süreci Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. 1. Kat Planı Eski ve Yeni Hali (Goody Clancy, 2008; Queenseyes, 2013)

Proje kapsamında, çelik ve camdan oluşan yeni bir giriş pavyonu tasarlanmış olup, bu giriş rehberlik edici bir işlev üstlenmekte ve çevre ile yeni bir bağlantı kurmaktadır (Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus, 2019). Yeni giriş pavyonu, Richardson'ın klasik mimari tarzının aksine çağdaş ve şeffaf bir tasarım dili benimseyerek, eski ve yeni mimari anlayışların uyum içinde buluşmasını sağlamaktadır. 1918 yılında inşa edilen tuğla girişin yerine tasarlanan cam giriş alanı hafif bir giriş formu yaratırken, binanın tarihî dokusuna atıfta bulunmaktadır (Şekil 8).
Giriş alanı içinde, ziyaretçileri otel lobisinin ana katına götüren bir merdiven konumlandırılmıştır. Ayrıca, binanın orijinal medine kumtaşı yeni cam giriş yolundan görülebilir şekilde bırakılarak, mimari detayların korunmasına özen gösterilmiştir (Queenseyes, 2013).



Şekil 8. Dönüştürülen Giriş Alanı (Cogley, 2017)

Hastalar için oluşturulan küçük yatak odaları birleştirerek daha geniş misafir odaları ve süitler tasarlanmıştır. Büyük misafir banyoları, bir zamanlar hastalar için dinlenme alanı olarak hizmet veren geniş koridorlara dolap görünümlü çıkmalar yapılarak oluşturulmuştur. Mobilyalar tarihle kontrast oluşturacak şekilde rahat ve minmal tercih edilmiştir (Kellogg, 2018). Bugünün şartları altında, Richardson Olmsted Kampüsü'nde iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Kampüsteki diğer boş binaların tekrar kullanıma açılması, sanatsal ve kültürel etkinlikler için kiralanması planlanmıştır (Richardson Olmsted Campus, t.y.-a).

Yeniden İşlevlendirmeyle Sağlanan Faydalar

Richardson Olmsted Kampüsü'nün yeniden işlevlendirilmesi, yalnızca tarihî mirasın korunmasını sağlamakla kalmamış, aynı zamanda ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda çeşitli faydalar sunmuştur. Öncelikli olarak, bu dönüşüm süreci, bölgenin ekonomik canlanmasına katkıda bulunmuştur. Kampüsün otel ve konferans merkezi olarak yeniden kullanılması, Buffalo'nun ekonomik kalkınmasını destekleyen bir girişim olarak değerlendirilmiş ve kenti Amerikan tasarımının önemli bir merkezi konumuna taşımıştır (Broome, 2017). Bu süreç, turizm sektörünü canlandırarak, yerel işletmelere ve ticari faaliyetlere olumlu yansımalar sağlamıştır.

Otelin tarihî bir yapıda konumlanması, mimari ve kültürel mirasa ilgi duyan turistler için cazip bir destinasyon haline gelmesini sağlamış ve bölgeye olan ziyaretçi akışını artırmıştır. Bu durum, sadece otel işletmesine değil, aynı zamanda çevredeki mağazalara, restoranlara ve diğer turistik mekanlara da ekonomik katkı sağlamıştır. Otelin yenilenmesi ve işletmeye açılması, yerel halk için istihdam fırsatları yaratmış, bölgedeki iş gücüne doğrudan ve dolaylı olarak katkıda bulunmuştur (Richardson Olmsted Campus, t.y-b.).

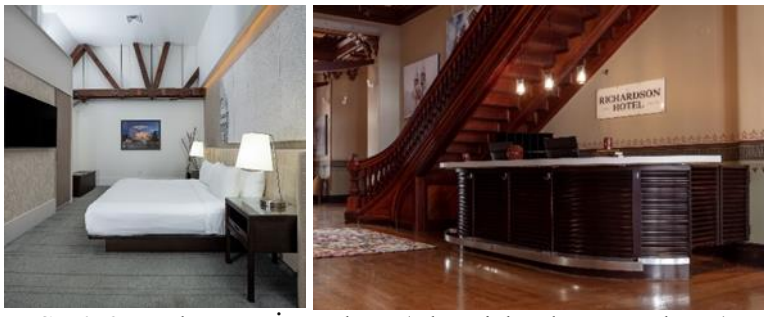
Bununla birlikte, kampüsün etkinlikler, konferanslar ve özel günler için bir merkez haline gelmesi, bölgeye ulusal ve uluslararası düzeyde ziyaretçi çekmiş, böylece ekonomik etkiler kampüs sınırlarının ötesine taşınmıştır. Konferans ve etkinlikler için gelen misafirlerin, otel dışındaki diğer konaklama, yeme-içme ve alışveriş hizmetlerine de talep yaratarak yerel ekonomiyi desteklediği düşünülmektedir. Bu dönüşüm, bölgenin ekonomik yapısını güçlendiren ve sürdürülebilir bir kalkınma modeli sunan önemli bir girişim olmuştur.

Ekonomik katkılarının yanı sıra, bu dönüşüm süreci tarihî mirasın korunmasını da sağlamış, böylece yapı sadece fiziksel olarak değil, işlevsel olarak da sürdürülebilir hale getirilmiştir. Kampüs, geçmişin izlerini koruyarak geleceğe taşıyan, aynı zamanda çağdaş ihtiyaçlara yanıt veren bir mekâna dönüşmüştür. Böylece, yalnızca bir yapı korunmakla kalmamış, ekonomik kalkınma, kültürel mirasın devamlılığı ve sürdürülebilir şehircilik anlayışını bir araya getiren bütüncül bir yaklaşım hayata geçirilmiştir.

OTEL HENRY'NİN MEKANSAL ÖZELLİKLERİ VE İŞLEVSEL HİZMETLERİ

Otel Henry, New York Buffalo'da bulunan Richardson Olmsted Kampüsü'nde gerçekleşen bir dönüşüm projesi olarak, tarihi bir yapıyı koruma ve toplumun kültürel mirası üzerinde sürdürülebilir bir etki yaratma amacını taşımaktadır. Bu dönüşüm süreci, bir akıl hastanesinin işlevinden çıkartılıp bir otel konseptine dönüştürülmesini içermektedir. Dönüşüm sürecinde rol alan mimarlık şirketinin yaptığı açıklamada "Proje, uzun süredir terk edilmiş bir mimari şahesere yeni bir hayat getiriyor." denmiştir (Cogley, 2017).

Otel Henry, 88 odasıyla misafirlerine modern konforu tarihi bir atmosferde konaklama deneyimi sunmaktadır. Bu, tarihi dokusunu koruyarak ve modern olanaklarla birleştirerek öne çıkan bir konsept ve deneyimdir (Şekil 9). Otel, farklı konaklama ihtiyaçlarına cevap verecek şekilde çeşitli oda seçenekleri sunmaktadır. Standart odalardan süitlere kadar farklı kategorilerde konaklama imkanları mevcuttur. Otel Henry; iş toplantıları, konferanslar ve düğün, davet gibi özel etkinlikler için kullanılabilecek geniş ve modern alanlara sahiptir. Bu alanlarda tarihi doku ve modern tasarımlar görülmektedir. Otel bünyesinde restoran ve bar da bulunmaktadır.



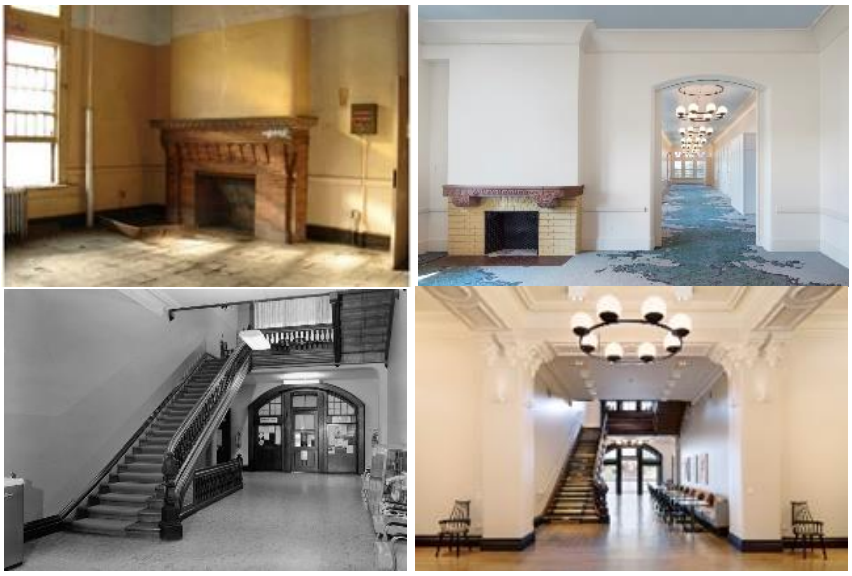
Şekil 9. Otel Henry İç Mekânı (The Richardson Hotel, t.y.)

Buffalo merkezli InnVest Lodging şirketi tarafından yönetilen otel, 88 odası ve bir konferans merkezi ile 50 ila 500 kişilik gruplar için tasarlanmıştır. Devlet kaynakları ve tarihi binalara yönelik vergi kredileriyle desteklenen proje, inşaatına Ekim 2014'te başlanmış ve 2016'nın sonunda tamamlanmıştır. Bu süreçte, 500 inşaat işi ve 75 kalıcı iş olanağı sağlanmış, ayrıca doğrudan satışlar ve satış vergisi gelirleri aracılığıyla bölgeye ekonomik katkıda bulunulmuştur (Şifa, 2021).

Otelin iç mekânı, Richardson'ın mimari özelliklerini ve estetiğini muhafaza ederken, yapılan değişiklikler ve adaptasyonlar binayı yeni kullanımlara uygun hale getirmektedir. Lobide restoran hizmeti, esnek düzenlemeler için ayarlanabilir mobilyalar ve restore edilmiş büyük bir merdiven bulunmaktadır. Projede, 17,744,49 metrekarelik alanda 88 otel odası, konferans imkanları, restoran ve kafe bulunmaktadır. Küçük eski hasta odaları birleştirilerek modern misafir odaları oluşturulurken, geniş ve doğal ışık alan koridorlar korunmuştur. Koridorlara, konuk odalarının banyolarına uyum sağlamak adına dolap benzeri eklemeler yapılmış, soyut desenli ve soğuk gri ve yeşil tonlarına sahip özel halılar kullanılarak Olmstedyen manzarasını çağrıştıracak bir atmosfer oluşturulmuştur (Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus, 2019).

Otelin sosyal alanları, kompleksin merkezinde beş kat boyunca yer almakta ve mimari galeriler, spor salonları, ofis bölgeleri, dinlenme alanları ve daha büyük toplantı ve etkinlik mekanları gibi çeşitli alanları içermektedir. İç mekandaki beyaz duvarlar, mavi ve sarı tonlarının kullanımı ile zenginleştirilmiştir (Cogley, 2017).

Konuk odalarındaki çıkıntılar, banyo alanları olarak işlev görmektedir. Bu odalardaki mobilyalar, mimari ölçeği ve özgün karakteri vurgulamak amacıyla minimalist ve alçak bir tarzda tasarlanmıştır. Yatak başlıklarının üzerindeki özel akustik paneller, Richardson'un mimari eserlerinden ilham alarak süslenmiştir. Buffalo kökenli sanatçıların eserleri, mekanlara yerel bir nitelik katmaktadır. En üst katta yer alan geniş ve çatı katına benzer süitler, yüksek eğimli tavanlar ve kısmen açık kirişler ile binanın iç yapısını açığa çıkarmaktadır (Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus, 2019) (Şekil 10).



Şekil 10. Dönüştürülen Mekanların Eski ve Yeni Hali (Goody Clancy, 2008; Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus, 2019)

Otel Henry'ye İlişkin Ziyaretçi Değerlendirmeleri

Konseptin başlangıçta ziyaretçiler için bir psikolojik rahatsızlık oluşturabileceği düşünülmesine rağmen, Otel Henry'nin dönüşümünün ziyaretçiler arasında olumlu bir yanıt aldığı gözlemlenmiştir. Yapının geçmişinden gelen tarihi izler, iç mekânın modernleşmesi ve malzemelerin kullanımı, eski ve yeni arasında denge kurarak konseptin zenginliğini oluşturmuştur. Rezervasyon sitelerinde otelin yüksek puan aldığı görülmektedir. Kullanıcı yorumları genellikle bu dönüşümü olumlu bulmuştur. Yapının tarihi geçmişinden gelen izlerin modern iç mekân tasarımıyla bütünleşmesi, ziyaretçiler için hem etkileyici hem de farklı bir deneyim sunmuştur. Bu durum, kullanıcıların tarihi mirasa saygı duyulmasını ve aynı zamanda modern konforun sağlanmasını olumlu karşıladıklarını göstermektedir.

Bu unsurlar, ziyaretçilerin otel deneyimini pozitif yönde etkilemiş ve konseptin ilgi çekici bir deneyim sunmasını sağlamıştır.

Ziyaretçilerin yorumlarında sıkça mimari dokunun özgünlüğü, binanın tarihi geçmişiyle olan bağı ve iç mekânın estetik kalitesi öne çıkmaktadır. Bir ziyaretçi, otelin mimari değerine şu sözlerle dikkat çekmiştir: "The Richardson Hotel, tarihi ve önemi açısından mimari bir mücevherdi. Göz alıcı tasarımı ve ince detaylarıyla nefes kesiciydi. Geçmişi, zarafet ve dönüşüm dolu büyüleyici bir hikâye anlatıyordu. Otelin tarihi hakkında bilgi edinmek hem öğretici hem de etkileyiciydi; görseller, bir zamanlar tüm görkemiyle nasıl ayakta durduğunu ve zamansız cazibesini gözler önüne seriyordu. Bu mirasın nesiller boyu takdir edilmesini sağlayacak bir deneyim yaşadık."

Bir diğer ziyaretçi ise otelin hem mimarisinden hem de sunduğu hizmetten duyduğu memnuniyeti şöyle ifade etmiştir: "Otelin tarihi çok ilginçti. Mimarisini ve tasarımının özgünlüğünü çok sevdik. Küçük ama güzel bir müze gibi hissettirdi. Kontinental kahvaltıyı da çok beğendik. Buffalo'da mutlaka ziyaret edilmesi gereken bir yer."

Bununla birlikte bir ziyaretçi ise, yapının geçmişine dair bilgi eksikliği nedeniyle başlangıçta tedirginlik yaşamalarına rağmen deneyimden keyif aldıklarını belirtmiştir: "Otelin geçmişte bir devlet akıl hastanesi olduğunu önceden bilmiyorduk. 1974'e kadar bu şekilde hizmet verdiğini öğrendiğimizde, doğrusu biraz huzursuz olduk. Koridorlarda hâlâ sanki steril bir hastane kokusu gibi gazlı bez benzeri bir koku vardı. Buna rağmen, iç mekân mimarisi kesinlikle muhteşemdi. Dış mekân ise devasa ve etkileyici bir alana sahipti. Bazı yapılar halen kullanılmıyor ve biraz harap durumda. Ancak tüm bunlar, burayı şimdiye kadar kaldığımız en sıra dışı otel haline getirdi. Ayrıca konser alanına yürüme mesafesinde olması bizim için çok avantajlıydı. Personel son derece ilgiliydi ve restoranın yemekleri lezzetli, servisi hızlıydı. Yataklar rahattı ve genel olarak beklemediğimiz çok özel bir deneyim yaşadık. Keşke rezervasyondan önce otelin tarihini biraz araştırmış olsaydım. Bu tür geçmişler sizi rahatsız ediyorsa, konaklamadan önce bilgi edinmekte fayda var."

Bu yorumlar, tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesinin ziyaretçilerin algılarına çok boyutlu şekilde yansıdığını göstermektedir. Kimileri için bu dönüşüm ilgi çekici ve estetik açıdan tatmin edici bir deneyim sunarken, bazıları için mekânın geçmişi belirli bir tedirginlik oluşturabilmektedir. Ancak genel tablo, tarihi mirasın korunarak işlevsel hale getirilmesinin, ziyaretçilere benzersiz ve hatırlanabilir bir konaklama deneyimi sunduğunu ortaya koymaktadır (Tripadvisor, t.y.; Booking.com, t.y.; Hotels.com, t.y.).

TARTIŞMA

Bu çalışmada ortaya konan hipotezler doğrultusunda, tarihi ruh sağlığı hastanelerinin mimari ve kültürel miras bakımından önemli bir potansiyele sahip olmasına rağmen, bu yapıların, geçmişte üstlendikleri işlevlere bağlı olarak, toplumdaki çekince ve toplumsal damgalama ile yeniden işlevlendirme süreçlerinde karşılaşılan mekânsal, ekonomik ve yönetsel güçlükler nedeniyle çoğu zaman yeniden işlevlendirme ve koruma uygulamalarında geri planda kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte, söz konusu yapıların uygun koruma ilkeleri ve bütüncül müdahale stratejileri çerçevesinde yeniden işlevlendirilmesi, tarihi sağlık yapılarının korunarak çağdaş kullanımlara uyarlanmasında önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda toplumsal hafızanın yeniden yorumlanmasını ve bu yapıların kent yaşamına çok yönlü biçimde entegre edilmesini hedefleyen önemli bir çalışma alanını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, Richardson Olmsted Campus'nün Hotel Henry olarak yeniden işlevlendirilme süreci, bu tarz yapılara nitelikli bir örnek olarak değerlendirilmekte ve bu hipotezi destekleyen somut bir örnek teşkil etmektedir.

Yapının dönüştürülme sürecinde özgün mimari kimliği büyük ölçüde korunmuş; cephe özellikleri, plan şemaları ve yapı malzemeleri aracılığıyla tarihsel dokunun sürekliliği sağlanmıştır. Bununla birlikte, iç mekânda gerçekleştirilen düzenlemeler sayesinde yapı çağdaş konfor standartlarına uygun biçimde güncellenmiştir. Bu yaklaşım, koruma ile kullanım arasındaki dengenin başarılı bir biçimde kurulduğunu göstermektedir. Otel ziyaretçilerinin mimari estetiğe ve yapının tarihsel atmosferine duydukları hayranlığı dile getirmeleri de kullanıcı deneyimlerinin bu durumu desteklediğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, yeniden işlevlendirilen hastane yapılarının yalnızca estetik ve konfor beklentilerine yanıt vermesi değil, aynı zamanda tarihsel bağlamın kullanıcı duygusal etkilerini göz önünde bulundurması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Elde edilen bulgular, kültürel mirasın yalnızca fiziksel anlamda değil, toplumsal bellek ve algı düzeyinde de dönüştürülmesinin önemine işaret etmektedir. Birçok başka nedenin yanı sıra özellikle psikiyatri hastanelerine yönelik damgalamanın, bu tür yapıların yeniden işlevlendirilmesini zorlaştıran temel etkenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Ancak Otel Henry örneğinde görüldüğü üzere, tasarımın duyarlılığı ve kamusal anlatının dikkatle yönetilmesi bu tür önyargıların aşılmasında etkili olabilmektedir. Yapının geçmişine dair bilgi sunan görsel materyaller, tarihsel sergiler ve korunan mimari detaylar aracılığıyla hem geçmişe saygı gösterilmiş hem de bu tarihi miras anlamlandırılarak bugünün kullanıcılarıyla ilişki kurulmuştur.

Bu proje özelinde dikkat çeken bir diğer unsur, yalnızca fiziksel dönüşüm değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik kazanımların da elde edilmiş olmasıdır. Otelin bulunduğu bölgeye kültürel turizm açısından katkı sağlaması, yapının yalnızca korunmuş bir mimari öge olarak değil, şehrin aktif bir parçası olarak yeniden işlevlendirilmiş olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, hastane kampüsü içerisindeki bazı yapıların hâlâ kullanılmaması ya da fiziksel olarak harap durumda bulunması, projenin sınırlı kalan yönlerinden biri olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, geçmişin tüm kullanıcılar üzerinde aynı etkiyi yaratmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır; kimi ziyaretçiler için yapı tarihi bir değer taşırken, kimileri için rahatsız edici bir hafızaya da işaret edebilir.

Genel olarak, bu örnek proje, yeniden işlevlendirme uygulamalarında mimari kimliğin korunması, toplumsal algının gözetilmesi ve çağdaş işlevlerin uyumlu şekilde entegre edilmesi gerektiğini göstermektedir. Bu üç unsurun bir arada düşünülmesi, yalnızca tarihi yapının korunmasını değil aynı zamanda sürdürülebilir ve nitelikli bir kentsel gelişimi de destekleyecektir.

Gelecek çalışmalarda, benzer projelerde kullanıcı deneyimi, toplumsal algı, kültürel aidiyet ve kentsel bellek ilişkileri gibi daha derinlemesine temalar üzerinden saha araştırmalarının yapılması önerilmektedir. Ayrıca, farklı ülkelerdeki yeniden işlevlendirilen akıl hastaneleri örnekleriyle karşılaştırmalı çalışmalar gerçekleştirilerek bu sürecin uluslararası ölçekteki uygulama farklılıkları da incelenebilir.

SONUÇ

Kentsel dönüşüm, kentlerin yaşam döngüsü içerisinde önemli bir yere sahip olan ve geçmişten günümüze şehirlerin gelişiminde belirleyici rol oynayan bir süreçtir. Bu süreç, genellikle mevcut yapıların yeniden değerlendirilmesi ve dönüştürülmesiyle şehirlerin ihtiyaçlarına yanıt vermek üzere gerçekleştirilmektedir. Kentsel dönüşüm uygulamaları; tarihi mirasın korunması, ekonomik canlanmanın sağlanması, çevresel sürdürülebilirliğin desteklenmesi ve toplumsal katılımın güçlendirilmesi gibi birden fazla hedefi aynı anda barındırabilmektedir. Bu bağlamda, Richardson Olmsted Kampüsü'nün tarihçesi, mimari özellikleri ile dönüşüm öncesi ve sonrası durumu incelenmiş; gerçekleştirilen dönüşümün amacı, gerekçeleri ve ortaya çıkan sonuçları değerlendirilmiştir.

Çalışmada ortaya konan hipotezlere göre, tarihî psikiyatri hastaneleri toplumsal damgalama nedeniyle yeniden işlevlendirme süreçlerinde çoğu zaman geri planda kalmaktadır. Ancak bu yapılar, uygun koruma stratejileriyle ele alındığında kent yaşamına yeniden kazandırılarak ekonomik, kültürel, toplumsal çok yönlü sürdürülebilir katkılar sunabilmektedir. Hastane kampüs binalarının Otel Henry'e dönüştürülmesi, yalnızca bir yapının değil, aynı zamanda güçlü bir tarihsel simge olan ikonik yapıların yeniden doğuşunu temsil etmektedir. Bu dönüşüm, yalnızca fiziksel mekânın değişimini değil, aynı zamanda toplumsal ve ekonomik bir canlanmayı da beraberinde getirmiştir. Tarihî mirasın çağdaş işlevlerle buluşturulması sayesinde Buffalo şehrinin geçmişi ile geleceği arasında anlamlı bir köprü kurulmuştur. Kampüsün varlığının geçmişin izlerini koruyarak geleceğe aktarılması ise kültürel ve tarihsel mirasın sürekliliğinin sağlanması açısından önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Richardson Olmsted Campus, Buffalo kenti ve çevresindeki topluluğun yeniden canlanmasına katkı sağlayarak bölgenin turizm potansiyelini artırmış, yeni istihdam olanakları yaratmış ve yerel ekonomiyi desteklemiştir. Bu proje, tarihsel mirasın korunması ile çağdaş gereksinimlere uyarlanması arasında dengeli bir yaklaşım kurarak, kentsel dönüşümün sürdürülebilir nitelikteki başarılı örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Dönüşüm sürecinde, yapıların korunması ve kültürel mirasın anlam ve değer bütünlüğüyle gelecek kuşaklara aktarılması büyük önem taşımaktadır. Richardson Olmsted Kampüsü'nün Otel Henry'ye dönüştürülmesi, yalnızca işlevsel bir değişimi değil, aynı zamanda toplumun tarihsel mekân algısının dönüştürülmesini de içeren çok katmanlı bir süreci temsil etmektedir.

Bu bağlamda dönüşüm süreci, yapının orijinal mimari izlerini koruyarak tarihi sürekliliği sağlamayı hedeflemiş; öte yandan, kullanıcıların mekânlarla kuracakları duygusal ilişki düşünülerek dönüştürülen mekanlar modern tasarım öğeleriyle desteklenmiştir. Tasarım sürecinde, özellikle eski akıl ve ruh hastanesi atmosferini çağrıştırabilecek unsurlardan ve ögelerden uzak durulmuş, iç mekânlarda sade, çağdaş ve konfor odaklı bir düzenleme benimsenmiştir. Bu yaklaşım, ziyaretçilerin mekânı yalnızca konaklama amacıyla değil aynı zamanda tarihsel bir deneyim olarak da olumlu bir şekilde algılamalarına olanak tanımıştır.

Sınırlı sayıda ziyaretçi yapının geçmişte bir sağlık kurumu olarak kullanılmış olmasının yarattığı tarihsel çağrışımlar nedeniyle bu tür bir mekânda konaklamaktan rahatsızlık duyduklarını ifade etmiştir. Buna karşın, ziyaretçilerin büyük çoğunluğu ise olumlu geri bildirimlerde bulunarak dönüşümü memnuniyetle karşılamıştır. Ziyaretçiler, tarihi mirasın çağdaş bir yaklaşımla yeniden işlevlendirilmesini ve dönüşümün kent yaşamına sağladığı katkıyı takdir etmiş; kullanıcıların büyük çoğunluğu söz konusu müdahaleyi, tarihi dokuya saygılı ve modern kullanım gereksinimleriyle uyumlu bir uygulama olarak değerlendirmiştir. Otel Henry'nin dönüşüm süreci, tarihi bir akıl hastanesi yapısının modern bir işlevle yeniden tanımlanmasının fiziksel, psikolojik ve toplumsal boyutlarını da gözeten bir tasarım anlayışıyla başarıya ulaşabileceğini ortaya koymaktadır. Bu hassas denge hem mekânsal bütünlük hem de kullanıcı memnuniyeti açısından projenin güçlü yönlerinden biri olmuştur.

Sonuç olarak, Richardson Olmsted Kampüsü'nün yeniden canlandırılması; tarihin izlerini koruyarak geleceğe yatırım yapmanın, toplumsal kimliği güçlendirmenin ve kentsel dönüşümün başarılı bir örneğini ortaya koymaktadır. Bu tür projeler yalnızca tarihi mirasın korunmasını sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda kentlerin sosyal, kültürel ve ekonomik yapısına da önemli ve olumlu katkılar sunmaktadır. Geçmişin modernleşen dokusu, geleceğe köprü oluşturarak şehirlerin özgün kimliklerini güçlendirmekte ve zenginleştirmektedir. Bu nedenle, dönüşüm sürecinin çok yönlü biçimde değerlendirilmesi ve benzer projelerin topluma sağladığı katkıların anlaşılması, gelecekte gerçekleştirilecek koruma ve yeniden işlevlendirme çalışmalarına yol gösterici nitelik taşımaktadır. Bu noktada, dönüşüm sürecinin değerlendirilmesi ve bu tür projelerin topluma sağladığı faydaların anlaşılması önemlidir.

KAYNAKÇA

Ahunbay Z., 2009. Tarihi çevre koruma ve restorasyon. YEM Yayınları.

Booking.com, t.y. Otel kullanıcı yorumları. https://www.booking.com/hotel/us/henry-urban-resort-conference-center.en-gb.html (Erişim tarihi: 08.01.2024)

Broome, B., 2017. "Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus by Deborah Berke Partners". https://www.architecturalrecord.com/articles/12936-hotel-henry-at-the-richardson-olmsted-campus-by-deborah-berke-partners (Erişim tarihi: 17.10.2024)

Cogley, B., 2017. Deborah Berke Partners transforms historic insane asylum into boutique hotel. Dezeen. https://www.dezeen.com/2017/10/03/deborah-berke-partners-transforms-historic-insane-asylum-boutique-hotel-henry-buffalo/ (Erişim tarihi: 26.10.2024)

Çabuk, Ş., 2023. Koruma ve Yeniden İşlevlendirme Kavramlarının Yapı Ölçeğinde Değerlendirilmesi & Trilye Taş Mektep Koruma Yaklaşım Analizi. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Eyüce, Ö., Eyüce, A., 2010. Design education for adaptıve reuse. Archnet-IJAR International Journal of Architectural Research, 4(2-3), 419-428. https://www.archnet.org/publications/5351.

Goody Clancy, 2008. Historic structures report the Richardson Olmsted Complex, https://richardson-olmsted.com/wp-content/uploads/2022/10/historic_structures_full_report.pdf

Hotel Henry at the Richardson Olmsted Campus, 2019. ArchDaily. https://www.archdaily.com/917763/hotel-henry-at-the-richardson-olmsted-campus-deborah-berke-partners (Erişim tarihi: 5.07.2025)

Hotels.com, t.y. Otel kullanıcı yorumları. https://tr.hotels.com/ho687453/hotel-henry-urban-resort-buffalo-birlesik-devletler/?pwaDialog=product-reviews (Erişim tarihi: 02.06.2024)

Kellogg, C., 2018. Hotel Henry Urban Resort Conference Center by Deborah Berke Partners: 2017 Best of Year Winner for Hotel Transformation. https://interiordesign.net/projects/hotel-henry-urban-resort-conference-center-by-deborah-berke-partners-2017-best-of-year-winner-for-hotel-transformation/ (Erişim tarihi: 08.11.2024)

Kerem Öztürk, Z., 2023. Kentsel dönüşüm ve uygulamaları ders notları [PowerPoint sunusu]. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı.

Özden, P. P., 2008. Kentsel yenileme (2. Baskı). İmge Yayınları.

Queenseyes, 2013. "A fresh look at The Richardson-Olmsted Complex". Buffalo Rising. https://www.buffalorising.com/2013/08/a-fresh-look-at-the-richardson-olmsted-complex/ (Erişim tarihi: 08.11.2024)

Richardson Olmsted Campus, t.y-a. "From back then to right now" https://richardson-olmsted.com/then/ (Erişim tarihi: 20 Kasım 2024)

Richardson Olmsted Campus, t.y-b. "A monumental opportunity" https://richardson-olmsted.com/redevelopment/ (Erişim tarihi: 21.11. 2024)

Şifa, M., 2021. Tarihi Yapıların Turizm Amaçlı Kullanımında Dönüşüm Ölçütlerinin İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Tenberke, 2017. "Richardson Olmsted Campus -an historic masterpiece revived into a one-of-a-kind hotel and conference center" https://tenberke.com/project/richardson-olmsted-campus/ (Erişim tarihi: 08.07 2024)

The Richardson Hotel, t.y. "A Place To Browse" https://richardsonhotel-buffalo.com/gallery/ (Erişim tarihi: 21.06. 2025)

Tripadvisor, t.y. Otel kullanıcı yorumları. https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g60974-d267152-Reviews-Richardson_Olmsted_Campus-Buffalo_Erie_County_New_York.html (Erişim tarihi: 08.01.2024)

Turanlı, A., Satıcı, B., 2021. Tarihi yapıların yeniden işlevlendirilmesi: Hayriye Hanım Konağı örneği. Teknoloji ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4(1), 73-95.

Uğursal, S., 2011. Tarihi Yapıların Yeniden İşlevlendirilmesi: İzmir Sümerbank Basma Sanayi Yerleşkesi Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Yanni, C., 2007. The Architecture of Madness: Insane Asylums in the United States. Minnesota University Press. ISBN 978-0-8166-4940-2

THE EFFECT OF DIFFERENT FILLING GEOMETRIES ON THE IMPACT WEAR BEHAVIOR OF ABS SAMPLES PRODUCED BY FDM METHOD

Asst. Prof. Dr., Caner BULUT
Iğdır University, Technical Sciences Vocational School, Department of Motor Vehicles and Transportation Technologies, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-5421-300X

Asst. Prof. Dr., Mustafa ÖCAL
Iğdır University, Technical Sciences Vocational School, Department of Machinery and Metal Technologies, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6731-8561

Asst. Prof. Dr., Tevfik Oğuzhan ERGÜDER
Kafkas University Faculty Of Engineering And Archıtecture, Mechanical Engineering Department, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8876-6152

ABSTRACT
This study investigated the effect of different infill patterns on the impact wear behavior of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) specimens produced by Fused Deposition Modeling (FDM). Specimens were produced using Gyroid, Cubic, and Triangle infill patterns at 0° compression direction and 50% infill density. Impact wear tests were performed in a specially designed test device in a laboratory environment at a frequency of 2 Hz and under loading conditions of 25,000 cycles. Wear behavior was evaluated by three-dimensional profilometer analyses and wear volume measurements. The results showed that the packing geometry has a significant effect on impact wear performance. Samples with a gyroid packing geometry showed the highest wear resistance, with a wear volume of approximately 0.65 mm^3. The wear volume was measured as approximately 1.15 mm^3 in samples with a cubic infill geometry, while the highest wear volume value was obtained in samples with a triangular infill geometry, approximately 2.0 mm^3. It was determined that the Gyroid structure provides a more homogeneous stress distribution and therefore creates a lower wear depth. In contrast, the triangle packing geometry experienced local stress concentrations due to sharp load transfer points, leading to higher material loss. It was determined that the packing geometry is a critical parameter in the impact wear behavior of polymer parts produced by additive manufacturing, and that the gyroid packing geometry, in particular, can significantly increase wear resistance. These findings provide important information for improving the tribological performance of polymer components produced by additive manufacturing.
Keywords: Additive manufacturing, Fused Deposition Modeling, ABS filament, Impact wear, Infill pattern

INTRODUCTION
Additive manufacturing technologies have gained significant attention in engineering applications in recent years due to their advantages such as the ability to produce complex geometries, reduced material waste, and high design flexibility. One of the most widely used methods among these technologies is Fused Deposition Modeling (FDM). In this method, thermoplastic filaments are melted and deposited in layers to create three-dimensional parts. Due to its low-cost equipment requirements, ease of implementation, and wide range of materials, the FDM method is widely used in both academic research and industrial prototype Production (Aguilar-Duque et al., 2019; Gibson et al., 2021; Wong & Hernandez, 2012).
The different thermoplastic filament materials are commonly used in FDM technology. These materials include polymers such as Polylactic Acid (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Polyetheretherketone (PEEK), Polyphenylsulfone (PPSF), PETG, thermoplastic polyurethanes (TPU), polyvinyl alcohol (PVA), high impact resistant polystyrene (HIPS), composite filaments, and nylon.

These filaments offer different advantages depending on their processability, mechanical properties and application areas (Jin et al., 2015; Mohd Pu'ad et al., 2020; T. et al., 2020). Among these polymer materials generally used in FDM technology, PLA and ABS filament materials are the most commonly used. ABS is one of the thermoplastic filament materials widely preferred in three-dimensional printing applications due to its good mechanical strength, impact resistance, processability and thermal stability. Thanks to these properties, it is frequently used in the production of functional parts in engineering applications (Rajan et al., 2022).

The mechanical and tribological performance of parts produced by the FDM method is highly sensitive to the production parameters. Different process parameters used in the FDM process include layer thickness, infill pattern, infill density, scan angle, scan width, printing speed, printing direction, printing and bed temperature. Parts produced by FDM are greatly affected by the loss of mechanical and anisotropic properties. Many researchers have investigated the effect of FDM process parameters on mechanical behavior (Rajpurohit & Dave, 2018). Lanzotti et al. . (Lanzotti et al., 2015), investigated the effect of layer height, scanning angle and shells on the tensile strength of samples produced by the FDM method. They observed that the tensile strength decreased with increasing scanning angle and increased with lower layer thickness. Ziemian et al. (Ziemian et al., 2015) analyzed the anisotropic properties of FDM-printed ABS and reported that the fracture direction depends on the scanning direction and the strength of the individual layer. Zou et al. (Zou et al., 2016) experimentally characterized the isotropic and anisotropic elasticity of FDM ABS printed parts by investigating different printing orientations. Sood et al. (Sood, Ohdar, et al., 2012) derived the relationships between ABS compressive strength and printing conditions through face-centered cubic design. Onwubolu and Rayegani (Onwubolu & Rayegani, 2014) focused on FDM printing conditions by investigating the tensile strength of FDM ABS components through inductive algorithm and differential evolution and determined the optimum response parameters. Krolczyk et al. (Krolczyk et al., 2014) investigated the geometric parameters of surface integrity of FDM technology using coated carbide tools. The study revealed that uniform gradients were observed on the sample surface and characterized by steep gradients. Sood et al. (Sood, Equbal, et al., 2012) experimentally characterized the wear performance of FDM ABS printed specimens by considering five printing conditions. They reported that all five process parameters had a significant effect on the wear rate. Gurrala and Regalla (Devika & Gupta, 2016) investigated the effect of pin-disk wear machine parameters (normal load, sliding speed and part orientation) on the wear behavior of ABS specimens produced by the FDM process using response surface methodology. Of the three conditions, the interaction between sliding speed and structure orientation was reported to have a significant effect on the wear behavior.

It has also been shown that FDM technology creates porous microstructures in the manufactured component, leading to insufficient mechanical strength and other problems such as poor surface quality due to the "staircase" effect (Shofner et al., 2003; Taufik & Jain, 2022). Recent studies show that the infill geometry plays a significant role in the mechanical strength and energy absorption capacity of parts manufactured with FDM. Different filling architectures cause loads to be transmitted in different ways within the structure, and this has a decisive effect on the strength, deformation behavior and wear resistance of the parts (Birosz et al., 2022; Dawood & AlAmeen, 2024; León-Becerra et al., 2021). In particular, three-dimensional periodic lattice structures offer significant advantages in terms of controlling load distribution and designing lightweight structures. Such structures have attracted the intense interest of researchers in recent years due to their ability to provide high mechanical performance at low density and their high energy absorption capabilities (Abeykoon et al., 2020; Dul et al., 2018; Maskery et al., 2017; Rodríguez-Panes et al., 2018).

The vast majority of studies in the literature focus on the mechanical properties of polymer parts produced with FDM, such as tensile, bending, or impact strength. Studies investigating the effect of different infill geometries on impact wear behavior are limited (Karabeyoglu et al., 2021; Mohamed et al., 2017; Rodríguez-Panes et al., 2018). In particular, surface deformation and material loss under repeated impact loads are important factors determining the service life of polymer-based additive manufacturing parts. In this study, ABS samples produced using the FDM method were manufactured with Cubic, Gyroid, and Triangle infill patterns at a 50% infill ratio and a 0° printing direction.

The wear performance of the produced samples was evaluated using impact wear tests performed at 25,000 cycles and a frequency of 2 Hz. Thus, the aim was to determine the effect of different infill patterns on the wear behavior under impact and to contribute to the literature on the tribological performance of polymer structures produced by the FDM method.

MATERIALS AND METHODS

In this study, ABS filament was used as the base material for sample production. The filament used in the experiments was commercially available. Table 1 presents the filament data provided by the manufacturer. Samples were produced using a Creality Ender 3 V3 SE 3D printer based on FDM technology, and Creality Print software was used to convert the 3D models of the samples into G-code (Ergüder & Bulut, 2025). The basic technical specifications of the FDM printer are listed in Table 2. To ensure thermal stability during the production process, the nozzle temperature was kept constant at 240°C and the bed temperature at 85°C. The layer height was set at 0.1 mm to improve the surface quality and dimensional accuracy of the samples. To optimize interlayer adhesion and minimize the risk of thermal shrinkage in the ABS material, the fan speed was kept at 50% control; and a printing speed of 180 mm/s was chosen to balance production efficiency with part quality.

Table 1. Technical specifications of the filament used

Hyper Series ABS 3D Printing Filament	
Product Name	Hyper ABS
Extruder Temperature	230-270℃
Hotbed Temperature	75-95℃
Printing Speed	＜350mm/s
Impact Resistance	19 kJ/m2
Tensile Strength	30.4 ± 0.6 Mpa
Bending Strength	48.1 ± 0.2 Mpa
Filament Diameter	1.75±0.05mm
N.W	1Kg/2.2lb
G.W	1.29Kg/2.8lb
Packing Size	450x440x230mm

Table 2. Technical specifications of the FDM 3D printer (Ergüder & Bulut, 2025)

Printing Technology	Fused deposition modelling
Printing Speed (Typical – Max) (mm/s)	180 - 250
Layer Height (mm)	0.1 – 0.35
Acceleration (mm/s^2)	2500
Build volume (mm)	220 x 220 x 250
Heatbed Temperature (°C)	≤ 100
Nozzle Temperature (°C)	≤ 260
Nozzle Diameter (mm)	0.4
Extruder Type	“Sprite” Direct Extruder

The impact wear performance of ABS samples produced by the FDM method was systematically investigated under constant infill density and different internal geometries. During the printing process, the production orientation of the samples was kept constant at 0°. To examine the effect of the internal architecture on wear behavior, the infill ratio of the samples was set at 50%. In this study, three different infill patterns (Cubic, Gyroid, and Triangle) were used to investigate the effect of different internal lattice structures on mechanical load transfer. Table 3 presents the production parameters of the samples in detail. Different different infill patterns cause loads to be transmitted in different ways within the structure, and this directly affects the mechanical and tribological behavior of the specimens. Each produced sample was designed as a cylindrical geometry with dimensions of 20 mm diameter and 10 mm height (Figure 1). To isolate the effects of the filling pattern and density on the tribological behavior, all other printing parameters were kept constant throughout the production process.

Table 3. Production parameters used in the experimental study

Parameter	**Values / Details**
Filament Material	ABS
Fill Pattern	Cubic, Triangle, Gyroid
Occupancy Rates (%)	50
Orientation Direction (°)	0, 90
Wall Thickness (mm)	0.8
Top/Bottom Thickness (mm)	0.8
Layer Height (mm)	0.1
Nozzle Diameter (mm)	0.4
Nozzle Temperature (°C)	240
Plate (Heater) Temperature (°C)	85
Fan Speed (%)	50

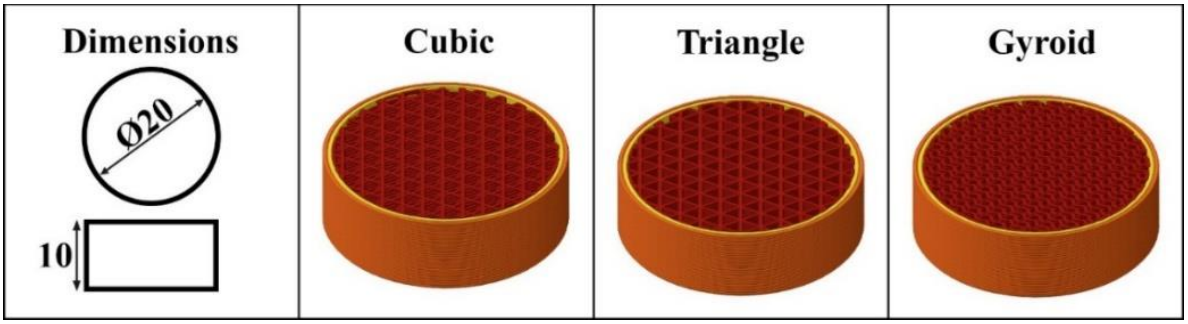


Figure 1. Geometric dimensions and internal filling structures of the samples

Impact wear tests were performed to investigate the wear behavior of the produced samples. The experiments were conducted in a laboratory environment using an impact wear testing machine. During the tests, 10 mm diameter tungsten balls were used as the counter surface material. Experiments were performed at a frequency of 2 Hz and parameters of 25,000 cycles. Figure 2 presents a schematic representation of the impact wear testing machine. Three experiments were conducted for each group, and the average value of these measurements was evaluated in the analysis.

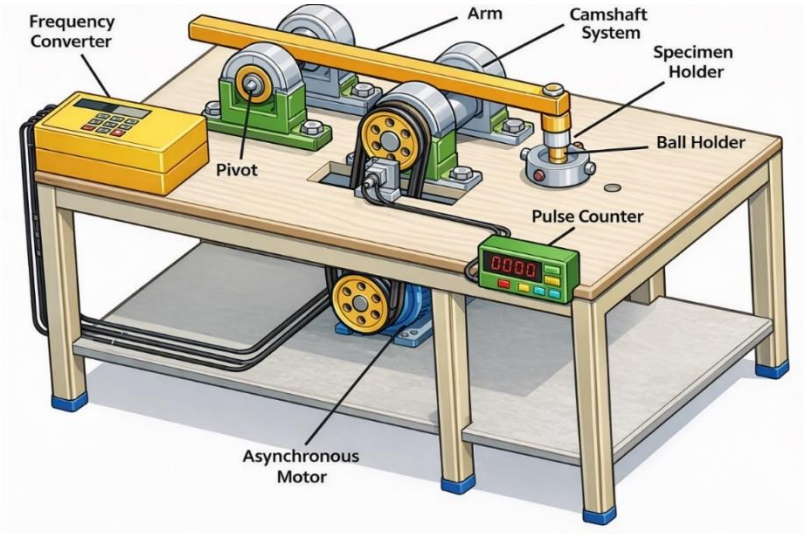


Figure 2. Schematic representation of the impact abrasion testing device

The experimental parameters used in the impact abrasion tests are summarized in Table 3. These conditions were chosen to simulate dynamic loading scenarios representing typical engineering applications involving ABS components. The FDM printing parameters and geometric characteristics of the ABS samples are presented in Table 4. These details are important to ensure experimental reproducibility and to enable comparative analysis between sample groups.

Table 3. Impact wear test parameters

Frequency (Hz)	Impact Velocity (m/s)	Impact Force (N)	Impact Energy (J)	Hertzian Stress (GPa)	Number of Cycles
2.0	0.144	208	0.048	~0.18	25000

Table 4. FDM printing parameters

Parameter	Level
Infill Density	50%
Build Orientation	0°
Infill Pattern	Cubic, Triangles, Gyroid

Wear craters formed after impact wear tests were characterized using a Bruker Contour GT 3D Profilometer. Optical microscope images were obtained for morphological evaluation of wear marks and analyzed using ZEISS ZEN 3.7 software.

RESULTS AND DISCUSSION

Volumetric wear on the sample surfaces was quantitatively evaluated using a high-precision 3D optical profilometer. Figure 3 shows the three-dimensional surface profilometer images obtained after impact wear tests of ABS samples produced with different infill patterns and 50% infill density. A distinct wear pit was observed in the contact region in all samples. However, the morphology and depth of the wear track vary depending on the infill geometry. Samples with gyroid infill geometry were observed to have a more homogeneous wear track distribution and a relatively shallower wear pit compared to other samples. This situation demonstrates that improved structural integrity occurs under cyclic impact loading, contributing to a reduction in local stress concentrations and limiting wear depth. Podroužek et al. reported that three-dimensional periodic minimal surface (TPMS) structures, such as gyroids, homogenize stress distribution and improve mechanical performance (Akbar et al., 2023). In the sample with a cubic infill geometry, the wear pattern is observed to be more pronounced compared to the gyroid structure. The cubic structure has a rigid lattice structure that carries loads in specific directions. Therefore, impact loads can concentrate in some areas, leading to moderate wear behavior. In the sample with a triangular infill geometry, a more pronounced and deeper wear pit was observed compared to other infill geometries.

Because triangle-based lattice structures have sharp connection points, local stress concentrations can occur in these areas during impact loads. This leads to higher plastic deformation and material loss on the surface, resulting in increased wear depth.

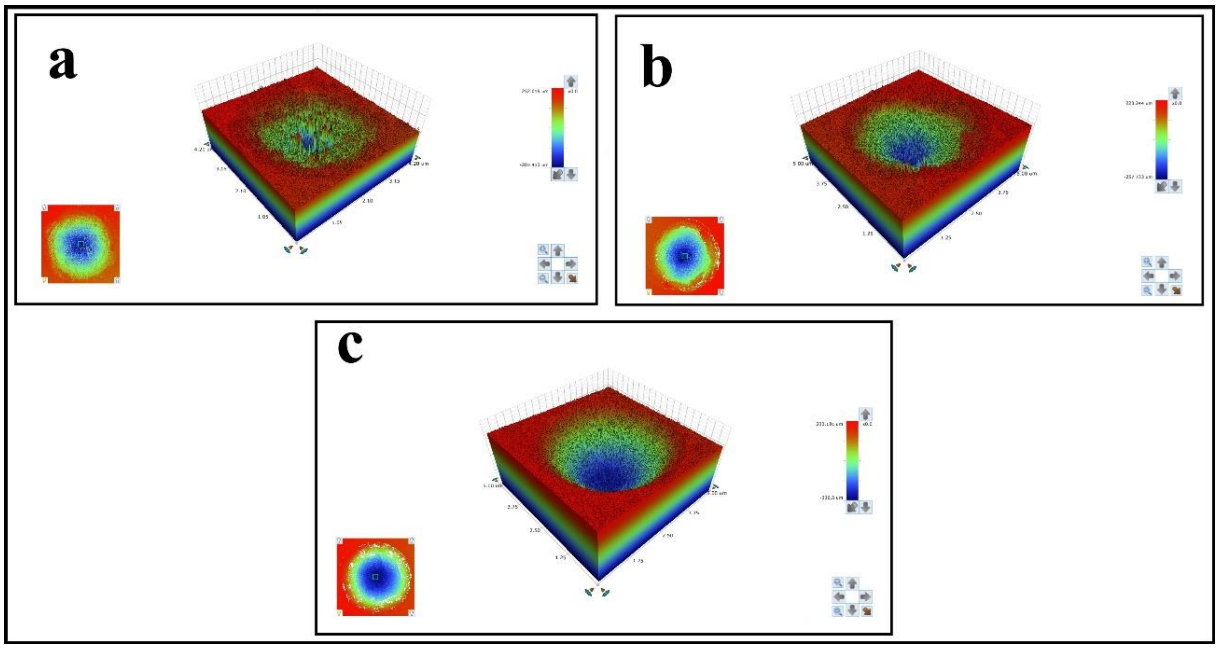


Figure 3. Three-dimensional profilometer images obtained from impact wear tests of ABS samples with a) Gyroid, b) Cubic and c) Triangle infill patterns at 50% infill density

Figure 4 shows the wear track profile graphs obtained after impact wear tests of ABS samples produced with different infill patterns and 50% infill density. Examination of the graph reveals that the surface deformation along the wear track varies significantly depending on the infill patterns. The data reveal that the Gyroid configuration exhibits the deepest wear marks, exceeding approximately −200 µm, while the Cubic remains in the range of approximately -290 and the Triangle in the range of approximately −450. This suggests that, despite its geometric complexity, the Gyroid pattern may be less effective at dissipating impact energy when printed with lower material densities. The continuous surface character of the gyroid structure can be attributed to the more even distribution of stress within the structure under impact loads. Because the cubic structure consists of linear lattice elements, impact loads can concentrate on specific load-bearing elements, leading to more pronounced plastic deformations on the surface. The specimen with a triangle-based infill geometry exhibits a deeper wear pit and greater material loss compared to the other specimens. Sharp nodal points in triangle-based lattice structures can cause stress concentrations during impact loading, leading to higher plastic deformation and material loss on the surface.

The observed trends are consistent with previous studies showing that increasing infill density enhances mechanical strength and wear resistance by reducing internal voids and improving interlayer adhesion. Furthermore, lattice-based infill patterns such as Gyroid and Cubic have been shown to offer superior energy dissipation and load distribution capabilities when fully densified. These findings highlight the importance of optimizing both the infill pattern and density in FDM processes, especially for applications requiring high impact resistance (Abd El Aal et al., 2023). Wear track geometry serves not only as a diagnostic tool for material degradation but also as a design parameter to tailor mechanical performance in polymeric components.

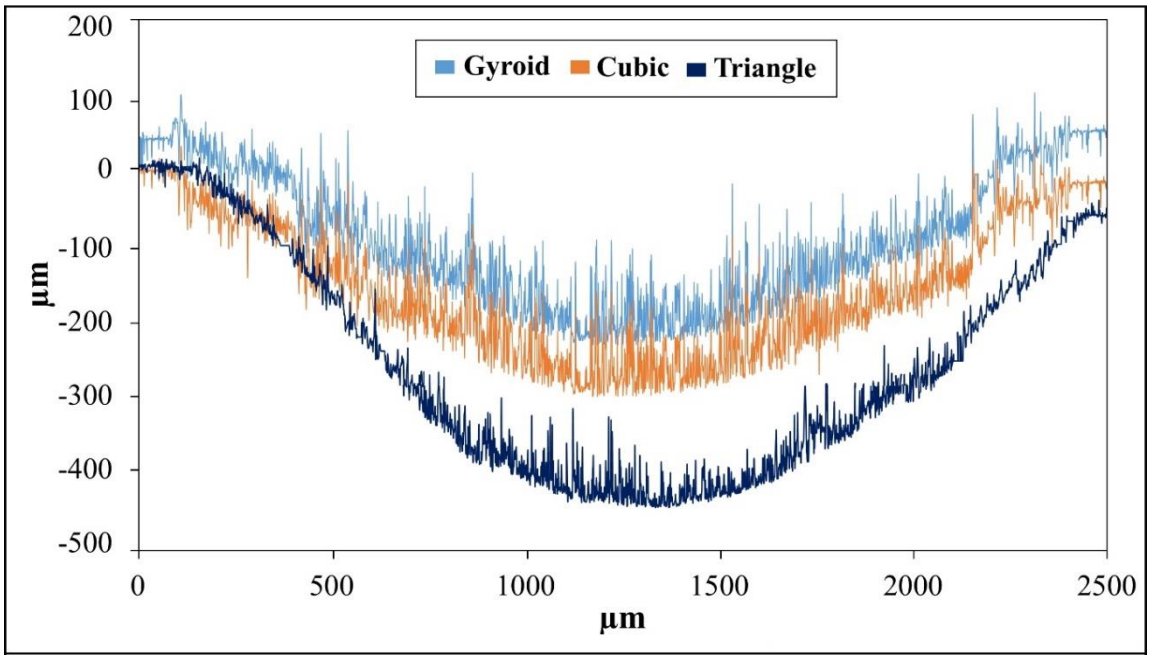


Figure 4. Graphs of wear groove depth and wear groove width for 50% infill densities

Figure 5 shows a comparative analysis of the wear volume values obtained from impact wear tests of ABS samples produced with different infill patterns and 50% infill density. The graph clearly shows that the infill geometry has a significant effect on the wear behavior. The lowest wear volume value was obtained in the sample with the Gyroid infill patterns. The Gyroid structure exhibited a wear volume of approximately 0.6–0.7 mm^3, demonstrating higher wear resistance compared to other infill geometries. When comparing wear volume values, it was determined that the gyroid structure generated approximately 43% less wear volume than the cubic structure and approximately 68% less wear volume than the triangular structure. This can be attributed to the Gyroid structure having a three-dimensional continuous surface character and the stresses being distributed more homogeneously within the structure under impact loads. Homogeneous stress distribution contributes to a reduction in wear volume by limiting local plastic deformation and material rupture. In the sample with a cubic infill geometry, the wear volume was measured at approximately 1.1–1.2 mm^3. Since the cubic structure consists of rigid lattice elements carrying loads in specific directions, impact loads can concentrate in some areas, leading to moderate material loss. The highest wear volume value was observed in the sample with a triangular infill geometry. In the triangular structure, the wear volume reached approximately 2.0 mm^3. Sharp connection points in triangular-based lattice structures can cause stress concentrations during impact loading, leading to higher plastic deformation and material loss on the surface.

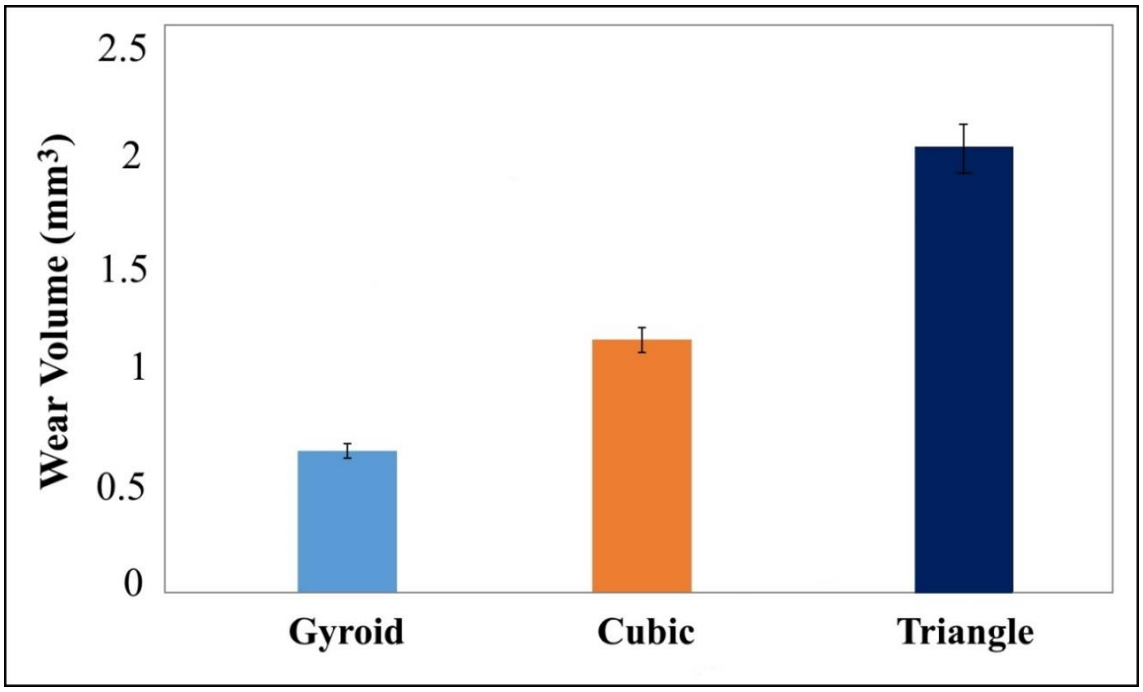


Figure 5. Comparison of wear volume depending on infill pattern and infill density

Overall, the results show that the infill geometry is a critical parameter influencing impact wear behavior. The Gyroid structure provides a more homogeneous stress distribution, contributing to a reduction in wear depth, while the stress concentrations in the Triangle geometry lead to higher material loss.

CONCLUSION

In this study, the effect of different deposition geometries on the impact wear behavior of ABS samples produced by the FDM method was investigated, and the following results were obtained:

- Different infill patterns have a significant impact on the impact wear performance of ABS samples produced by the FDM method.
- Samples with Gyroid infill patterns showed the lowest material loss, with a wear volume of approximately 0.6–0.7 mm^3, and exhibited the highest wear resistance. Cubic infill patterns exhibited moderate wear behavior, while samples with Triangular infill geometry experienced the highest material loss, with a wear volume of approximately 2 mm^3.
- When comparing wear volume values, it was determined that the Gyroid structure generated approximately 43% less wear volume than the Cubic structure and approximately 68% less wear volume than the Triangular structure.
- When three-dimensional profilometer images and wear track profile graphs were examined, it was determined that the Gyroid infill patterns provided a more homogeneous stress distribution due to its continuous surface structure, whereas the Triangle geometry increased the amount of wear by causing local stress concentrations at sharp connection points.

REFERENCES

Abd El Aal, M. I., Awd Allah, M. M., Abd Alaziz, S. A., & Abd El-baky, M. A. (2023). Biodegradable 3D printed polylactic acid structures for different engineering applications: effect of infill pattern and density. *Journal of Polymer Research*, *31*(1), 4. https://doi.org/10.1007/s10965-023-03852-x

Abeykoon, C., Sri-Amphorn, P., & Fernando, A. (2020). Optimization of fused deposition modeling parameters for improved PLA and ABS 3D printed structures. *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, *3*(3), 284–297. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijlmm.2020.03.003

Aguilar-Duque, J. I., Hernández-Arellano, J. L., Avelar-Sosa, L., Amaya-Parra, G., & Tamayo-Pérez, U. J. (2019). *Additive Manufacturing: Fused Deposition Modeling Advances BT - Best Practices in Manufacturing Processes: Experiences from Latin America* (J. L. García Alcaraz, L. Rivera Cadavid, R. G. González-Ramírez, G. Leal Jamil, & M. G. Chong Chong (eds.); pp. 347–366). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99190-0_16

Akbar, I., King, M. L., Fatoni, Z., Sianipar, T. P. O., Sukarmansyah, & Prakoso, A. T. (2023). Numerical Investigation of the Effect Infill from Different Unit cells Structure on Mechanical Behaviour. *International Journal of Research in Vocational Studies (IJRVOCAS)*, *3*(1 SE-Articles), 52–57. https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v3i1.168

Birosz, M. T., Ledenyák, D., & Andó, M. (2022). Effect of FDM infill patterns on mechanical properties. *Polymer Testing*, *113*, 107654. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2022.107654

Dawood, L. L., & AlAmeen, E. S. (2024). Influence of infill patterns and densities on the fatigue performance and fracture behavior of 3D-printed carbon fiber-reinforced PLA composites. *AIMS Materials Science*, *11*(5), 833–857. https://doi.org/10.3934/matersci.2024041

Devika, D., & Gupta, N. S. (2016). Modeling the process parameters of RP-FDM using ANOVA and RESPONSE SURFACE METHODOLOGY for PC-ABS materials. *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2059–2062. https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755051

Dul, S., Fambri, L., & Pegoretti, A. (2018). Filaments Production and Fused Deposition Modelling of ABS/Carbon Nanotubes Composites. *Nanomaterials*, *8*(1), 49. https://doi.org/10.3390/nano8010049

Ergüder, T. O., & Bulut, C. (2025). Mechanical characterization of FDM-printed PLA.pdf. *Challenge Journal Of Structural Mechanıcs*, *11*(4), 201–2014. https://doi.org/https://doi.org/10.20528/cjsmec.2025.04.003

Gibson, I., Rosen, D., Stucker, B., Khorasani, M., Rosen, D., Stucker, B., & Khorasani, M. (2021). *Additive manufacturing technologies* (Vol. 17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3

Jin, Y., Li, H., He, Y., & Fu, J. (2015). Quantitative analysis of surface profile in fused deposition modelling. *Additive Manufacturing*, *8*, 142–148. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.10.001

Karabeyoglu, S. S., Eksi, O., Yaman, P., & Kucukyildirim, B. O. (2021). *Effects of infill pattern and density on wear performance of FDM-printed acrylonitrile-butadiene-styrene parts*. *41*(10), 854–862. https://doi.org/doi:10.1515/polyeng-2021-0192

Krolczyk, G., Raos, P., & Legutko, S. (2014). Experimental analysis of surface roughness and surface texture of machined and fused deposition modelled parts. *Tehnički Vjesnik - Technical Gazette*, *21*(1), 217–221.

Lanzotti, A., Grasso, M., Staiano, G., & Martorelli, M. (2015). The impact of process parameters on mechanical properties of parts fabricated in PLA with an open-source 3-D printer. *Rapid Prototyping Journal*, *21*(5), 604–617. https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2014-0135

León-Becerra, J., González-Estrada, O. A., & Quiroga, J. (2021). Effect of Relative Density in In-Plane Mechanical Properties of Common 3D-Printed Polylactic Acid Lattice Structures. *ACS Omega*, *6*(44), 29830–29838. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04295

Maskery, I., Aboulkhair, N. T., Aremu, A. O., Tuck, C. J., & Ashcroft, I. A. (2017). Compressive failure modes and energy absorption in additively manufactured double gyroid lattices. *Additive Manufacturing*, *16*, 24–29. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.04.003

Mohamed, O. A., Masood, S. H., Bhowmik, J. L., & Somers, A. E. (2017). Investigation on the tribological behavior and wear mechanism of parts processed by fused deposition additive manufacturing process. *Journal of Manufacturing Processes*, *29*, 149–159. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2017.07.019

Mohd Pu'ad, N. A. S., Abdul Haq, R. H., Mohd Noh, H., Abdullah, H. Z., Idris, M. I., & Lee, T. C. (2020). Review on the fabrication of fused deposition modelling (FDM) composite filament for biomedical applications. *Materials Today: Proceedings*, *29*, 228–232. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.535

Onwubolu, G. C., & Rayegani, F. (2014). Characterization and Optimization of Mechanical Properties of ABS Parts Manufactured by the Fused Deposition Modelling Process. *International Journal of Manufacturing Engineering*, *2014*(1), 598531. https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2014/598531

Rajan, K., Samykano, M., Kadirgama, K., Harun, W. S. W., & Rahman, M. M. (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *120*(3), 1531–1570. https://doi.org/10.1007/s00170-022-08860-7

Rajpurohit, S. R., & Dave, H. K. (2018). Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part. *Rapid Prototyping Journal*, *24*(8), 1317–1324. https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2017-0134

Rodríguez-Panes, A., Claver, J., & Camacho, A. M. (2018). The Influence of Manufacturing Parameters on the Mechanical Behaviour of PLA and ABS Pieces Manufactured by FDM: A Comparative Analysis. In *Materials* (Vol. 11, Issue 8, p. 1333). https://doi.org/10.3390/ma11081333

Shofner, M. L., Lozano, K., Rodríguez-Macías, F. J., & Barrera, E. V. (2003). Nanofiber-reinforced polymers prepared by fused deposition modeling. *Journal of Applied Polymer Science*, *89*(11), 3081–3090. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.12496

Sood, A. K., Equbal, A., Toppo, V., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2012). An investigation on sliding wear of FDM built parts. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *5*(1), 48–54. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2011.08.003

Sood, A. K., Ohdar, R. K., & Mahapatra, S. S. (2012). Experimental investigation and empirical modelling of FDM process for compressive strength improvement. *Journal of Advanced Research*, *3*(1), 81–90. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jare.2011.05.001

T., S., P., S., & M.S., A. (2020). A review on advancements in applications of fused deposition modelling process. *Rapid Prototyping Journal*, *26*(4), 669–687. https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2018-0199

Taufik, M., & Jain, P. K. (2022). Part surface quality improvement studies in fused deposition modelling process: a review. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, *20*(2), 527–551. https://doi.org/10.1080/14484846.2020.1723342

Wong, K. V, & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *International Scholarly Research Notices*, *2012*(1), 208760. https://doi.org/https://doi.org/10.5402/2012/208760

Ziemian, S., Okwara, M., & Ziemian, C. W. (2015). Tensile and fatigue behavior of layered acrylonitrile butadiene styrene. *Rapid Prototyping Journal*, *21*(3), 270–278. https://doi.org/10.1108/RPJ-09-2013-0086

Zou, R., Xia, Y., Liu, S., Hu, P., Hou, W., Hu, Q., & Shan, C. (2016). Isotropic and anisotropic elasticity and yielding of 3D printed material. *Composites Part B: Engineering*, *99*, 506–513. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.06.009

TRANSFORMER TABANLI DERIN ÖĞRENME MODELLERI KULLANARAK OTOSKOPIK GÖRÜNTÜLERDEN ORTA KULAK HASTALIKLARININ SINIFLANDIRILMASI

CLASSIFICATION OF MIDDLE EAR DISEASES FROM OTOSCOPIC IMAGES USING TRANSFORMER-BASED DEEP LEARNING MODELS

Alihan GÜRSOY
Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı
ORCID NO: 0009-0001-9915-3693

Serhat KILIÇARSLAN
Doç.Dr., Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Anabilim Dalı
ORCID NO: 0000-0001-9483-4425

ÖZET

Orta kulak hastalıklarının doğru ve hızlı sınıflandırılması, işitme kaybının önlenmesi ve uygun tedavi yöntemlerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada orta kulak görüntülerinin sınıflandırılmasında DenseNet121, EfficientNetB0, VGG19, ResNet50 ve InceptionV3 gibi yaygın konvolüsyonel sinir ağı (CNN) mimarilerinin performansı kapsamlı biçimde değerlendirilmiş ve Adam, SGD ile RMSProp optimizasyon algoritmalarının sınıflandırma başarımına etkileri Precision, Recall, F1-Score ve Accuracy metrikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, optimizer seçiminin model performansı üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle InceptionV3 modeli SGD optimizasyonu ile Precision (0,988), Recall (0,988), F1-Score (0,987) ve Accuracy (0,988) değerleriyle en yüksek performansı elde ederken, ResNet50 modeli tüm optimizasyon algoritmalarında dengeli ve istikrarlı sonuçlar sunmuştur. Adam optimizasyon algoritması genel olarak birçok modelde yüksek ve kararlı performans sağlarken, RMSProp bazı modellerde performans düşüşüne neden olmuştur. Bulgular hem model mimarisinin hem de optimizasyon algoritmasının orta kulak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasında kritik rol oynadığını ortaya koymakta ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesi için önemli bir temel sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Orta Kulak Hastalıkları, Derin Öğrenme, Görüntü Sınıflandırma, Optimizasyon Algoritmaları

ABSTRACT

Middle ear diseases must be sorted quickly and correctly to protect hearing plus to choose the right treatment. We tested five standard convolutional neural networks - DenseNet121, EfficientNetB0, VGG19, ResNet50 and InceptionV3 - on pictures taken inside the ear. Each network was trained with Adam, SGD or RMSProp and we judged the results with Precision, Recall, F1-Score and Accuracy. The numbers showed that the choice of optimizer alters the result. InceptionV3 trained with SGD reached the top scores - Precision 0.988, Recall 0.988, F1-Score 0.987, Accuracy 0.988. ResNet50 kept almost the same scores no matter which optimizer we tried. Adam gave strong but also steady numbers for most networks, while RMSProp lowered the scores for some. The outcome confirms that both the network design and the optimizer decide how well a computer can label middle ear disease as well as this work supplies a solid step toward software that helps doctors choose treatment.
Keywords: Middle Ear Diseases, Deep Learning, Image Classification, Optimization Algorithms.

GİRİŞ

Orta kulak hastalıklarının erken teşhisi işitme kaybının önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Erken tanı, hem kalıcı işitme bozukluklarının gelişmesini azaltmakta hem de tedavi başarısını anlamlı şekilde artırmaktadır. Bu nedenle doğru ve zamanında yapılan değerlendirmeler, çocuklarda uzun dönem işitsel ve gelişimsel sonuçlar açısından kritik öneme sahiptir (Minovi & Dazert, 2014; Mansour et al., 2018).

Orta kulak hastalıkları klinik pratikte birbirinden farklı patofizyolojik süreçlere sahip olsa da otoskopik görüntülerde çoğu zaman benzer görsel özellikler sergileyebilmektedir.

Çalışmada ele alınan hastalık sınıfları adeziv otit, akut otit, kronik otit, seröz otit, süpüratif otit, timpanoskleroz, ventilasyon tüpü (VT) ve normal timpanik membran olmak üzere sekiz farklı klinik durumu içermektedir. Adeziv otitis media'da kulak zarının orta kulak duvarına yapışmasına yol açan histopatolojik değişiklikler görülebilirken (Ensari et al., 2001), kronik otitis media ve süpüratif otitis mediada süregen inflamasyon ve yapısal değişiklikler ortaya çıkabilmektedir (Paksoy et al., 2004; Akdeniz & Turan, 2021). Seröz otit ise orta kulakta sıvı birikimi ile karakterizedir ve özellikle akut otit veya adeziv otit gibi durumlarla karıştırılabilmektedir. Timpanoskleroz olgularında kulak zarında kalsifik plaklar izlenirken, bazı vakalarda kolesteatom veya diğer kronik patolojilerle birliktelik gösterebildiği bildirilmektedir (Akdeniz & Turan, 2021; Toprak et al., 2008).
Bu patolojilerin kulak zarında kızarıklık, opasite artışı, efüzyon, retraksiyon, skar dokusu veya yapışıklık gibi çok farklı klinik bulgularla seyretmesine rağmen, görsel benzerlikleri nedeniyle ayırıcı tanı çoğu zaman güçleşmektedir. Orta kulak enfeksiyonlarında uygun tedavi yaklaşımının doğru tanı ile doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Aksoy & Hacımustafaoğlu, 2023). Ayrıca kronik efüzyonlu otitis media gibi durumlarda hematolojik belirteçlerdeki değişikliklerin dahi tanısal açıdan önem taşıdığı bildirilmektedir (Jafarov & İnan, n.d.). Bu nedenle orta kulak patolojilerinin doğru şekilde sınıflandırılması hem klinik yönetim hem de tedavi stratejilerinin belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.
Son yıllarda derin öğrenme tabanlı yöntemler, tıbbi görüntü analizi alanında çarpıcı ilerlemeler kaydetmiş ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol üstlenmiştir. Makine öğrenmesinin geleneksel yaklaşımlarının belirli karmaşık tıbbi görüntüleme problemlerinde yetersiz kalması, daha derin ve çok katmanlı yapılara sahip modellerin geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Özellikle derin öğrenme yöntemleri; hastalıkların erken tanısında, uzman görüşleri arasındaki farklılıkların azaltılmasında ve büyük hacimli tıbbi görüntülerin otomatik olarak işlenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Kaya et al., 2019). Medikal görüntülerde segmentasyon, sınıflandırma ve patoloji tespiti gibi görevlerde yüksek başarı oranları elde edilebilmesi, derin öğrenme yöntemlerinin güçlü temsil kapasitesinden kaynaklanmaktadır. MRI, BT, PET, mamografi ve otoskopi gibi farklı modalitelerde yapılan çalışmalarda, derin öğrenme modellerinin karmaşık yapısal örüntüleri öğrenme ve genelleme kabiliyeti, bu yöntemlerin sağlık alanında geniş bir kullanım alanı bulmasına olanak tanımıştır (Eker & Duru, 2021; Shen et al., 2017).
Bu çalışmada, orta kulak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasına yönelik derin öğrenme tabanlı yöntemlerin performansı kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, DenseNet121, EfficientNetB0, VGG19, ResNet50 ve InceptionV3 gibi yaygın olarak kullanılan konvolüsyonel sinir ağı (CNN) mimarileri sistematik olarak karşılaştırılmıştır (Nandhini & Ashokkumar, 2022; Patel et al., 2023; Pillai et al., 2023). Ayrıca Adam, SGD ve RMSProp optimizasyon algoritmalarının sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri ayrıntılı şekilde incelenmiş ve modellerin başarımı Precision, Recall, F1-Score ve Accuracy metrikleri üzerinden analiz edilmiştir (Kumar et al., 2019).
Elde edilen deneysel bulgular, CNN tabanlı modeller arasında performans farklılıklarının hem mimari yapıya hem de kullanılan optimizasyon algoritmasına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Özellikle InceptionV3 modeli SGD optimizasyonu ile tüm değerlendirme metriklerinde en yüksek doğruluk oranlarına ulaşarak diğer model–optimizer kombinasyonlarına kıyasla üstün performans sergilemiştir. ResNet50 modeli ise farklı optimizasyon algoritmaları altında dengeli ve istikrarlı sonuçlar sunarak güçlü bir genelleme kabiliyeti ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, orta kulak hastalıklarının otomatik teşhisinde uygun model ve optimizasyon algoritması seçiminin kritik öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Literatür Taraması

Melanomun erken teşhisine yönelik yapılan çalışmalarda derin öğrenme tabanlı yaklaşımların giderek daha etkili sonuçlar verdiği görülmektedir. Nitekim ilgili çalışmada, cilt kanserinin en tehlikeli türü olan melanomun otomatik tespiti için önerilen C4Net modeli kapsamlı bir biçimde değerlendirilmiş ve hem AlexNet, GoogLeNet, ResNet, VGGNet gibi mevcut derin öğrenme mimarileri hem de yapay sinir ağları, k-en yakın komşu ve destek vektör makineleri gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen C4Net modelinin %96,94 doğruluk oranına ulaşarak diğer yöntemlerin üzerinde bir performans sergilediğini göstermektedir (Yıldız, 2019).

Bu çalışma, tıbbi görüntülemede makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmalarının kullanımını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Derin öğrenme, özellikle CNN tabanlı yöntemler aracılığıyla, hastalıkların erken belirtilerini tespit etmek ve görüntülerden anlamlı örüntüler çıkarmak için güçlü bir araç olarak sunulmaktadır. Çalışma ayrıca mevcut yöntemlerin avantajlarını ve sınırlılıklarını tartışarak, tıbbi görüntüleme alanındaki gelecekteki araştırma yönlerine ışık tutmaktadır (Latif et al., 2019).
Bu çalışma, yapay zekânın tıbbi görüntüleme alanında giderek daha dönüştürücü bir teknoloji hâline geldiğini vurgulamaktadır. Makine öğrenimi, derin öğrenme ve radyomiklerin; lezyon tespiti, sınıflandırma, otomatik segmentasyon ve görüntü yeniden oluşturma gibi birçok klinik görevi daha hızlı ve düşük hata oranıyla gerçekleştirebildiği belirtilmektedir (Currie et al., 2020).
Bu çalışma, farklı hastalıkları tespit ve sınıflandırmada kullanılan ML/DL yöntemlerini inceleyen kapsamlı bir literatür taraması sunar ve MRI verileriyle yapılan deneylerle bu yöntemleri karşılaştırır. Makine Öğrenimi (ML) ve Derin Öğrenme (DL), tıbbi görüntülerden hastalık tespitinde hızla gelişmekte olduğunu; ML büyük veriyle sınırlıyken, DL çok katmanlı yapay sinir ağları sayesinde büyük veriyle daha iyi çalıştığını göstermektedir (Rana & Bhushan, 2023).
Bu çalışma, makine öğrenimi algoritmalarının görüntü tanımadaki yükselişiyle tıbbi görüntülemenin dijitalleşmesinin birleşerek sağlık alanında önemli bir potansiyel oluşturduğunu göstermektedir. Derin öğrenme, özellikle CNN yapıları, manuel özellik çıkarımına gerek duymadan büyük veriden karmaşık örüntüleri öğrenerek sınıflandırma ve lezyon tespiti gibi görevlerde yüksek doğruluk sağlamaktadır. Bu nedenle otomatik ve güvenilir yapay zekâ modellerinin tıbbi görüntü analizinde kullanılması, teşhis hatalarını azaltma ve klinik iş akışlarını iyileştirme açısından kritik bir fırsat sunmaktadır (Ker et al., 2017).
Bu çalışma, cilt kanserinin erken teşhisi için MetaFormer tabanlı yeni bir derin öğrenme modeli önermekte ve geleneksel dikkat mekanizmaları yerine odaklı öz-dikkat yaklaşımı kullanarak daha etkili özellik çıkarımı sağlamaktadır. Model, ISIC 2019 ve HAM10000 veri setlerinde yüksek doğruluk ve F1 skorları elde ederek hem CNN hem de ViT tabanlı yöntemleri geride bırakmıştır. Hafif yapısı sayesinde gerçek zamanlı ve mobil uygulamalara uygun olması, klinik kullanım potansiyelini artırmaktadır (Pacal et al., 2025).
Bu çalışma, EfficientNetV2 ile Vision Transformer'ı birleştirerek meme kanseri görüntülerinin daha doğru sınıflandırılmasını amaçlamaktadır. BreakHis veri seti üzerinde yapılan deneylerde, EfficientNetV2'nin üç farklı varyantı ile çıkarılan özelliklerin ViT modeli tarafından işlenmesi sayesinde ikili sınıflandırmada %99,83, çok sınıflı sınıflandırmada ise %98,10 doğruluk elde edilmiştir. Bu sonuçlar, hibrit EffNetV2–ViT yaklaşımının meme kanseri tespitinde son derece etkili ve güçlü bir yöntem olduğunu göstermektedir (Hayat et al., 2024).
Bu çalışma, tıbbi görüntülemede sınırlı anotasyon sorununu aşmak için CNN ve Vision Transformer (ViT) mimarilerini birleştiren gelişmiş bir yarı denetimli segmentasyon yöntemi önermektedir. Model, her iki yapının ürettiği tutarlılık odaklı sahte etiketleri karşılıklı olarak kullanarak veri çeşitliliğini artırmakta ve performansı güçlendirmektedir. Deneysel sonuçlar, önerilen yaklaşımın kamuya açık bir benchmark veri setinde üstün başarı sağlayarak mevcut yöntemleri geride bıraktığını göstermektedir (Wang et al., 2023).
Bu çalışma, sınırlı ve çizgi (scribble) tabanlı anotasyonlarla tıbbi görüntü segmentasyonunu iyileştirmek için CNN, ViT ve Visual Mamba mimarilerini birleştiren Weak-Mamba-UNet adlı zayıf denetimli bir framework önermektedir. Üç farklı yapının ürettiği pseudo-label'lar karşılıklı olarak modelleri besleyerek hem yerel detayları hem de küresel bağımlılıkları daha etkili öğrenmesini sağlamaktadır. MRI kalp segmentasyonu üzerinde yapılan deneyler, bu yaklaşımın yalnızca UNet veya SwinUNet tabanlı yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk sunduğunu göstermektedir (Wang & Ma, 2024).

YÖNTEM

Veriseti

Bu çalışmada kullanılan veri seti, orta kulak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasına yönelik olarak oluşturulmuş olup sekiz farklı klinik sınıf içermektedir. Bu sınıflar; adeziv otit, akut otit, kronik otit, seröz otit, süpüratif otit, timpanoskleroz, ventilasyon tüpü (VT) ve normal timpanik membran durumlarından oluşmaktadır. Veri seti, Bandırma Devlet Hastanesi Kulak Burun Boğaz (KBB) bölümünde elde edilen toplam 490 adet orta kulak görüntüsünden oluşmakta olup model eğitimi ve performans değerlendirmesi amacıyla kullanılmıştır.

Adeziv otitis media, sekretuvar otitis medianın ileri bir komplikasyonu olup timpanik membranın hareket kısıtlılığı ve orta kulak mukozasında yaygın atrofi ile karakterizedir. Histolojik olarak timpanik membran ve orta kulak mukozasında epitel kaybı, fibrotik değişiklikler ve inflamatuvar hücre infiltrasyonu izlenmekte, hastalığın yalnızca kulak zarını değil orta kulağın tüm yumuşak dokularını etkilediği gösterilmektedir (Ensari et al., 2001).

Akut otitis media, özellikle çocuklarda sık görülen ve timpanik membranın bombeleşmesi, kulak ağrısı ve ateş gibi sistemik belirtilerle seyreden bir orta kulak enfeksiyonudur. Uygun şekilde tedavi edilmediğinde işitme kaybına bağlı konuşma ve dil gelişiminde sorunlara yol açabileceğinden erken tanı ve doğru tedavi büyük önem taşımaktadır (Ratnasari, 2023).

Kronik otitis media, orta kulakta uzun süre devam eden enfeksiyon ve inflamasyon sonucu timpanik membran ve orta kulak yapılarında kalıcı hasar oluşmasıyla karakterize bir hastalıktır. Genellikle sürekli veya tekrarlayan kulak akıntısı ve iletim tipi işitme kaybı ile seyreder ve tedavi edilmediğinde orta kulak kemikçiklerinde bozulmaya yol açabilir (Uygur et al., 2001).

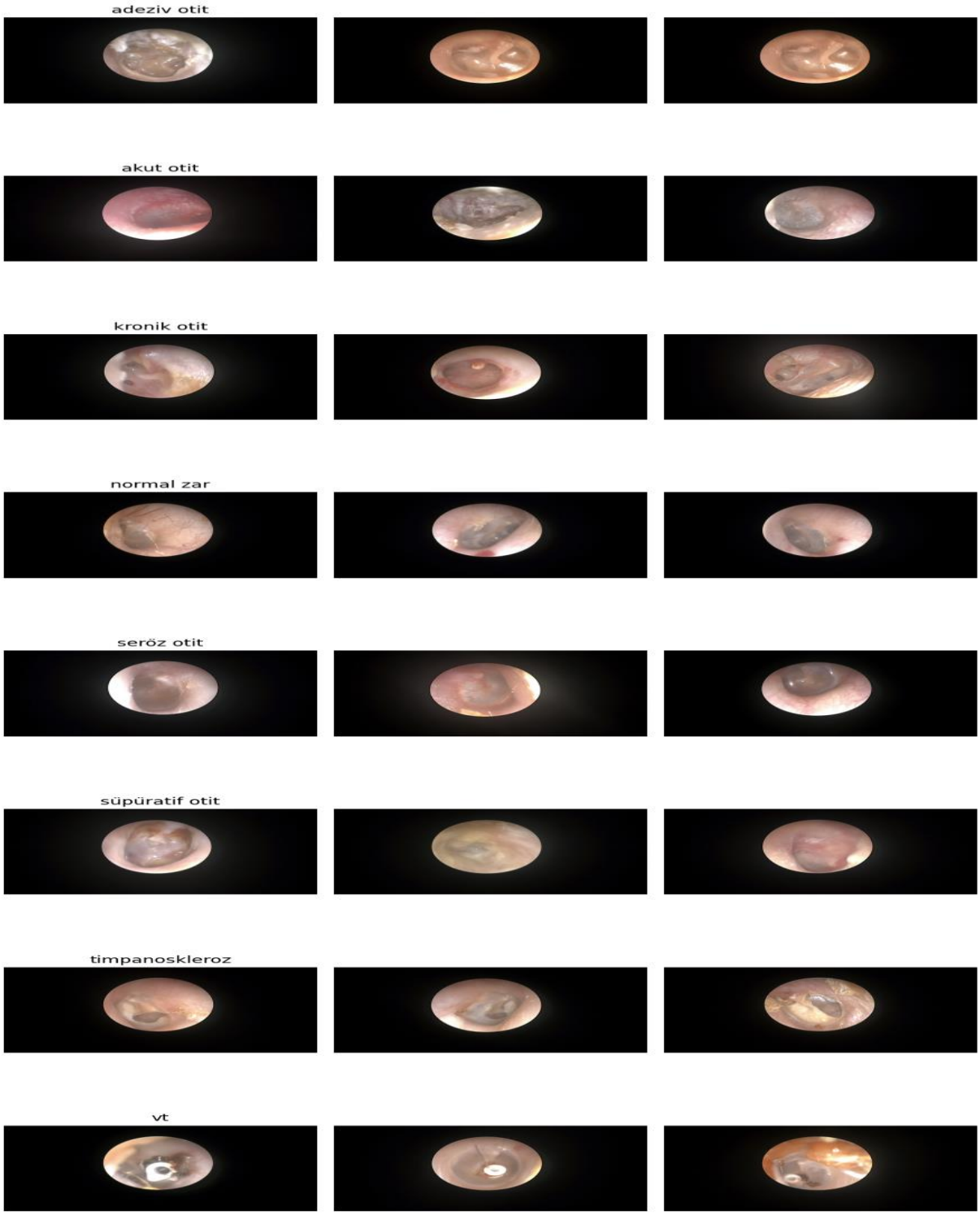
Seröz otitis media, akut enfeksiyon bulguları olmaksızın orta kulak boşluğunda sıvı birikimi ile karakterize, multifaktöriyel bir hastalıktır. Östaki tüpü disfonksiyonu başta olmak üzere alerjik zemin, üst solunum yolu patolojileri ve nazofarengeal faktörler hastalığın gelişiminde önemli rol oynamaktadır (Özünlü et al., 1996).

Kronik süpüratif otitis media, orta kulak ve mastoid yapıları etkileyen, genellikle sürekli kulak akıntısı ve işitme kaybı ile seyreden kronik bir enfeksiyon hastalığıdır. Uygun şekilde tedavi edilmediğinde ciddi lokal ve intrakraniyal komplikasyonlara yol açabileceğinden erken tanı ve etkin tedavi büyük önem taşır (İncesulu, 2005).

Timpanoskleroz, genellikle orta kulak efüzyonları sonrası gelişen ve kulak zarı ile orta kulak yapılarında kireçlenme-sertleşme ile karakterize bir hastalıktır. Bu durum, özellikle çocukluk çağında görülen ve yeterince tedavi edilmeyen orta kulak hastalıklarının bir sonucu olarak ortaya çıkabilir ve iletim tipi işitme kaybına yol açabilir (Öztürk, 2007).

Ventilasyon tüpü (VT), özellikle sekretuar ve rekürren otitis media tedavisinde orta kulağın havalanmasını sağlamak amacıyla timpanik membrana yerleştirilen küçük bir tüptür. Orta kulak basıncını dengeleyerek sıvı birikimini azaltır ve işitmeyi düzeltir; ancak cerrahi bir işlem olduğu için otore, timpanoskleroz ve perforasyon gibi bazı komplikasyonlara yol açabilir (Yasan et al., n.d.).

Normal timpanik membran, otoskopik muayenede yarı saydam, parlak ve bütünlüğü korunmuş bir yapı olarak izlenir. Enflamasyon, sıvı birikimi, retraksiyon ya da renk değişikliği göstermemesi ve ışık refleksinin doğal görünümünü koruması sağlıklı bir orta kulak fonksiyonunu yansıtır (Başaran et al., 2021).

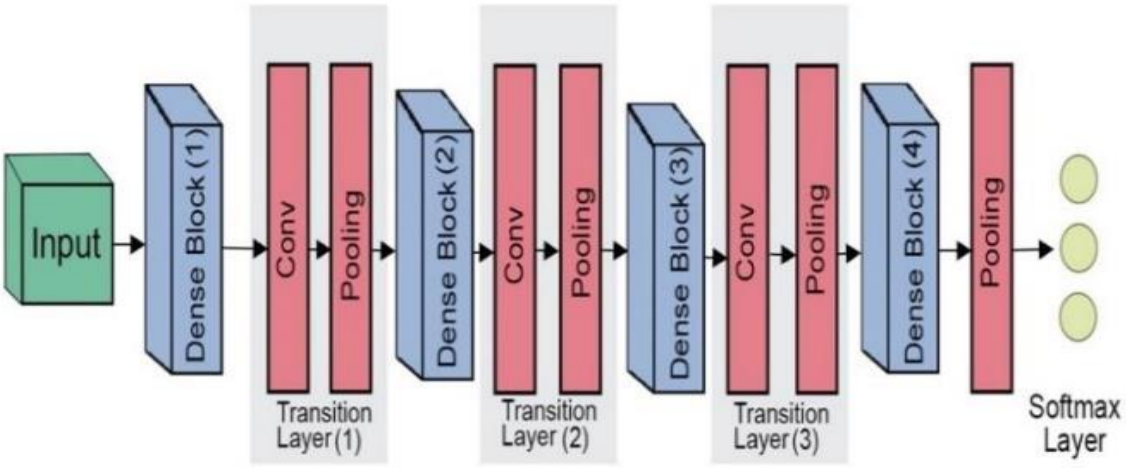


Şekil 1. Veriseti görselleri

Her tarla için hastalığın bulunma oranı belirlendikten, tartılı ortalama ile o bölgeye ait hastalık bulunma oranları saptanmıştır. Her tarla için bulunan hastalık bulunma oranı, o tarlanın alanı ile çarpılarak elde edilen çarpımlar toplanmış ve bu toplam maksimum hastalık olasılığına (İncelenen toplam alan × 100) bölünerek, sonuç 100 ile çarpılıp Yozgat ilinin ortalama hastalık bulunma oranı belirlenmiştir.

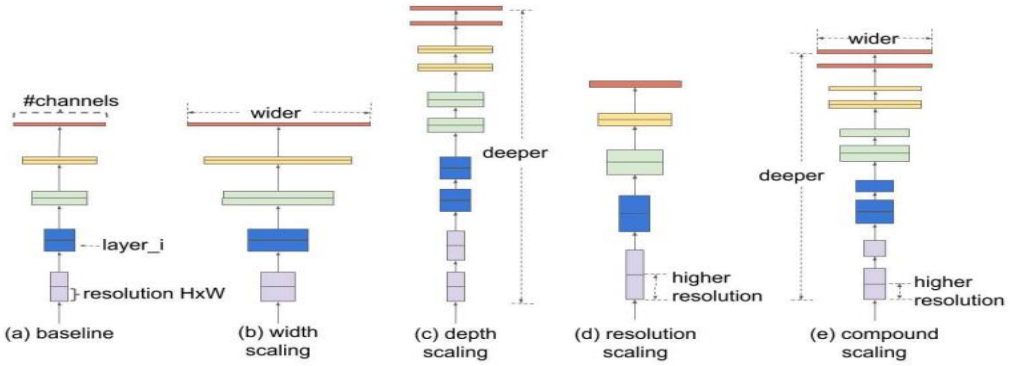
Kullanılan Modeller

DenseNet (Dense Convolutional Network), katmanlar arasında yoğun (dense) bağlantılar kurarak bilgi akışını güçlendiren bir konvolüsyonel sinir ağı mimarisidir. Bu yapıda her katman, yalnızca bir önceki katmandan değil, kendisinden önceki tüm katmanlardan özellik haritalarını girdi olarak alır ve kendi ürettiği çıktıları da sonraki tüm katmanlara iletir. Bu yoğun bağlantı yapısı, gradyan kaybını azaltarak daha derin ağların etkili şekilde eğitilmesini sağlar, özellik yeniden kullanımını teşvik eder ve parametre sayısını azaltarak modeli daha verimli hale getirir. Özellikle DenseNet-121 mimarisi, derin yapısına rağmen daha az parametre ile yüksek doğruluk sunması nedeniyle tıbbi görüntü analizi gibi karmaşık görsel sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Vellaichamy et al., 2021; Albelwi, 2022).



Şekil 2. DenseNet-121 Model (Albelwi, 2022)

EfficientNetB0, Google tarafından önerilen EfficientNet ailesinin temel (baseline) modelidir. Doğruluk ile hesaplama maliyeti arasında dengeli performans sunan bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) modelidir. Derinlik, genişlik ve giriş çözünürlüğünü birlikte ölçekleyen bileşik ölçekleme yöntemi sayesinde daha az parametre ile yüksek başarı elde eder. Hafif ve verimli yapısı nedeniyle özellikle tıbbi görüntü sınıflandırma çalışmalarında sıkça tercih edilmektedir (R et al., 2024; Upadhyay et al., 2024).



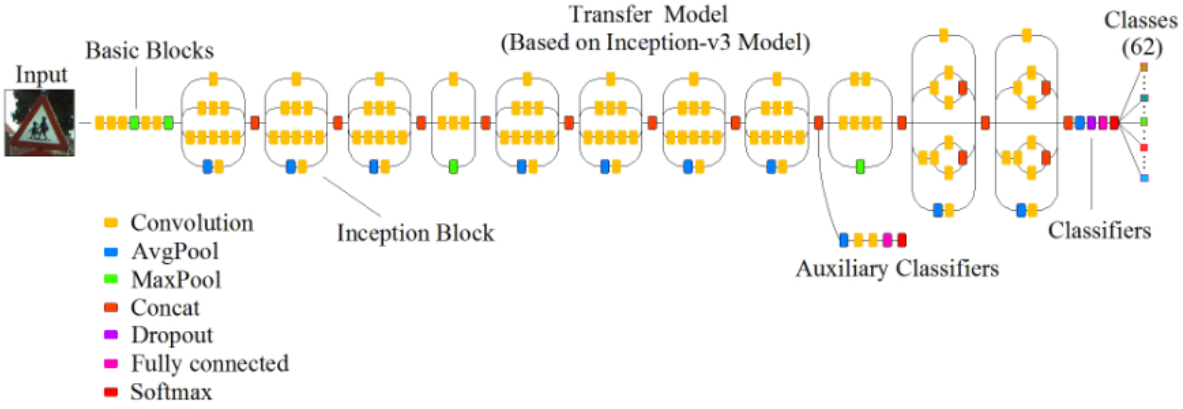
Şekil 3. EfficientNetB0 Model (Upadhyay et al., 2024)

VGG19, görüntü sınıflandırma görevleri için geliştirilen derin bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) mimarisidir. Model, 16 konvolüsyon katmanı ve 3 tam bağlı katman olmak üzere toplam 19 katmandan oluşur ve küçük boyutlu (3×3) filtreler kullanarak görüntüden detaylı özellikler çıkarmayı amaçlar. Basit ve düzenli mimari yapısı sayesinde öğrenmesi kolaydır ve birçok görüntü işleme uygulamasında yüksek doğruluk sağlamaktadır.

Özellikle derin yapısı sayesinde karmaşık görsel özellikleri başarılı şekilde yakalayabilmesi nedeniyle tıbbi görüntü analizi ve nesne sınıflandırma çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir (CENTCON, 2021).

ResNet50, 50 katmandan oluşan ve "residual learning" (artık öğrenme) yaklaşımını kullanan derin bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) mimarisidir. Bu yapıda kullanılan artık (skip) bağlantılar sayesinde gradyan kaybı problemi azaltılır ve daha derin ağların etkili şekilde eğitilmesi mümkün olur. ImageNet üzerinde önceden eğitilmiş ağırlıkları bulunduğu için transfer learning (ince ayar) çalışmalarında yaygın olarak tercih edilir ve birçok görüntü sınıflandırma probleminde güçlü bir referans model olarak kullanılmaktadır (Apress, 2021).

InceptionV3, Google tarafından geliştirilen ve Inception mimarisine dayanan derin bir konvolüsyonel sinir ağı (CNN) modelidir. Model, aynı katman içinde farklı boyutlardaki filtreleri paralel olarak kullanarak çok ölçekli özellik çıkarımı yapar ve bu çıktıları birleştirir. 1×1 konvolüsyonlar sayesinde parametre sayısını azaltarak hesaplama maliyetini düşürürken, büyük filtreleri daha küçük filtrelere bölerek verimliliği artırır. Yardımcı sınıflandırıcılar (auxiliary classifiers) kullanması sayesinde eğitim sürecini daha kararlı hâle getirir ve gradyan kaybı problemini azaltır. Yüksek doğruluğu ve transfer learning'e uygun yapısı nedeniyle görüntü sınıflandırma çalışmalarında yaygın olarak tercih edilmektedir (Lin et al., 2019; Meena et al., 2023).



Şekil 4. InceptionV3 Model (Lin et al., 2019)

Optimizasyon Algoritmaları

Adam (Adaptive Moment Estimation), derin öğrenme modellerinin eğitiminde yaygın olarak kullanılan, öğrenme oranını her parametre için uyarlamalı olarak ayarlayan bir optimizasyon algoritmasıdır. Birinci moment (ortalama gradyan) ve ikinci moment (gradyanların karesinin ortalaması) tahminlerini birlikte kullanarak hızlı yakınsama sağlar ve gürültülü gradyanlara karşı daha kararlı bir öğrenme süreci sunar. Bu özellikleri sayesinde özellikle derin ve karmaşık ağların eğitiminde etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Improved Adam optimizer for deep neural networks, 2018).

Stochastic Gradient Descent (SGD), sinir ağlarını eğitmek için kullanılan en temel optimizasyon algoritmalarından biridir. SGD, modelin hata fonksiyonunu minimize etmek amacıyla ağırlıkları, her iterasyonda rastgele seçilen küçük veri gruplarına (mini-batch) göre günceller. Bu yaklaşım, klasik gradient descent'e göre daha hızlı ve hesaplama açısından daha verimlidir. SGD genellikle daha yavaş yakınsasa da, özellikle eğitim sürecinin ilerleyen aşamalarında daha iyi genelleme performansı sunmasıyla bilinir. Momentum gibi ek tekniklerle birlikte kullanıldığında hem daha kararlı hem de daha etkili sonuçlar elde edilebilmektedir (Keskar & Socher, 2017).

RMSProp (Root Mean Squared Propagation), derin öğrenmede kullanılan adaptif bir optimizasyon algoritmasıdır. Her parametre için öğrenme oranını dinamik olarak ayarlayarak daha kararlı ve hızlı yakınsama sağlar. Gradyanların karelerinin üstel hareketli ortalamasını kullanarak büyük güncellemeleri sınırlar ve eğitim sürecindeki dalgalanmaları azaltır. Bu nedenle özellikle derin sinir ağlarında yaygın olarak tercih edilir (Elshamy et al., 2023).

Metrikler

Derin öğrenme tabanlı sınıflandırma modellerinin performansını değerlendirmek amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan temel ölçütler arasında doğruluk (accuracy), kesinlik (precision), duyarlılık (recall/sensitivity) ve F1-skoru yer almaktadır. Bu metrikler, eğitilmiş bir modelin hem tahmin doğruluğunu hem de genelleme kapasitesini nicel olarak ortaya koymak için kullanılmaktadır. Accuracy, doğru sınıflandırılan örneklerin toplam örnek sayısına oranını ifade ederken; precision, pozitif olarak tahmin edilen örnekler içerisindeki doğru pozitiflerin oranını göstermektedir. Recall ise gerçek pozitif örneklerin ne kadarının doğru biçimde tespit edilebildiğini ölçerek özellikle yanlış negatiflerin kritik olduğu alanlarda önemli bir değerlendirme ölçütü sunmaktadır. Precision ve recall metriklerini birlikte ele alan F1-skoru, bu iki ölçütün harmonik ortalamasını temsil etmekte olup, sınıf dengesizliğinin bulunduğu ve hata maliyetinin yüksek olduğu tıbbi görüntü işleme gibi hassas alanlarda sıklıkla tercih edilmektedir (Naidu et al., 2023).

$$Recall = \mathrm{TP} / (\mathrm{TP} + \mathrm{FN})$$
$$\mathrm{Precision} = \mathrm{TP} / (\mathrm{TP} + \mathrm{FP})$$
$$F1 - Score = (2 \times \mathrm{TP}) / (2 \times \mathrm{TP} + \mathrm{FP} + \mathrm{FN})$$
$$Accuracy = (\mathrm{TP} + \mathrm{TN}) / (\mathrm{TP} + \mathrm{TN} + \mathrm{FP} + \mathrm{FN})$$

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, orta kulak hastalıklarının sınıflandırılmasına yönelik olarak farklı CNN tabanlı derin öğrenme mimarilerinin (DenseNet121, EfficientNetB0, VGG19, ResNet50 ve InceptionV3) performansları, Adam, SGD ve RMSProp optimizasyon algoritmaları altında kapsamlı biçimde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, hem mimari tasarımın hem de optimizasyon stratejisinin sınıflandırma başarımı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Model–optimizasyon kombinasyonlarına bağlı olarak performansın önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir.

Precision, recall, F1-skoru ve accuracy metrikleri birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek performansın InceptionV3 modelinin RMSProp optimizasyonu ile elde edildiği görülmektedir (%98,8 accuracy; 0,987 F1-skoru). Bununla birlikte DenseNet121 modeli SGD ile %98,2 doğruluk oranına ulaşarak oldukça güçlü bir performans sergilemiş, VGG19 modeli ise Adam optimizasyonu altında %98,0 doğruluk değeri elde etmiştir. ResNet50 modeli tüm optimizasyon algoritmaları altında dengeli ve yüksek sonuçlar üretmiş, özellikle RMSProp ile istikrarlı bir performans göstermiştir. Bu durum, bazı mimarilerin farklı optimizasyon stratejilerine karşı daha dayanıklı ve stabil bir yapı sunduğunu göstermektedir.

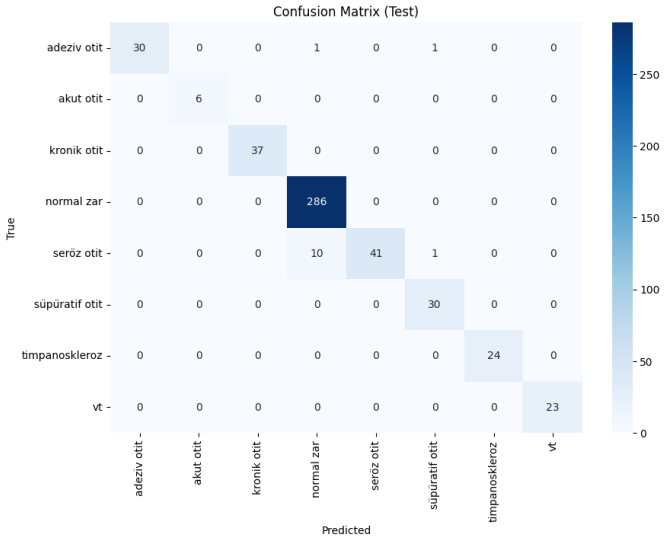
Öte yandan, bazı mimari–optimizasyon eşleşmelerinde belirgin performans düşüşleri gözlemlenmiştir. Özellikle VGG19 + RMSProp ve EfficientNetB0 + SGD kombinasyonlarında precision ve F1-skoru değerlerinin ciddi biçimde azaldığı dikkat çekmektedir. Bu bulgu, her optimizasyon algoritmasının her mimari ile aynı düzeyde uyum sağlamadığını ve uygun kombinasyon seçiminin kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın devamında, en yüksek performans gösteren modeller için confusion matrix analizleri gerçekleştirilerek sınıf bazlı hata dağılımları ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Genel olarak elde edilen sonuçlar, orta kulak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasında özellikle InceptionV3 + RMSProp kombinasyonunun güçlü ve güvenilir bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Modellerin optimizer değerleri

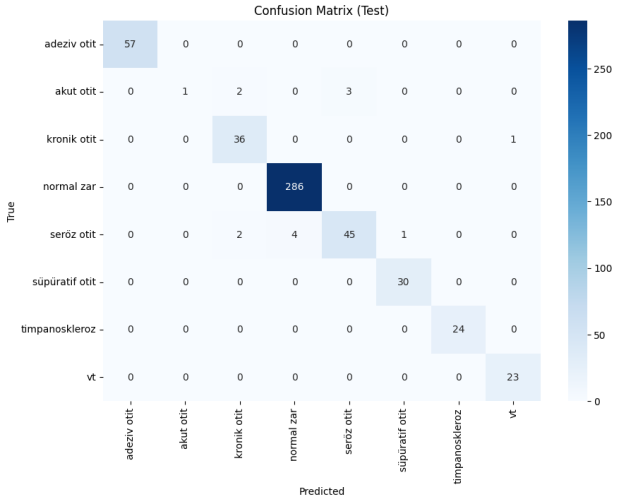
Model	Optimizer	Precision	Recall	F1 Score	Accuracy
DenseNet121	Adam	0,893	0,876	0,847	0,876
DenseNet121	SGD	0,948	0,982	0,976	0,982
DenseNet121	RMSProp	0,962	0,974	0,967	0,974
EfficientB0	Adam	0,963	0,952	0,951	0,951
EfficientB0	SGD	0,341	0,957	0,949	0,957
EfficientB0	RMSProp	0,855	0,829	0,805	0,829

VGG19	Adam	0,971	0,981	0,975	0,980
VGG19	SGD	0,930	0,938	0,930	0,939
VGG19	RMSProp	0,341	0,584	0,430	0,584
ResNet50	Adam	0,968	0,979	0,973	0,979
ResNet50	SGD	0,950	0,961	0,954	0,961
ResNet50	RMSProp	0,975	0,974	0,972	0,974
InceptionV3	Adam	0,944	0,908	0,908	0,909
InceptionV3	SGD	0,863	0,869	0,848	0,870
InceptionV3	RMSProp	0,988	0,988	0,987	0,988

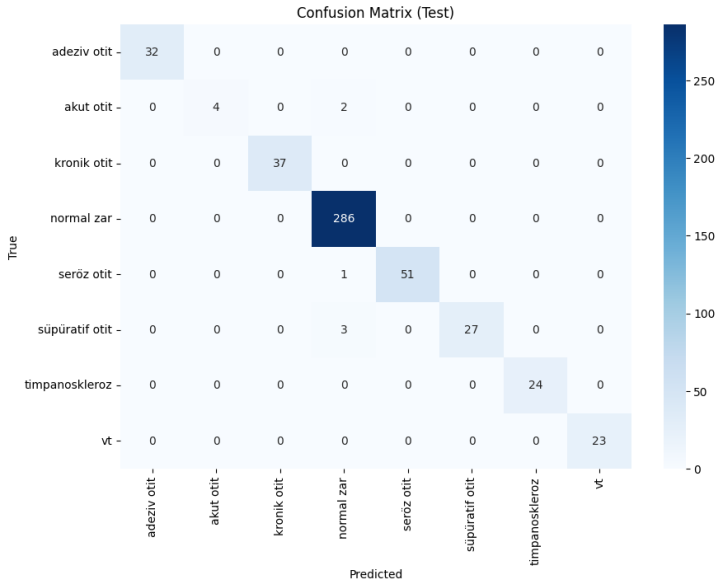
Tablolarda sunulan doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1-skoru değerleri birlikte değerlendirildiğinde, kullanılan tüm optimizasyon stratejileri arasında en yüksek ve en tutarlı sınıflandırma performansını InceptionV3 (RMSProp), ResNet50 (RMSProp) ve VGG19 (Adam) modellerinin sergilediği görülmektedir. Bu nedenle çalışmanın devamında ayrıntılı hata analizi ve sınıf bazlı performans değerlendirmesi amacıyla en iyi üç model olarak bu mimariler seçilmiş ve ilgili sonuçlar karmaşıklık (confusion) matrisi üzerinden sunulmuştur.



Şekil 5. InceptionV3 + RMSProp Matrix



Şekil 6. ResNet50 + RMSProp Matrix



Şekil 7. VGG19 + Adam Matrix

SONUÇ

Bu çalışmada, orta kulak hastalıklarının sınıflandırılmasına yönelik olarak farklı CNN tabanlı derin öğrenme mimarilerinin (DenseNet121, EfficientNetB0, VGG19, ResNet50 ve InceptionV3) performansları, Adam, SGD ve RMSProp optimizasyon algoritmaları altında karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, sınıflandırma başarımının yalnızca mimari seçimine değil, aynı zamanda kullanılan optimizasyon algoritmasına da güçlü biçimde bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Deneysel sonuçlar doğrultusunda en yüksek performansın InceptionV3 modelinin RMSProp optimizasyonu ile elde edildiği belirlenmiştir (%98,8 doğruluk; 0,987 F1-skoru). DenseNet121 modeli SGD ile, VGG19 modeli ise Adam ile yüksek doğruluk oranlarına ulaşarak başarılı sonuçlar üretmiştir. ResNet50 modeli ise farklı optimizasyon algoritmaları altında istikrarlı ve dengeli performans sergileyerek dikkat çekmiştir. Buna karşılık bazı mimari–optimizasyon kombinasyonlarında belirgin performans düşüşleri gözlemlenmiş, bu durum uygun optimizer seçiminin kritik önemini ortaya koymuştur.

Genel olarak çalışma sonuçları, orta kulak hastalıklarının otomatik sınıflandırılmasında doğru mimari–optimizasyon eşleşmesinin yüksek doğruluk ve dengeli sınıf performansı elde etmek açısından belirleyici olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, gelecekte geliştirilecek klinik karar destek sistemleri için güvenilir ve yüksek performanslı derin öğrenme modellerinin seçimine yönelik önemli çıkarımlar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

A comparison between VGG16, VGG19 and ResNet50 architecture frameworks for image classification. (2021). In 2021 International Conference on Disruptive Technologies for Multi-Disciplinary Research and Applications (CENTCON). IEEE. https://doi.org/10.1109/CENTCON52345.2021.9687944.

Akdeniz, H., & Turan, M. (2021). Timpanoskleroz ve kronik süpüratif otitis media olgularının sigmoid sinüs pozisyonu, yüksek juguler bulbus ve karotid arter dehissansı açısından karşılaştırılması. Van Tıp Dergisi, 28(2), 215–220. https://doi.org/10.5505/vtd.2021.28003

Aksoy, F. D., & Hacımustafaoğlu, M. K. (2023). What should be the most appropriate treatment approach (topical, systemic) in middle ear infection and ear discharge? Uludağ University Institutional Repository. https://acikerisim.uludag.edu.tr/

Albelwi, S. A. (2022). Deep architecture based on DenseNet-121 model for weather image recognition. International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)

Başaran, E., Cömert, Z., & Çelik, Y. (2021). Timpanik membran görüntü özellikleri kullanılarak sınıflandırılması. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 33(2), 441–453. https://doi.org/10.35234/fumbd.863118

Currie, G., Hawk, K. E., Rohren, E., Vial, A., & Klein, R. (2020). Machine learning and deep learning in medical imaging: Intelligent imaging. Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences, 51(4), 437–446. https://doi.org/10.1016/j.jmir.2019.09.005

Eker, A. G., & Duru, N. (2021). *Medikal görüntü işlemede derin öğrenme uygulamaları*. ACIN Journal of Informatics Technologies, 5(2), 459–474. https://doi.org/10.26650/acin.927561

Elshamy, R., Abu-Elnasr, O., Elhoseny, M., & Elmougy, S. (2023). Improving the efficiency of RMSProp optimizer by utilizing Nestrove in deep learning. Scientific Reports, 13, Article 8814.

Ensari, S., Can, B., Kaymakçı, M., & Güven, C. (2001). Adheziv otitis media'da histolojik çalışma. Turkiye Klinikleri Journal of Medical Research, 19(1), 20–23.

Hayat, M., Ahmad, N., Nasir, A., & Tariq, Z. A. (2024). Hybrid deep learning EfficientNetV2 and Vision Transformer (EffNetV2-ViT) model for breast cancer histopathological image classification. IEEE Access, 12, 184119–184131.

Improved Adam optimizer for deep neural networks. (2018, June 4–6). In Proceedings of the IEEE International Workshop on Quality of Service (IWQoS). IEEE. https://doi.org/10.1109/IWQoS.2018.8624183

İncesulu, A. (2005). Kronik süpüratif otitis media. Türkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences, 1(7), 66–70.

Jafarov, S., & İnan, S. (n.d.). Hematological markers in idiopathic chronic otitis media with effusion in adults. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Dergisi / Journal of Ear Nose Throat and Head Neck Surgery.

Kaya, U., Yılmaz, A., & Dikmen, Y. (2019). *Sağlık alanında kullanılan derin öğrenme yöntemleri*. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 792–808. https://doi.org/10.31590/ejosat.573248

Ker, J., Wang, L., Rao, J., & Lim, T. (2017). Deep learning applications in medical image analysis. IEEE Access, 6, 9375–9389. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2788044

Keskar, N. S., & Socher, R. (2017). Improving generalization performance by switching from Adam to SGD. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1712.07628

Kumar, A., Sarkar, S., & Pradhan, C. (2019). Malaria disease detection using CNN technique with SGD, RMSprop and ADAM optimizers. In Deep learning techniques for biomedical and health informatics (Studies in Big Data, Vol. 68, pp. 211–230). Springer.

Latif, J., Xiao, C., Imran, A., & Tu, S. (2019). Medical imaging using machine learning and deep learning algorithms: A review. In 2019 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICOMET.2019.8673502

Lin, C., Li, L., Luo, W., Wang, K. C. P., & Guo, J. (2019). Transfer learning based traffic sign recognition using Inception-v3 model. Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 47(3), 245–??. https://doi.org/10.3311/PPtr.11480.

Mansour S, Magnan J, Nicolas K, Haidar H. Middle Ear Diseases: Advances in Diagnosis and Management. Springer; 2018.

Meena, G., Mohbey, K. K., & Kumar, S. (2023). Sentiment analysis on images using convolutional neural networks based Inception-V3 transfer learning approach. Journal of Information and Intelligence, 1(1), Article 100174. https://doi.org/10.1016/j.jjimei.2023.100174.

Minovi A, Dazert S. Diseases of the middle ear in childhood. GMS Current Topics in Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery. 2014;13:Doc11. PMCID: PMC4273172. PMID: 25587371.

Naidu, G., Zuva, T., & Sibanda, E. M. (2023). A review of evaluation metrics in machine learning algorithms. In Artificial Intelligence Application in Networks and Systems (pp. 15–25). Lecture Notes in Networks and Systems (Vol. 724). Springer

Nandhini, S., & Ashokkumar, K. (2022). An automatic plant leaf disease identification using DenseNet-121 architecture with a mutation-based Henry gas solubility optimization algorithm. Neural Computing and Applications, 34, 5513–5534.

Öztürk, Ç. (2007). Timpanoskleroz epidemiyolojisi: Uludağ Üniversitesi Tıp Fakültesi Kulak Burun Boğaz Anabilim Dalı tecrübesi [Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi]. ProQuest Dissertations & Theses.

Özünlü, A., Gerek, M., Satar, B., Aktaş, D., & Dündar, A. (1996). Yetişkinlerde seröz otitis media etyopatogenezi. Kulak Burun Boğaz ve Baş Boyun Cerrahisi Dergisi, 4(2), 103–109.

Pacal, I., Ozdemir, B., Zeynalov, J., Gasimov, H., & Pacal, N. (2025). A novel CNN-ViT-based deep learning model for early skin cancer diagnosis. Biomedical Signal Processing and Control, 107627. https://doi.org/10.1016/j.bspc.2025.107627

Paksoy M,Şanlı A,Öztürk R,Çilcan MA,Evren C.Kronik Otitis Medianın Kulak Zarı,İşitme Fonksiyonları ve Orta Kulak Mukozasına Etkileri. Türk Otolarengoloji Arşivi,2004;42:17-22.

Patel, C. H., Undaviya, D., Dave, H., Degadwala, S., & Vyas, D. (2023). EfficientNetB0 for brain stroke classification on computed tomography scan. In 2023 2nd International Conference on Applied Artificial Intelligence and Computing (ICAAIC) IEEE.

Pillai, R., Sharma, A., Sharma, N., & Gupta, R. (2023). Brain tumor classification using VGG16, ResNet50, and Inception V3 transfer learning models. In 2023 2nd International Conference on … (IEEE).

R, M. T., Gupta, M., T. A., A., Kumar, V. V., Geman, O., & Kumar, V. D. (2024). An XAI-enhanced EfficientNetB0 framework for precision brain tumor detection in MRI imaging. Journal of Neuroscience Methods. https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2024.110227.

Rana, M., & Bhushan, M. (2023). Machine learning and deep learning approach for medical image analysis: Diagnosis to detection. Multimedia Tools and Applications, 82, 26731–26769. https://doi.org/10.1007/s11042-022-13490-5

Ratnasari, N. D. (2023). Diagnosis dan tatalaksana terkini otitis media akut: Tinjauan pustaka. Journal of Comprehensive Science (JCS), 2(11), 1770. https://doi.org/10.59188/jcs.v2i11.540

ResNet 50. (2021). In Convolutional neural networks with Swift for TensorFlow (pp. 63–72). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6168-2_6

Shen, D., Wu, G., & Suk, H.-I. (2017). Deep learning in medical image analysis. Annual Review of Biomedical Engineering, 19, 221–248. https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044442

Toprak, U., Durakoğlugil, T., Erdoğan, A., Paşaoğlu, E., Karademir, M. A., Altın, L., & Erhuner, Z. (2008). Timpanoskleroz ile kolesteatom birlikteliğinin literatür bilgileri ışığında değerlendirilmesi. Türk Otolarengoloji Arşivi, 61(1), 25–28. https://doi.org/10.1501/Tipfak_0000000589

Upadhyay, S. K., Jain, J., & Prasad, R. (2024). Early blight and late blight disease detection in potato using EfficientNetB0. International Journal of Experimental Research and Review, 38, 15–25. https://doi.org/10.52756/ijerr.2024.v38.002.

Uygur, K., Kılıçkaya, M., Tüz, M., Döner, F., & Doğru, H. (2001). Kronik otitis media cerrahisinde fonksiyonel sonuçlarımız. T Klin Kulak Burun Boğaz, 1, 148–153.

Vellaichamy, S. A., Swaminathan, A., Varun, C., & Kalaivani, S. (2021). Multiple plant leaf disease classification using DenseNet-121 architecture. International Journal of Electrical Engineering and Technology, 12(5), 38–57.

Wang, Z., & Ma, C. (2024). Weak-Mamba-UNet: Visual Mamba makes CNN and ViT work better for scribble-based medical image segmentation. arXiv:2402.10887. https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.10887

Wang, Z., Li, T., Zheng, J.-Q., & Huang, B. (2023). When CNN meet with ViT: Towards semi-supervised learning for multi-class medical image semantic segmentation. In Computer Vision – ECCV 2022 Workshops (pp. 424–441). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25066-8_26

Yasan, H., Özgan, A., Doğru, H., Tüz, M., & Uygur, K. (n.d.). Ventilasyon tüpü uygulaması sonrası komplikasyonlar.

Yıldız, O. (2019). Melanoma detection from dermoscopy images with deep learning methods: A comprehensive study. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34(4), 2241–2260.

SABİT EĞİMLİ VE GÜNEŞ TAKİPLİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN PERFORMANS VE TEKNO-EKONOMİK KARŞILAŞTIRMASI: KONYA, TÜRKİYE ÖRNEĞİ

COMPARATIVE PERFORMANCE AND TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF FIXED-TILT AND SOLAR TRACKING PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: A CASE STUDY OF KONYA, TÜRKIYE

Doston JURABOEV
Ankara Yildirim Beyazit University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical and Electronics Engineering
ORCID NO: 0009-0008-1212-5173

Yunus YALMAN
Asist. Prof. Dr., Ankara Yildirim Beyazit University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Electrical and Electronics Engineering
ORCID NO: 0000-0003-1032-9814

ÖZET

Küresel enerji talebinin artması, fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, bu kaynakların yol açtığı çevresel zararlar ve enerji maliyetlerindeki yükseliş, sürdürülebilir ve temiz enerji kaynaklarına olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkan güneş enerjisi hem çevresel avantajları hem de geniş uygulama alanları sayesinde elektrik üretimi için stratejik bir seçenek haline gelmiştir. Fotovoltaik (PV) sistemlerde enerji üretimini artırmak ve sistem performansını iyileştirmek amacıyla farklı tasarım yaklaşımlarının değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Konya bölgesi için aynı kurulu kapasiteye sahip iki farklı şebekeye bağlı PV sistemi tasarımı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda, güneye bakan ve 25° eğime sahip sabit eğimli bir sistem ile 2,2° eğime sahip tek eksenli takip sistemi, PVsyst tabanlı simülasyonlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Her iki sistem de 4,65 MWp kurulu kapasiteye sahip olacak şekilde modellenmiş ve yıllık enerji üretimi, özgül verim, performans oranı ve yatırım geri dönüş süresi açısından incelenmiştir. Analiz sonuçları, tek eksenli güneş takip sisteminin yıllık 8,97 GWh enerji üretirken, sabit eğimli sistemin 7,91 GWh enerji ürettiğini göstermiştir. Bu durum, güneş takip sisteminin sabit sisteme kıyasla %13,4 daha yüksek enerji üretimi sağladığını ortaya koymaktadır. Ayrıca özgül verim 1.701 kWh/kWp-yıldan 1.929 kWh/kWp-yıla yükselmiş, performans oranı ise %84,7'den %86,9'a artmıştır; ekonomik değerlendirme ise, yatırım ve işletme maliyetlerinin daha yüksek olmasına rağmen, güneş takip sisteminin yatırım geri dönüş süresini 4,49 yıldan 4,33 yıla düşürdüğünü ortaya koymuştur. Sonuç olarak, güneş takipli fotovoltaik sistemler, yüksek güneş ışınım potansiyeline sahip Orta Anadolu'nun yarı kurak ikliminde büyük ölçekli uygulamalar için performans ve tekno-ekonomik açıdan önemli avantajlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Fotovoltaik, Sabit eğimli sistem, Güneş takip sistemi.

ABSTRACT

Increasing global energy demand, the limited reserves of fossil fuels, the environmental damage caused by these resources, and rising energy costs have significantly increased interest in sustainable and clean energy sources. In this context, solar energy, which stands out among renewable energy sources, has become a strategic option for electricity generation thanks to both its environmental benefits and its wide range of applications. Evaluating different design approaches to increase energy production and improve system performance in photovoltaic (PV) systems is of great importance. In this study, two different grid-connected PV system designs with the same installed capacity were comparatively analyzed for the Konya region. In this context, a fixed-tilt system facing south at a 25° angle and a single-axis tracking system with a 2.2° tilt angle were evaluated using PVsyst-based simulations. Both systems were modeled to have an installed capacity of 4.65 MWp and were analyzed in terms of annual energy production, specific efficiency, performance ratio, and economic payback. The results demonstrated that the single-axis solar tracking system produced 8.97 GWh of energy annually, while the fixed-tilt system produced 7.91 GWh. This indicates that the solar tracking system provided 13.4% higher energy production compared to the fixed system.

Furthermore, the specific efficiency increased from 1,701 kWh/kWp-year to 1,929 kWh/kWp-year, and the performance ratio improved from 84.7% to 86.9%; moreover, the economic assessment revealed that, despite higher investment and operating costs, the solar tracking system shortened the payback period from 4.49 to 4.33 years. Consequently, solar tracking photovoltaic systems demonstrate considerable benefits in terms of performance and techno-economic viability for large-scale deployment in the semi-arid climate of Central Anatolia, which exhibits high solar irradiance potential.
Keywords: Renewable energy, Photovoltaics, Fixed-tilt system, Solar Tracking system.

INTRODUCTION

Photovoltaic (PV) systems have emerged as a pivotal technology in the accelerated global transition toward renewable energy, driven by the increasing demand for electricity and heightened environmental concerns. Türkiye's energy demand has increased due to rapid population growth and economic expansion, which has also increased its reliance on imports (Ağırkaya, 2022). In order to guarantee the security of the energy supply, lower imports, and promote environmental sustainability, Türkiye is investing heavily in renewable energy sources (Günay and Yıldırım, 2024).

An analysis of the development of renewable energy and installed capacity in Türkiye reveals a remarkable acceleration. As shown in Figure 1, over the ten-year period between 2014 and 2024, Türkiye's total installed electricity capacity increased from 69,519.8 MW to 116,265.1 MW. Within this capacity growth, the most notable expansion has occurred in the solar energy sector. In 2014, solar energy capacity accounted for just 0.1% of total installed capacity with 40.2 MW; by 2024, it had reached 20,232.1 MW, constituting a massive 17.4% of the country's total installed capacity (TEİAŞ, 2024).

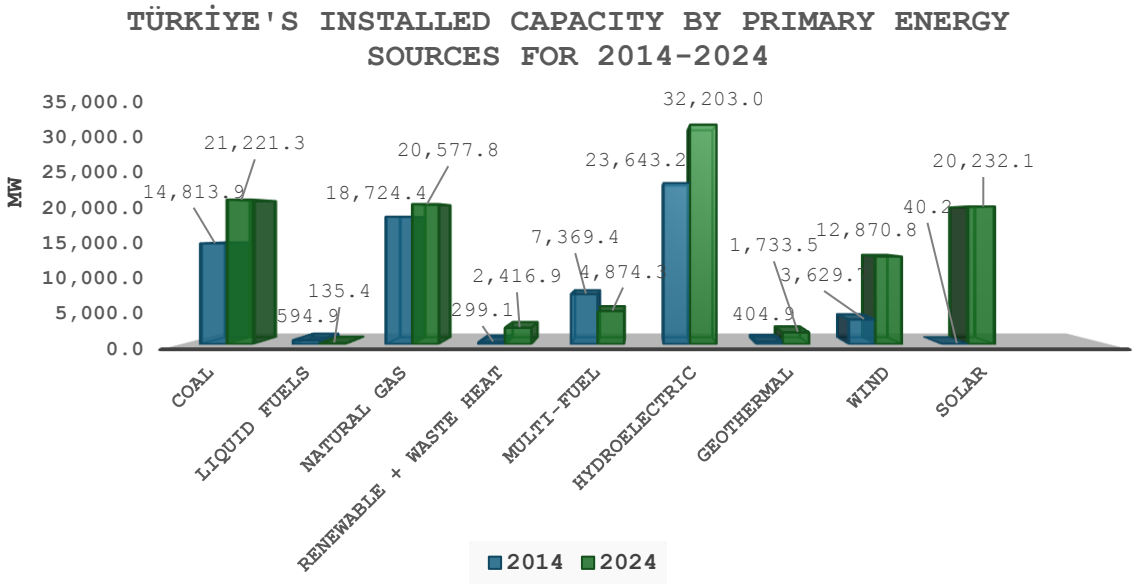


Fig. 1. Installed Capacity by Primary Energy Source: 2014 vs 2024

According to data from the Solar Energy Potential Atlas (GEPA) shown in Figure 2, Türkiye which has a very high solar energy potential because of its geographic location, stands out as having the "most suitable" areas for photovoltaic plant installation, especially in the Central Anatolia, Mediterranean, and Southeastern Anatolia regions (Günay and Yıldırım, 2024).

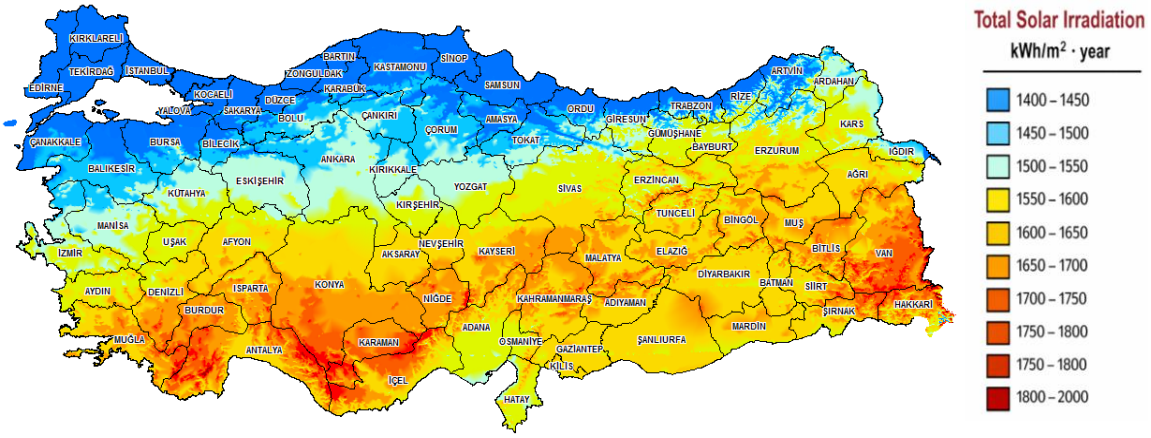


Fig. 2. Solar Energy Potential Atlas of Türkiye (GEPA)

The efficiency of solar tracking systems (STS) has been the subject of several useful research in the literature due to Türkiye's great solar potential. (Aktaş and Kocaman, 2024) examined a 500 kW power plant in Bitlis and discovered that, in comparison to a fixed-angle system, a single-axis tracking system enhanced productivity by almost 25%. Similarly, (Demirdelen et al., 2023) showed that single-axis tracking boosted energy output by 24.36% and that the original expenditure was amortized 0.39 years sooner than with a fixed system in their study carried out in the Adana region. In comprehensive techno-economic evaluation carried out throughout Türkiye (Istanbul, Izmir, Antalya), (Gönül et al., 2022) showed that monitoring systems significantly increase production; nevertheless, the higher initial investment costs immediately lengthen the payback times.

Despite significant advances in solar energy capacity, installed capacity (MW) and annual actual power generation (GWh) may not always match directly because of the sun's intrinsic restricted capacity factor (Ağırkaya, 2022). Thus, ensuring capacity growth and optimizing the electricity generation from megawatt (MW)-scale power plants are equally important (Sadeghi et al., 2025). System architecture and sun tracking techniques are now the most important design factors influencing power plant efficiency because the electrical output of a photovoltaic array is directly dependent on the amount of solar radiation hitting the module surface (Shalwala, 2025). In large-scale projects at the MW level, shading between panels, internal motor power consumption, and cell losses due to temperature increases limit the actual increase in production, even though solar tracking systems can theoretically increase energy production by 20%-40% by orienting the panels toward the sun (Sadeghi et al., 2025).

The economic viability of tracking mechanisms is as critical as their energy yield, and various studies have reported diverse payback periods depending on the tracking type and operating conditions. For instance, (Eiva et al., 2026) estimated a 5.2-year amortization period for dual-axis systems, while (Demirdelen et al., 2023) demonstrated that single-axis trackers can recover their investment 0.39 years earlier than fixed-tilt alternatives. Conversely, (Hammad et al., 2017) highlighted a potential financial risk, arguing that payback periods can be extended due to elevated operating and maintenance expenses (OPEX) associated with moving parts. Despite these varying perspectives, recent study emphasize that in commercial settings, single-axis tracking configurations often represent a highly logical and profitable investment (Gönül et al., 2022; Joe et al., 2023).

The primary objective of this study is to conduct a comparative performance and techno-economic analysis of a utility-scale photovoltaic (PV) power plant with an installed capacity of 4.65 MWp, planned for deployment in the Central Anatolia region of Türkiye (Konya), which exhibits substantial solar energy potential. PVsyst software was used to methodically simulate and assess the plant's fixed-tilt and single-axis solar tracking configurations as part of the study. According to simulation data, the single-axis tracking system raises annual energy production from 7.91 GWh to 8.97 GWh, a 13.4% increase.

Additionally, the techno-economic analysis reveals that this substantial increase in energy sales revenue lowers the payback period (amortization) from 4.49 years to 4.33 years, despite the tracking mechanism requiring an 8% higher initial investment cost capital expenditures (CAPEX) and additional operating and maintenance expenditures (OPEX).
The structure of the article is organized as follows: The introduction is presented in the "Introduction" section. Field and meteorological data, along with the physical layout plans of grid-connected PV systems (fixed-tilt and single-axis tracking), are presented in the "Method" section. The "Research Findings and Discussion" section presents the performance results and discussion based on calculations of annual energy production, specific efficiency, performance ratio (PR), and techno-economic payback period for both PV systems. The finding of the study is summarized in the "Conclusion" section.

METHOD

Site and Meteorological Data

The study's performance and economic assessments were based on a solar power plant site with great solar energy potential in the Tatlıcak district of Konya Province. Shading analysis, energy production estimates, and system design were all carry outed using the PVsyst software, a worldwide industry standard. The geographic coordinate window created for the study area using the PVsyst software is displayed in Figure 3.

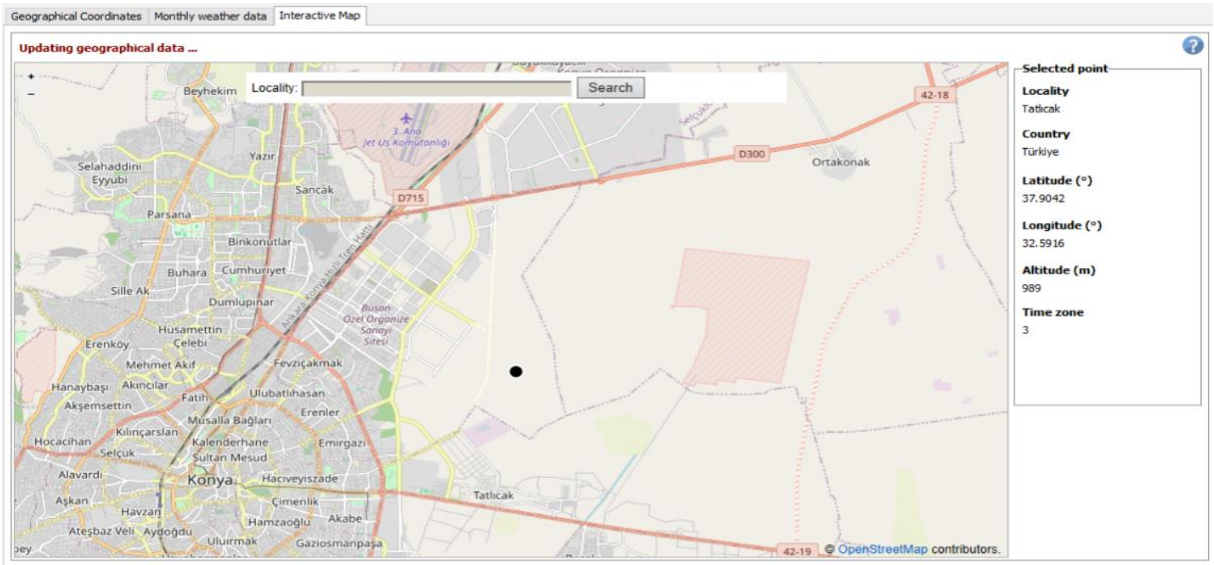


Fig. 3. Geographical coordinates window

The Meteonorm 8.1 typical meteorological year (TMY) dataset was used to generate the climate data in the simulations. The area where the facility will be built has an average yearly ambient temperature of 12.3°C, an annual total global horizontal irradiance (GlobHor) value of 1,764.8 kWh/m², and a horizontal diffuse irradiance value of 576.4 kWh/m². Table 2 provides comprehensive monthly and annual weather data for the Konya-Tatlıcak region.

Month	Global horizontal irradiation (kWh/m²/month)	Horizontal diffuse irradiation (kWh/m²/month)	Temperature (°C)	Wind velocity (m/s)	Linke turbidity (–)	Relative humidity (%)
Jan	69.2	28.0	0.0	3.00	2.667	80.8
Feb	88.1	36.7	1.9	3.39	2.973	75.0
Mar	132.6	42.6	6.8	3.80	3.452	61.4
Apr	167.1	67.9	11.0	3.70	3.955	55.9
May	212.2	60.5	16.1	3.50	3.664	54.3
Jun	223.9	69.9	20.8	4.19	3.219	44.4
Jul	230.3	69.6	25.0	4.70	3.197	35.8
Aug	209.1	62.4	24.7	4.50	3.163	36.2

Sep	169.4	44.2	19.4	3.60	2.978	43.5
Oct	120.3	39.6	13.4	3.20	3.047	56.5
Nov	79.2	26.8	6.5	2.69	2.788	71.4
Dec	63.4	28.2	2.8	2.70	2.650	81.8
Year	**1 764.8**	**576.4**	**12.3**	**3.6**	**3.146**	**58.1**

Table 2. Monthly and annual climate statistics for Tatlıcak, Konya

In the study, the total DC installed capacity was set at 4,648 kWp and the total AC installed capacity at 3,900 kWe for both design variants (Fixed-Tilt and Single-Axis Tracking). The systems utilize 7,878 monocrystalline PV modules, each with a power rating of 590 Wp, and 13 inverters, each with a power rating of 300 kW.

System Design (Physical Layout)

Fixed-tilt panels and solar tracking systems are the two main types of mounting methods used in photovoltaic systems to position solar panels toward the sun. Figure 4 shows the general classification method for the systems examined in this study.

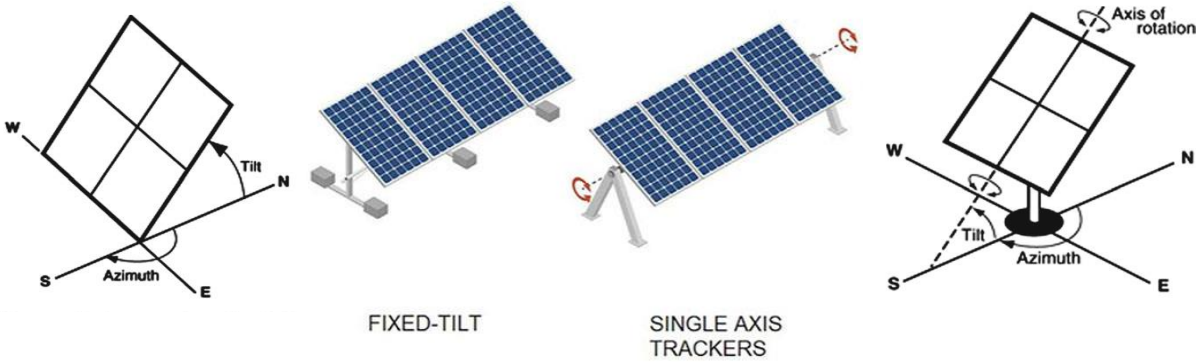


Fig. 4. Classification Method of Solar Panel Mounting Systems

Two distinct plan variations for the same site have been modeled in order to maximize energy yield and reduce shading losses:

1. The Fixed-Tilt Method: In fixed-tilt photovoltaic systems, solar panels are positioned at a set, stationary angle that is determined to optimize year-round exposure to sunlight. Due to the lack of moving parts, these systems offer a cheap initial investment cost and minimize operation and maintenance (O&M) requirements, even though they are unable to track the sun's position throughout the day (Abdullah and Abdulkarim, 2023). Because of their extended lifespan, straightforward design, and low failure risk, they are often chosen in commercial projects despite having lesser efficiency than tracking systems due to their static structure.

In order to reduce snow buildup during the winter and increase annual yield, the modules in this study's fixed-tilt design are oriented at a fixed 25° inclination facing south. The Ground Coverage Ratio (GCR) was set at 52.6% and the row spacing (pitch) was calculated to be 8.71m by balancing land-use efficiency with shade losses between rows during the winter. The VirtoCAD bird's-eye-view arrangement, a 3D close-up shading scene, and the panel tilt orientation are all shown in detail in Figure 5.

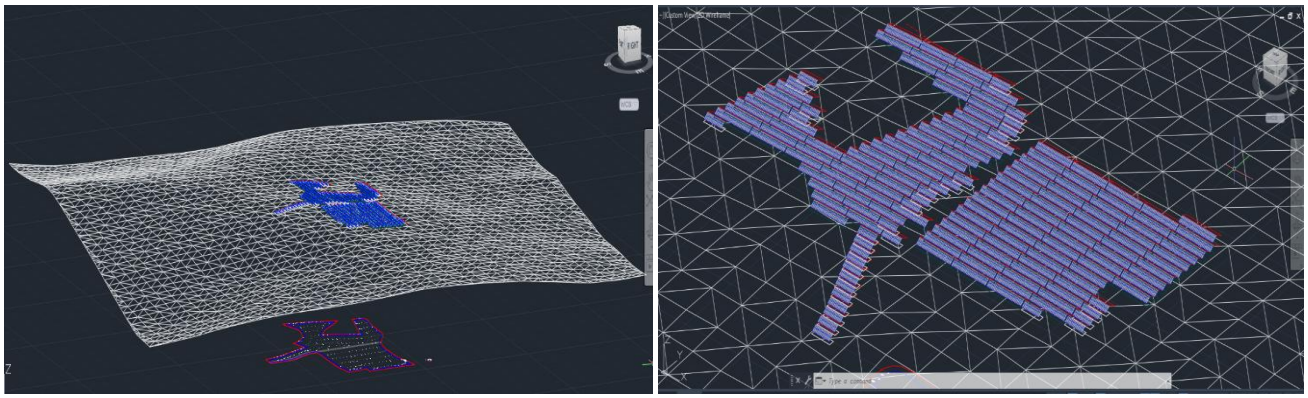


Fig. 5. VirtoCAD Bird's-Eye View Layout with Fixed-Tilt

2. Single-Axis Solar Tracking System Variant: Single-axis solar tracking systems are dynamic electromechanical systems that allow panels to track the sun from east to west by rotating around a single horizontal or inclined axis. Depending on the area, they offer an extra energy gain of 10% to 25% over fixed systems (Sadeghi et al., 2025). Single-axis systems provide an ideal blend of efficiency and cost, especially on wide swaths of land, and are far more practical than dual-axis systems because of their complex structure and high cost (Demirdelen et al., 2023).
In the second design, the system was built with mechanisms that could move ±45° in order to track the sun along the North-South horizontal axis from east to west. A small horizontal axis tilt of 2.2° has been chosen, and the rotation angles have been restricted to avoid overloading the motors and mechanical parts. With a fixed-tilt system (53% GCR), the inter-row spacing has been lowered to 4.28m in order to retain equal land use. A backtracking mechanism has been incorporated into the system to avoid modules shadowing one another in the early morning and late evening when the sun's zenith angle is extremely low (75° and above). Figure 6 shows the single-axis solar tracking system's operational orientation, 3D shading analysis, and aerial view layout plan.

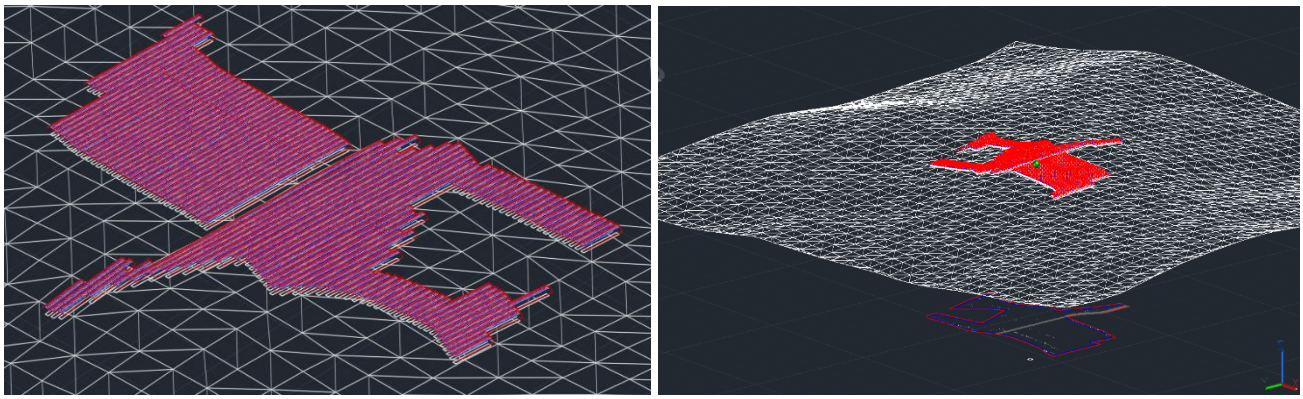


Fig. 6. VirtoCAD Bird's-Eye View Layout with Single-Axis Tracking

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

Energy Production and Performance Analysis

The results of the PVsyst simulations have demonstrated that tracking and fixed systems produce considerably different amounts of energy in the Konya Tatlıcak region's weather,. Initially, the 25° fixed-tilt variation was examined. Table 3 shows the fixed-tilt system's monthly energy balance, and Figure 7 shows a loss diagram that breaks down the system's electrical losses. Using a global horizontal irradiance of 1,765 kWh/m²/year, the fixed-tilt system delivered 7,906,248 kWh (7.91 GWh) of energy to the grid in the first year, with a PR of 84.7%, according to the analysis results.

Month	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb (°C)	Globlnc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E-Array kWh	E-Grid kWh	PR ratio
January	69.2	28.03	0.01	104.1	93.9	427 633	421 456	0.871
February	88.1	36.71	1.87	118.3	109.2	494 188	486 952	0.886
March	132.6	42.58	6.81	160.6	150.2	663 926	653 366	0.875
April	167.1	67.87	11.01	180.9	168.2	734 964	723 270	0.860
May	212.2	60.51	16.14	210.5	196.1	836 085	822 043	0.840
June	223.9	69.91	20.82	214.0	199.3	843 062	828 926	0.833
July	230.3	69.64	25.00	224.0	208.7	869 889	855 000	0.821
August	209.1	62.40	24.72	220.8	206.1	860 379	845 660	0.824
September	169.4	44.17	19.36	199.8	187.3	792 766	779 374	0.839
October	120.3	39.59	13.35	159.4	148.7	645 944	635 650	0.858
November	79.2	26.77	6.52	117.0	107.1	474 461	467 184	0.859
December	63.4	28.15	1.58	98.2	86.4	392 880	387 367	0.849
Year	**1 764.8**	**576.4**	**12.33**	**2 007.6**	**1 861.3**	**8 036 176**	**7 906 249**	**0.847**

Table 3. Fixed-Tilt Variant - Monthly Energy Balance

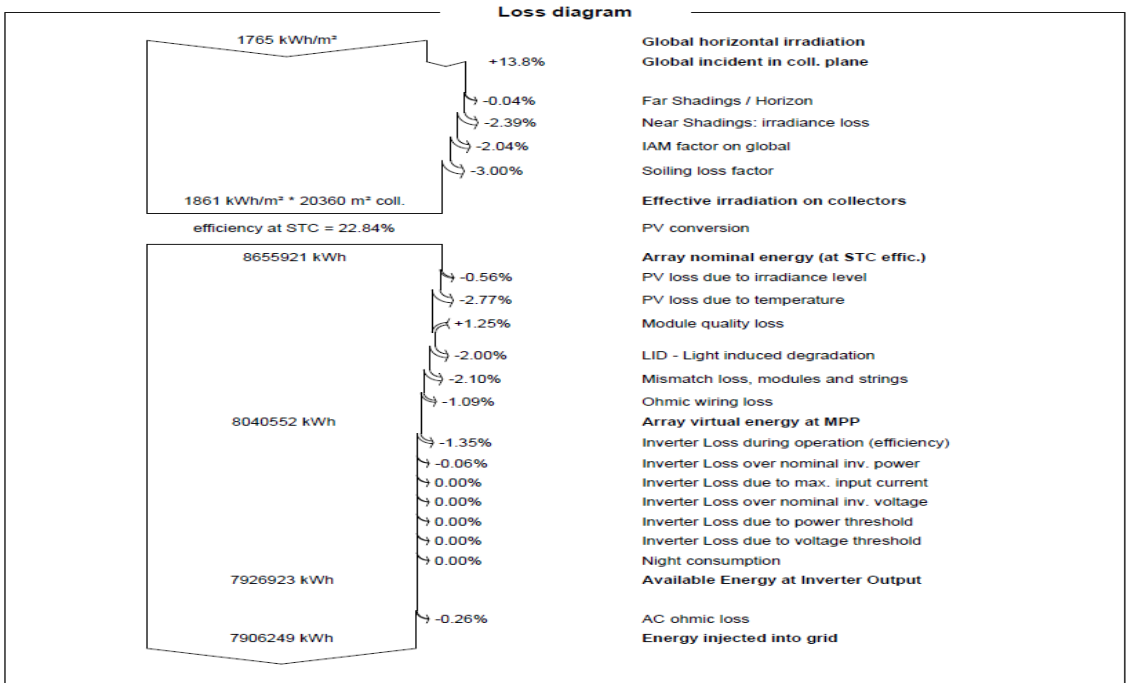


Fig. 7. Loss Diagram of Fixed-Tilt Array

The complete system loss diagram is illustrated in Figure 8, whereas Table 4 presents the monthly energy balance results associated with the single-axis tracking system. The single-axis system was found to supply the grid with 8,965,994 kWh (8.97 GWh) of net energy each year, and its PR rose to 86.9%. These results show, compared to a fixed configuration, the single-axis solar tracking system achieves a net yearly energy gain of 13.4% (1.06 GWh).

Month	GlobHor kWh/m²	DiffHor kWh/m²	T_Amb (°C)	Globlnc kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E-Array kWh	E-Grid kWh	PR ratio
January	69.2	28.03	0.01	84.8	79.2	362 884	357 963	0.908
February	88.1	36.71	1.87	107.6	101.5	461 692	455 187	0.911
March	132.6	42.58	6.81	167.2	159.8	708 845	697 674	0.887
April	167.1	67.87	11.01	206.6	198.3	865 750	851 854	0.887

May	212.2	60.51	16.14	268.0	258.1	1 092 119	1 073 170	0.861
June	223.9	69.91	20.82	283.6	272.9	1 144 635	1 126 500	0.855
July	230.3	69.64	25.00	295.2	285.2	1 173 821	1 159 292	0.840
August	209.1	62.40	24.72	266.7	256.9	1 069 302	1 052 045	0.847
September	169.4	44.17	19.36	215.6	206.7	870 739	862 283	0.861
October	120.3	39.59	13.35	142.9	136.7	627 473	619 476	0.859
November	79.2	26.77	6.52	98.1	92.0	410 676	404 753	0.887
December	63.4	28.15	1.58	76.4	70.4	322 746	318 477	0.897
Year	**1 764.8**	**576.3**	**12.33**	**2 220.2**	**2 122.5**	**9 115 452**	**8 965 993**	**0.869**

Table 4. Single-Axis Tracker Variant - Monthly Energy Balance

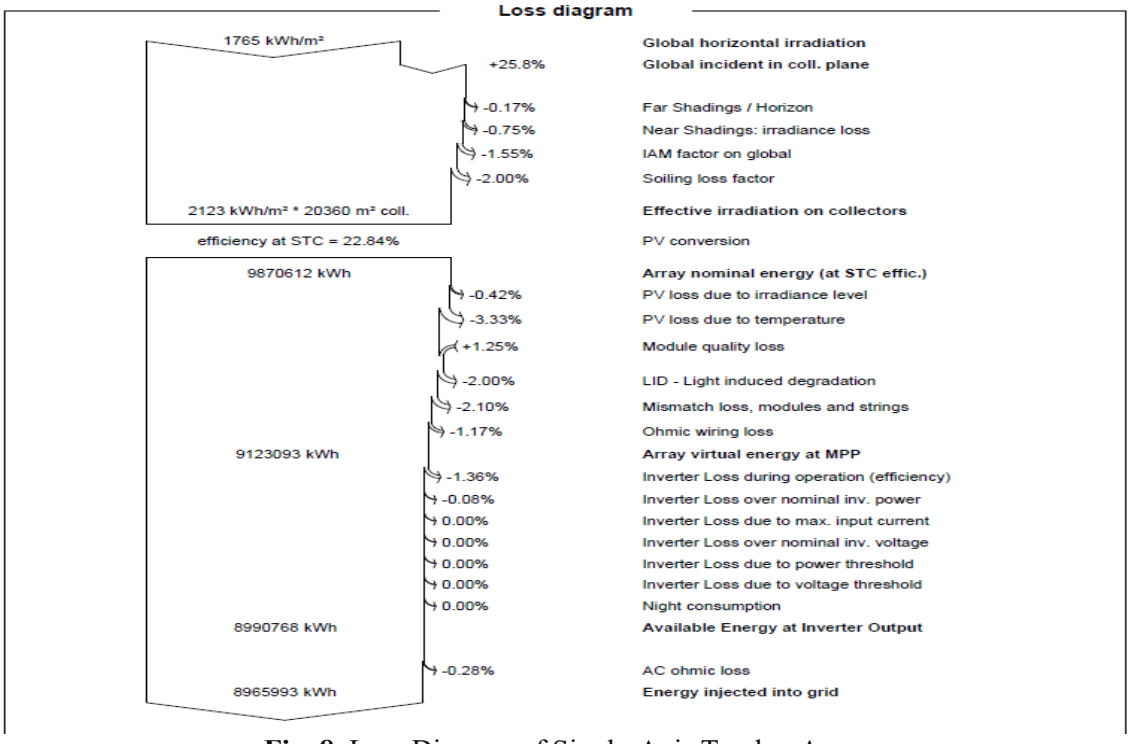


Fig. 8. Loss Diagram of Single-Axis Tracker Array

The improvement is mainly due to the ~26% increase in in-plane global irradiance achieved by the single-axis tracking system, which enhances both Specific Yield and PR. This is based on a comprehesive comparison of the loss diagrams demonstrated in Figures 7 and 8. Thermal heat losses (3.33% in the tracking system compared to 2.77% in the fixed system) result from the panels being exposed to high irradiance at a perpendicular angle for prolonged periods of time due to direct tracking of the sun throughout the day. However, the significant rise in grid injection (AC output) clearly shows the technological effectiveness of the intended solar tracking system, even in spite of the increasing motor power consumption and these rising thermal heat losses due to greater panel temperatures.

Figure 9 presents the monthly energy production analysis, revealing an additional significant outcome. During the spring and summer months (March through October), when sunlight strikes perpendicularly and moves across a wide angle along the east-west axis, the PV plant with tracking system showed a

significant advantage over the fixed-tilt system. For instance, the fixed system generate 855,000 kWh in July, whereas the tracking system produced 1,159,292 kWh. In contrast, the fixed-tilt system produced marginally more energy than the horizontal tracker system during the winter months (January, February, November, and December) due to the sun's extremely low angle near the southern horizon (for instance, in January, the fixed system generated 421,456 kWh, while the tracker generated 357,963 kWh). Despite the expected reduction during the winter months, the substantial gains achieved in summer result in an overall annual advantage of 13.4% for the tracking system.

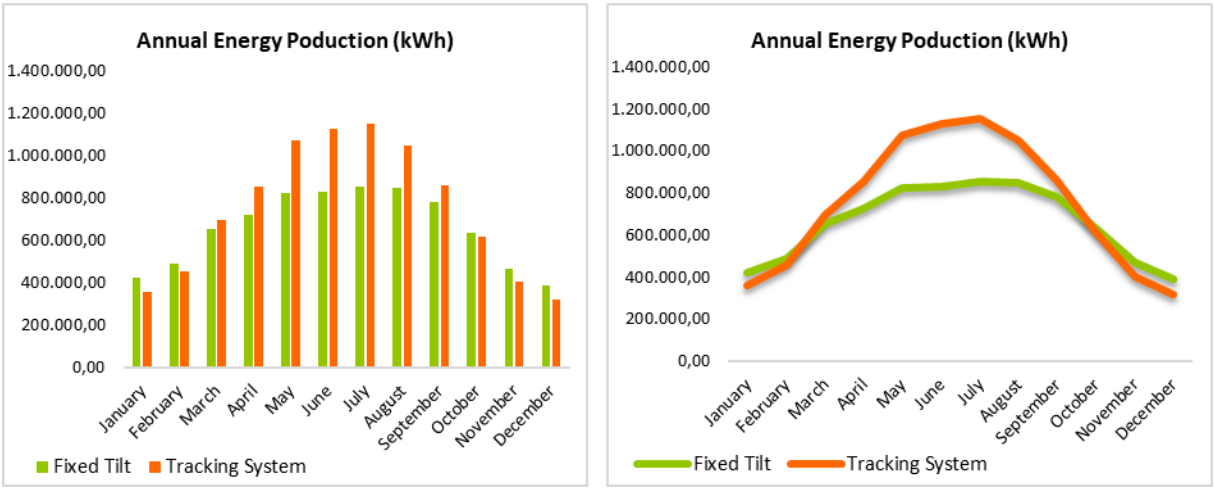


Fig. 9. Monthly Energy Production (kWh)

The specific yield increased from 1,701 kWh/kWp-year in the fixed-tilt configuration to 1,929 kWh/kWp-year in the single-axis tracking configuration, indicating a 13.4% improvement in system performance. In order to prevent inter-row shading in this enormous MW-scale construction, a rigorous backtracking shading prevention approach applied the required angle limitations. Furthermore, the tracking motors' internal power usage is subtracted straight from the final output.

Techno-Economic Assessment and Feasibility Analysis

In large-scale grid-connected systems, investment profitability is determined not only by the increase in energy production but also by the payback period associated with CAPEX and OPEX, particularly those arising from additional electromechanical components (Hammad et al., 2017). The payback period is commonly computed in the literature by dividing the annual net return by the entire initial investment cost of the system (Eiva et al., 2026). However, the Simple Payback Period (SPP) model, which is based on dividing the first-year cash outflows (the total of facility and operating costs) by the gross revenue generated in the first year, was applied in this study to more clearly depict the investor's true financial burden in the first year. Equation 1, the equation utilized, is given below:

$$Payback\ Period = \frac{CAPEX + OPEX}{Annual\ Energy\ Revenue} \quad (1)$$

Table 5 provides comprehensive information on costs, revenues, and payback periods for both systems based on the feasibility calculations that were carried out.

System Type	CAPEX (USD)	OPEX (USD)	Annual Revenue (USD)	Payback Period (Years)
Fixed Tilt	2,231,049.60	85,000	516,170.94	4.49
Single-Axis Tracker	2,416,970.40	115,000	585,358.00	4.33

Table 5. Payback Period Calculation Table

The single-axis solar tracking system's moving steel mechanisms and motors result in an 8% (185,920 USD) increase in CAPEX and an additional 30,000 USD in yearly OPEX expenditures when compared to a fixed system. However, the tracking system's 13.4% increase in energy production leads to a huge 69,187 USD gain in electricity sales revenue (PPA) in the first year.

The single-axis tracking system in this investigation shows a very competitive payback period of 4.33 years. This incredibly short payback period shows that the substantial increase in energy sales revenue readily compensates higher OPEX, especially in areas with strong direct solar radiation potential like Konya.

CONCLUSION

Maximizing energy output through the use of ideal mounting configurations is essential for the long-term expansion and financial success of commercial-scale solar projects. This study carried out a thorough performance and techno-economic analysis of a 4.65 MWp solar power plant planned for installation in Konya, where a single-axis tracking system is compared with a fixed-tilt configuration. The results showed that the single-axis system produced 8.97 GWh of net energy per year, a 13.4% (1.06 GWh) increase in net production over the fixed system (7.91 GWh). The system's PR grew from 84.7% to 86.9% and its specific yield increased from 1,701 to 1,929 kWh/kWp-year due to higher in-plane irradiation, despite thermal losses and motor internal consumption.

From an economic standpoint, higher production revenue swiftly outweighed the additional mechanical investment and running costs related to solar tracking systems. The single-axis system's payback period was 4.33 years, compared to 4.49 years for the fixed system. In conclusion, single-axis solar tracking systems with back-tracking algorithms represents suitable and economically attractive option for commercial PV investments in Türkiye's semi-arid areas with high irradiation. Future research can focus on validating the simulation results using real-field data and on integrating bifacial PV modules into single-axis tracking systems.

REFERENCES

Ağırkaya, M. B. (2022). Türkiye ekonomik büyümesinde yenilenebilir enerji: mevcut durum, gelecek beklentileri, istihdam ve yatırım fırsatları. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, *12*(3), 2327-2350.

Günay, E., & Yildirim, S. (2024). Yenilenebilir enerji kapasitesi bakimindan Türkiye'nin potansiyelinin değerlendirilmesi. *Journal of Economics and Research*, *5*(2), 61-72.

TEİAŞ. (2024). 2014 ve 2024 Yılları İçin Birincil Enerji Kaynaklarına Göre Türkiye Kurulu Gücü Tablosu. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. İstatistikleri, Ankara. (www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri)

GEPA. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (https://gepa.enerji.gov.tr)

Aktaş, A., & Kocaman, B. (2024). Sabit ve Güneş Takipli Fotovoltaik Sistemlerin Karşılaştırmalı Analizi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *6*(2), 208-221.

Gönül, Ö., Yazar, F., Duman, A. C., & Güler, Ö. (2022). A comparative techno-economic assessment of manually adjustable tilt mechanisms and automatic solar trackers for behind-the-meter PV applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *168*, 112770.

Sadeghi, R., Parenti, M., Memme, S., Fossa, M., & Morchio, S. (2025). A review and comparative analysis of solar tracking systems. *Energies*, *18*(10), 2553.

Abdullah, H. K., & Abdulkarim, P. M. (2023). A Design Model and Comparison of Fixed and Tracking Photovoltaic Systems for a Single-Family House in Erbil, Iraq. *Journal of Duhok University*, *26*(2), 515-532.

Demirdelen, T., Alıcı, H., Esenboğa, B., & Güldürek, M. (2023). Performance and economic analysis of designed different solar tracking systems for Mediterranean climate. *Energies*, *16*(10), 4197.

Shalwala, R. A. (2025). Using Solar Tracking Technologies to Enhance the Efficiency of Solar Panels. Power System Technology, 49(2): 2569-2583.

Hammad, B., Al-Sardeah, A., Al-Abed, M., Nijmeh, S., & Al-Ghandoor, A. (2017). Performance and economic comparison of fixed and tracking photovoltaic systems in Jordan. *Renewable and Sustainable energy reviews*, *80*, 827-839.

Eiva, U. R. J., Chowdury, T. A., Islam, S. S., Ullah, A., Tuli, J. N., & Islam, M. T. (2025). Comprehensive analysis of fixed tilt and dual-axis tracking photovoltaic systems for enhanced grid integration and energy efficiency. *Renewable Energy*, 123865.

Joe, J., Park, J., Choi, H., Park, Y., Oh, J., & Kwak, Y. (2023). Economic Applicability of Solar Tracking Photovoltaic Systems in Commercial Buildings: Case Study in South Korean Climate. *Energies*, *16*(21), 7338.

IOT UYGULAMA KATMANINDAKİ RESTFUL API'LERDE SQL ENJEKSİYONU TESPİTİ İÇİN BİR TOPLULUK ÖĞRENME ÇERÇEVESİ

AN ENSEMBLE LEARNING FRAMEWORK FOR SQL INJECTION DETECTION IN IOT APPLICATION LAYER RESTFUL API'S

AMNA MOHAMMED JUMAA JUMAA
Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: 0009-0009-3714-6541

Aydın ÇETİN
Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-8669-823X

ÖZET

Nesnelerin İnterneti (IoT) cihazlarının hızlı büyümesi, özellikle veri yönetimi için kullanılan uygulama katmanı RESTful API'lerinde tehdit ortamının önemli ölçüde genişlemesine yol açmıştır. SQL enjeksiyonu (SQLi), bu ortamlarda arka uç veritabanı sistemlerinin gizliliğini ve bütünlüğünü tehlikeye atan kritik bir güvenlik açığıdır. Ayrıca, geleneksel savunma temelli metodolojiler, IoT ortamındaki enjeksiyon modellerini ele almak için yetersiz kalmaktadır. Bu zorlukları ele almak için bu makale, IoT uygulama katmanında SQL enjeksiyon saldırılarını tespit etmek için topluluk öğrenmesi tabanlı bir mimari önermektedir. Metodoloji kapsamında, öznitelik çıkarımı için karakter düzeyinde TF-IDF yöntemi kullanılmış; sınıflandırma aşamasında ise Rastgele Orman (Random Forest-RF) ve XGBoost algoritmaları yumuşak oylama tabanlı bir topluluk yapısı altında birleştirilmiştir. Bu yaklaşım, farklı saldırı modelleri üzerinde etkili bir genelleme kapasitesi sunmaktadır. Önerilen çerçeve, canlı bir RESTful API'ye istek öncesi güvenlik katmanı olarak entegre edildi ve manuel ve otomatik simülasyon HTTP trafiği kullanılarak doğrulanmıştır. Deney sonuçları, otomatik senaryoda %100 duyarlılık ve %95,30 doğruluk, manuel enjeksiyonda ise %100 doğruluk skoru elde edilimiştir. Bu sonuçlar, önerilen topluluk metodolojisinin, IoT uygulama katmanını kötü niyetli istismarlara karşı korumak için güvenilir ve etkili bir çözüm sağladığını göstermektedir.
Anahtar kelimeler: SQL enjeksiyon saldırısı, IoT güvenliği, Topluluk öğrenme, TF-IDF, REST API güvenliği, Rastgele Orman, XGBoost.

ABSTRACT

The rapid growth of Internet of Things (IoT) devices has led to a significant expansion of the threat landscape, especially within the application layer RESTful APIs used for data management. SQL injection (SQLi) is a critical vulnerability in these environments, which compromises the confidentiality and integrity of the backend database systems. Furthermore, the traditional defense-based methodologies are insufficient to address the injection patterns in the IoT environment. To address these challenges, this paper proposes an ensemble learning-based architecture to detect SQL injection attack in IoT application layer. The methodology applies character-level TF-IDF for feature extraction combined with a soft voting ensemble of Random Forest and XGBoost classifiers, which achieves effective generalization across various attack patterns. The proposed framework was integrated into a live RESTful API as pre-request security layer and validated using manual and automated simulation HTTP traffic. The experimental results showed recall of 100% and accuracy of 95.30% in the automated scenario, and 100% in the manual injection. These outcomes demonstrate that the proposed ensemble methodology provides reliable and effective solution for securing IoT application layer against malicious exploitation**.**
Keywords: SQL injection attack, IoT security, Ensemble learning, TF-IDF, REST API security, Random Forest, XGBoost

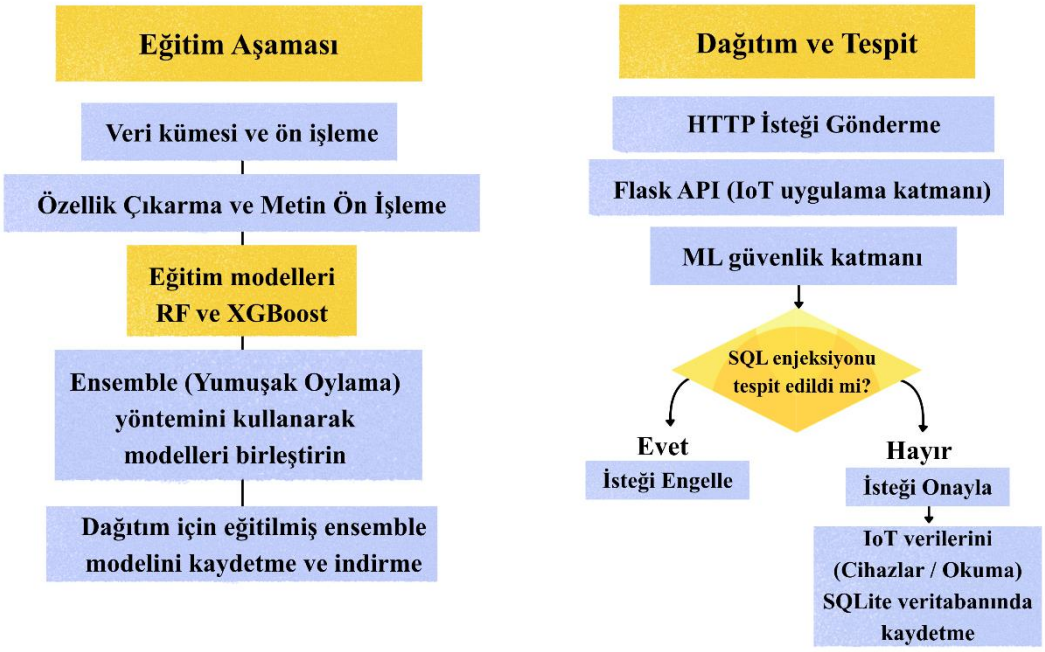
GİRİŞ

Nesnelerin İnterneti (IoT), cihazların verileri bağımsız olarak toplamasına, işlemesine ve paylaşmasına olanak tanıyarak dijital altyapıyı dönüştürmüştür (Fei et al., 2024). IoT uygulama katmanı, cihaz kaydını ve sistem izlemeyi yönetmek için RESTful API'lere dayanmaktadır.

Ancak bu bağımlılık, IoT uygulama katmanını geleneksel web uygulamalarını hedef alan tehditlere, özellikle de SQL enjeksiyon saldırısına maruz bırakmaktadır (Almutairi & Sheldon, 2025). SQL enjeksiyonu, bulut veritabanlarıyla etkileşimi nedeniyle API'leri hedef alan en önemli güvenlik açıklarından biridir ve tüm altyapının güvenliğinin ihlal edilmesine sebebiyet vermektedir (Khan et al., 2025). SQL enjeksiyon saldırısında saldırganlar, HTTP isteklerindeki giriş parametrelerini manipüle ederek arka uçta SQL İfadeleri değiştirilmesine neden olmaktadır, kimlik doğrulama mekanizmalarını atlar ve veritabanının bütünlüğünü tehlikeye teşkil etmektedir. Literatürdeki çalışmalar, öncelikle geleneksel web uygulamaları ve bulut tabanlı sistemlere yönelik SQL enjeksiyon saldırılarını ele almaya odaklanmıştır. Buna karşın, IoT uygulama katmanındaki RESTful Hizmetine yönelik bu tespit mekanizmaları, gerçek zamanlı olarak yetersiz kalmaktadır. Bu ortamların güvenliğini sağlamadaki temel sınırlama, düşük güç tüketimi ve sınırlı hesaplama kapasitesi gibi IoT cihazlarının kaynak kısıtlamalarıdır. Bu mimari zorluklar, sağlam ve hafif bir algılama çerçevesi gerektirmektedir (Adam et al., 2024). Bunun yanı sıra, derin öğrenme tabanlı yöntemler yüksek hassasiyet sunsa da, genellikle hesaplama karmaşıklığı yaratmakta ve hafif IoT uygulama ortamları için uygun olmamaktadır. Sonuç olarak, makine öğrenimi modellerinin tek sınıflandırıcıları, görülmemiş SQL enjeksiyon kalıplarına maruz kaldıklarında sağlamlık açısından sınırlamalar getirmiş ve genelleme yeteneğini azaltmıştır. (Albarrak, 2024) web protokollerinin cihazlar arası çalışabilirliğe entegre edilmesinin API düzeyinde önemli güvenlik açıklarına yol açtığını göstermiştir. SQL enjeksiyonu algılama üzerine yapılan çalışmalar, desen eşleştirme tekniklerinden gelişmiş makine öğrenimi ve derin öğrenme mimarilerine doğru bir geçiş göstermiştir. Örneğin, (Salah Fathi et al., 2025) ile (Qin et al., 2025), SQL sözdizimini doğal dil dizileri olarak işleyerek SQL sorgularındaki sıralı bağımlılıkları yakalamada Uzun Kısa Vadeli Bellek (LSTM) ağlarının ve Çift Yönlü LSTM'nin (Bi-LSTM) etkinliğini ortaya koymuştur. Buna karşın (Qin et al., 2025), bu modellerde bulunan hesaplama yükünün genellikle performansı düşürdüğünü ve gerçek zamanlı verimliliği korumak için özellik seçimi tekniklerinin entegrasyonunu gerektirdiğini belirlemiştir. Sonuç olarak, araştırmalar düşük gecikme gereksinimleri ile yüksek doğruluk elde etmek amacıyla topluluk öğrenmesi mimarilerine yönelmiştir. (Hwang et al., 2024) ile (Rosca et al., 2025), Rastgele Orman ve XGBoost gibi çoklu ağaç sınıflandırıcılarını birleştirmenin, tekli sınıflandırıcılara kıyasla görülmemiş saldırı kalıplarını tespit etme konusunda genelleme yeteneğini geliştirdiğini göstermiştir. Nesnelerin İnterneti (IoT) bağlamında, (M & H B, 2022), yapısal özellikler yerine semantik özelliklerden yararlanmanın önemini vurgulamış ve yapısal analizin, zararsız davranışları taklit eden saldırganlara karşı yetersiz olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, (R et al., 2025) orta katman yazılımını korumak için makine öğrenimini güvenli kodlama uygulamalarıyla birleştiren çok katmanlı bir yaklaşımın hayati önem taşıdığını öne sürmüştür. Bu gelişmelere rağmen, RESTful API'lerde topluluk öğrenmesi çerçevelerinin uygulanmasında hâlâ önemli bir eksiklik bulunmaktadır. Bu eksikliği gidermek amacıyla, bu çalışma, yumuşak oylama yöntemi kullanılarak birleştirilen Rastgele Orman (RF) ve XGBoost sınıflandırıcılarını kullanan bir topluluk öğrenmesi tabanlı metodoloji önermektedir. Rastgele Orman (RF), çoklu karar ağacı toplama yoluyla varyans azaltımı için kullanılmaktadır (Breiman, Leo 2001), XGBoost ise düşük gecikmeli sınıflandırma görevlerindeki karmaşıklığı yönetmek için verimli bir gradyan güçlendirme çerçevesi sağlamaktadır (Chen & Guestrin, 2016). Önerilen model, gerçek zamanlı doğrulama için bir ön istek güvenlik katmanı olarak canlı bir Flask tabanlı RESTful IoT API'sine doğrudan entegre edilir ve veritabanına ulaşmadan önce kötü niyetli girdileri önlemektedir.

YÖNTEM

Önerilen metodoloji mimarisi, Şekil 1'de sunulduğu üzere iki temel aşamada oluşmaktadır: Eğitim Aşaması ile Dağıtım ve Tespit Aşaması. Bu mimari, yüksek hassasiyetli tehdit algılama ile IoT uygulama katmanının gecikme süresi gereksinimleri arasındaki eksikliği gidermek ve bu süreci optimize etmek üzere tasarlanmıştır.



Şekil 1. Önerilen Metodolojinin Akış Şeması

1. Eğitim Aşaması

Eğitim aşaması, veri sentezi, yüksek boyutlu öznitelik mühendisliği ve toplu optimizasyondan oluşan sıralı bir süreç olarak tasarlanmıştır.

A. Veri kümesi ve ön işleme: Çalışmada, Kaggle'da (Syed Saqlain Hussain Shah, 2020) kamuya açık olan ve hem kötü niyetli hem de zararsız HTTP isteklerinden oluşan bir SQL enjeksiyon veri kümesi kullanılmıştır. Kullanılan veri kümesinin kaynakları, etiket tanımları ve içerdiği saldırı türlerine ilişkin öznitelik yapısı Tablo 1'de sunulmuştur. Öznitelik Çıkarımı Süreci sırasında kapsamlı bir analiz yapılabilmesi için, üç farklı dosyanın birleştirilmesi yoluyla tek tip bir veri yapısı oluşturulmuş ve ardından yinelenenlerin temizlenmesi, boş kayıtların elenmesi ve metin normalizasyonu gibi ön işleme aşamaları gerçekleştirilmiştir. Ek olarak, sınıf dengesizliğini gidermek için Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) uygulanmış ve böylelikle eğitim kümesi sınıf başına 15.629 örneğe dengelenmiş, çoğunluk sınıfı önyargısı azaltılmış ve saldırı vektörlerine karşı sınıflandırıcının duyarlılığı artırılmıştır.

B. Öznitelik Çıkarımı ve Metin Ön İşleme: SQL enjeksiyon saldırısı anlamsal içerikten ziyade yapısal manipülasyonlara dayandığından, karakter düzeyinde bir Terim Sıklığı-Ters Belge Sıklığı (TF-IDF) vektörleştiricisi kullanılmıştır. Vektörleştirici, (3, 5) n-gram aralığı, minimum belge sıklığı 5 ve maksimum 5.000 öznitelik sınırı ile yapılandırılmıştır. Bu yapılandırma, kritik sözdizimi parçalarını (ör. ', --, ; , UNION) yakalar ve ham yükleri yüksek boyutlu sayısal bir matrise eşleyerek yaygın gizleme tekniklerine karşı dayanıklılık sergilemektedir.

C. Model Eğitimi: Tespit çerçevesi, yüksek boyutlu ve seyrek öznitelik uzaylarında bu algoritmaların ayırt edici özelliklerinden faydalanma amacıyla Rastgele Orman ve Extreme Gradient Boosting (XGBoost) algoritmalarını birleştiren bir yumuşak oylama topluluğu tekniği uygulanmıştır.

- Rastgele Orman: 300 tahminci ve paralel işleme ile yapılandırılmış olup, varyansı azaltmak ve aşırı uyumlanmayı önlemek için bagging tabanlı toplama yöntemi uygulamaktadır.
- XGBoost: 200 tahminci, 0,1 öğrenme hızı ve maksimum 5 katman derinliği ile uygulanmıştır. Karmaşık, doğrusal olmayan karar sınırlarını modellemek için gradyan güçlendirme optimizasyonunu uygulamaktadır.

Tablo 1. SQL Enjeksiyon Veri Kümelerinin Öznitelik Yapısı.

Özellik	**Açıklama**
Veri Kümesi Kaynakları	Kaggle.
Veri Türü	Metin biçimindeki SQL giriş dizeleri.
Temel Özellik	Ham SQL istekleri ve SQL enjeksiyon yükleri.
Etiket Türü	İkili sınıflandırma.
Etiket Tanımı	0 = Zararsız girdi, 1 = SQL enjeksiyon saldırısı.
Mevcut Saldırı Türleri	Tautolojiye dayalı, birleşime dayalı, zamana dayalı, meta veri çıkarma, komut yürütme yükleri.

Yumuşak Oylama tekniği, bireysel sınıflandırma bağlı kalmak yerine, her iki modelden elde edilen sınıf tahmin olasılıklarını bir araya getirmektedir. Ağırlıklı ortalama olasılığı hesaplayarak, önerilen topluluk modeli bireysel modellerin önyargılarını en aza indirir ve karmaşık, gizlenmiş yükler karşısında nihai karar sınırının dayanıklılığını artmaktadır.
Tablo 2, karşılaştırmalı sonuçları özetlemektedir. Tüm modeller yüksek doğruluk oranlarına ulaşmış olsa da, topluluk Modeli zararlı yüklerin tespitinde Kesinlik ve Duyarlılık arasındaki dengeyi en optimum düzeyde sağlamıştır.

Tablo 2. Eğitim Aşamasına Ait Karşılaştırmalı Performans Metrikleri

Model	**Doğruluk**	**Kesinlik**	**Duyarlılık**	**F1-Skoru**
Rastgele Orman	99.5308%	1.0000	0.9872	0.9936
XGBoost	99.4014%	0.9991	0.9846	0.9918
Topluluk Model	99.47%	0.9996	0.9859	0.9927

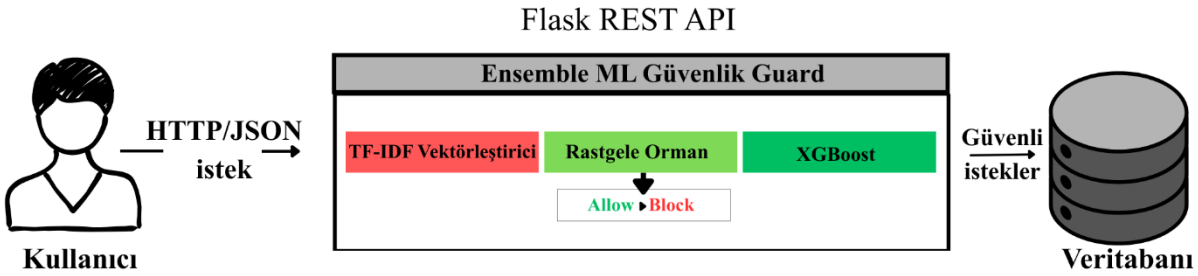
Eğitim aşamasının deneysel sonuçları, Rastgele Orman modelinin en yüksek ham doğruluk oranını elde etmesine rağmen, topluluk modelinin güvenlik uygulamaları açısından daha üstün bir denge sağladığını göstermektedir. Buna ek olarak, 0,9859 değerindeki duyarlılık oranı, sistemin kötü niyetli girişimlerin büyük çoğunluğunu başarıyla tespit ettiğini gösterirken, 0,9996 değerindeki kesinlik oranı, zararsız kullanıcı trafiğinin kesintiye uğramadan devam etmesini sağlamaktadır.

2.Dağıtım ve Tespit Aşaması

Bu bölümde, IoT uygulama ortamını, güvenlik katmanı olarak toplu makine öğrenimi tabanlı güvenlik sisteminin entegrasyonunu ve tespit iş akışını içeren, önerilen SQLi tespit metodolojisinin deneysel uygulaması gösterilmektedir. Bunun yanı sıra, dağıtım için gerçek zamanlı performans değerlendirmesi ve gecikme analizi amacıyla oluşturulan günlük kaydı ve izleme mekanizmaları da ele alınmaktadır.

IoT Uygulama Katmanı ve Güvenlik Entegrasyonu

Önerilen metodolojiyi gerçekçi bir ortamda değerlendirmek amacıyla, IoT arka uç servislerine taklit etmek üzere Flask tabanlı bir RESTful API geliştirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 2'de gösterildiği gibi, bu mimari, kalıcı depolama için bir SQLite veritabanı kullanarak, JSON-over-HTTP iletişimi yoluyla cihaz kaydı, telemetri gönderimi ve veri alımını kolaylaştırmaktadır. Gerçek zamanlı koruma sağlamak için, eğitilmiş yumuşak oylama topluluğu modeli, Flask before_request ara katman kancası bir güvenlik katmanı olarak bütünleştirilmiştir. Bu mimari tasarım, gelen her HTTP isteğinin veritabanı etkileşiminden önce yakalanmasını ve incelenmesini sağlamaktadır. Giriş noktasında algılama mekanizmasının entegrasyonu sayesinde sistem, mevcut API uç noktalarında herhangi bir değişiklik yapmaya gerek kalmadan kötü niyetli yüklerin veritabanına ulaşmasını engeller ve böylece uygulama düzeyinde SQLi istismarını azaltmaktadır.



Şekil 2. Sistem Mimarisi

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Önerilen mimari, sınıflandırma doğruluğu, çalışma zamanı davranışı ve dağıtım istikrarına odaklanılarak otomatik ve manuel testlerle doğrulanmıştır.

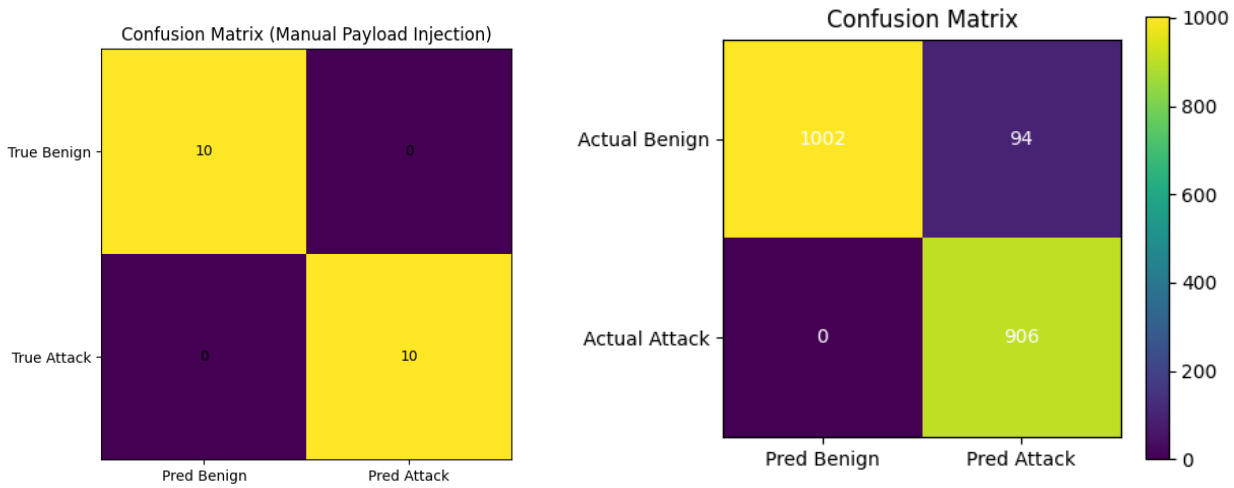
A. Deneysel Doğrulama

Güçlü bir performans analizi sağlamak amacıyla, tespit yöntemi iki senaryo kullanılarak doğrulanmıştır:
1. Otomatik Trafik Simülasyonu: IoT uygulama katmanı trafiğini simüle etmek için requests kütüphanesi kullanılarak geliştirilmiş, özel bir Python trafik üretim betiği geliştirilmiştir. IoT'nin gerçek etkileşimini taklit etmek amacıyla, zararsız tanımlayıcılar ve kötü niyetli SQLi yükleri (örn. OR 1=1, UNION SELECT) 0,02 saniyelik bir gecikmeyle sırayla aktarılmıştır.
2. Manuel Doğrulama: PowerShell aracılığıyla /device/register uç noktasına doğrudan HTTP POST istekleri gönderildi. Bu senaryo, gerçek zamanlı etkileşim için bir kavram kanıtı işlevi gördü ve Flask ara yazılımının kötü niyetli yükleri başarıyla engellediğini ve zararsız verilerin (ör. sensor01) SQLite arka ucuna ulaşmasına izin verdiğini teyit etmiştir.

B. Tespit Performansı Analizi

IoT uygulama katmanında SQL enjeksiyonunu tespit etmek için önerilen topluluk öğrenmesi metodolojisinin geçerliliğini doğrulamak amacıyla, otomatik trafik simülasyonu ile manuel yük enjeksiyonu senaryoları arasında karşılaştırmalı bir deneysel çalışma gerçekleştirdik. Otomatik HTTP trafiği senaryosunda, metodoloji 2002 HTTP isteğini 1096 zararsız ve 906 kötü niyetli örneğe verimli bir şekilde taksim edilmiştir. Karışıklık matrisi sonuçları, önerilen metodolojinin tüm kötü niyetli yükleri sıfır yanlış negatifle tespit ettiğini göstermektedir. Buna karşın, 94 iyi niyetli istek yanlış sınıflandırıldı, bu da %90,60 hassasiyet ve %95,30 doğruluk değerine ulaşılmasına neden oldu. Yanlış negatiflerin olmaması, metodolojinin IoT ortamlarında oldukça önemli olan tespit edilemeyen SQL enjeksiyon girişimlerini önleme yeteneğini göstermektedir. Ek olarak, yanlış pozitifler, modelin yanlış alarmların azaltılmasına odaklanmak yerine saldırıların en aza indirilmesine öncelik verdiğini göstermektedir. Dahası, manuel yük enjeksiyon senaryosu, doğruluk, kesinlik, duyarlılık ve F1 puanı açısından %100'e ulaşarak sınıflandırma performansında yüksek verimlilik sergilemiştir. Manuel senaryo, zararsız örnekleri reddetmeden tüm kötü amaçlı yüklerin tespit edildiğini göstermektedir. Bu sonuç, modelin otomatik olarak üretilen trafik kalıplarının ötesinde genelleme yapma yeteneğini ve IoT uygulama katmanındaki çeşitli girdileri tespit etmedeki etkinliğini garanti etmektedir. Performansın karşılaştırmalı analizi, otomatik istek değerlendirmesinin önemli trafik yükü altında istatistiksel doğrulama sağlarken, manuel değerlendirmenin ise düşmanca manipülasyona karşı sağlamlık gösterdiğini ortaya koymuştur.

Her iki sonuç da, Rastgele Orman ve XGBoost'u birleştiren önerilen topluluk öğrenmesi metodolojisinin, saldırıları kaçırmadan ve kabul edilebilir yanlış pozitif oranlarıyla sağlam bir algılama yeteneğini koruduğunu göstermektedir. Bu birleştirme, IoT uygulama katmanında dağıtım için uygunluğu göstermektedir.



(A) (B)

Şekil 3. Tespit ve Dağıtım Aşaması için Karıştırma Matrisi:
(A) manuel enjeksiyon; (B) otomatik trafik simülasyonu

Tablo 3. Gerçek Zamanlı Dağıtım ve Uygulama Senaryolarına Ait Performans Analizi.

Senaryo	Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık	F1-Skoru
Otomatik Trafik	95.30%	90.60%	100%	95.07%
Manuel Enjeksiyon	100%	100%	100%	100%

SONUÇ

Bu çalışma, IoT uygulama katmanlarını SQL enjeksiyon saldırılarına karşı korumak için sağlam topluluk öğrenmesi metodolojisi teyit etmiştir. Önerilen mimari, yumuşak oylama mekanizması kullanarak Rastgele Orman ve XGBoost'u entegre ederek, çevrimdışı eğitim ile gerçek zamanlı dağıtım arasındaki literatürdeki boşluğu başarıyla doldurmuştur. Deney sonuçları, hem otomatik trafik simülasyonlarında hem de manuel enjeksiyonlarda %100 duyarlılık oranı elde edilerek sistemin etkinliğini doğrulamıştır. İhtiyatlı güvenlik yaklaşımı, yönetilebilir bir yanlış pozitif oranı getirirken, yanlış negatiflerin olmaması IoT uç altyapısının bütünlüğünü garanti etmektedir. %95,07'lik yüksek F1 skoru, toplu yaklaşımın kaynak kısıtlı ortamlar için sağlam bir güvenlik sağladığını teyit etmektedir. Gelecekteki çalışmalar, uyarlanabilir eşikleme yoluyla yanlış alarmları azaltmak için ara yazılımın optimize edilmesini ve IoT sistemlerindeki diğer OWASP Top 10 güvenlik açıklarını da içerecek şekilde algılama yeteneklerinin genişletilmesini inceleyecektir.

KAYNAKÇA

Adam, M., Hammoudeh, M., Alrawashdeh, R., & Alsulaimy, B. (2024). A Survey on Security, Privacy, Trust, and Architectural Challenges in IoT Systems. *IEEE Access*, *12*, 57128–57149. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3382709

Albarrak, K. M. (2024). Securing the Future of Web-Enabled IoT: A Critical Analysis of Web of Things Security. *Applied Sciences*, *14*(23), 10867. https://doi.org/10.3390/app142310867

Almutairi, M., & Sheldon, F. T. (2025). IoT–Cloud Integration Security: A Survey of Challenges, Solutions, and Directions. *Electronics*, *14*(7), 1394. https://doi.org/10.3390/electronics14071394

Breiman, Leo 2001. Random forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A Scalable Tree Boosting System. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Fei, W., Ohno, H., & Sampalli, S. (2024). A Systematic Review of IoT Security: Research Potential, Challenges, and Future Directions. *ACM Computing Surveys*, *56*(5), 1–40. https://doi.org/10.1145/3625094

Hwang, Y., Le, T.-T.-H., Wardhani, R. W., Putranto, D. S. C., & Kim, H. (2024). Enhancing SQL Injection Detection Using Ensemble Learning and Boosting Models. *2024 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, 101–106. https://doi.org/10.1109/PlatCon63925.2024.10830720

Khan, M. S., Siam, R. S. F., & Adnan, M. A. (2025). A framework for checking and mitigating the security vulnerabilities of cloud service RESTful APIs. *Service Oriented Computing and Applications*, *19*(3), 187–208. https://doi.org/10.1007/s11761-024-00404-z

M, G., & H B, P. (2022). Semantic Query-Featured Ensemble Learning Model for SQL-Injection Attack Detection in IoT-Ecosystems. *IEEE Transactions on Reliability*, *71*(2), 1057–1074. https://doi.org/10.1109/TR.2021.3124331

Qin, Q., Li, Y., Mi, Y., Shen, J., Wu, K., & Wang, Z. (2025). Sql injection detection algorithm based on Bi-LSTM and integrated feature selection. *The Journal of Supercomputing*, *81*(4), 608. https://doi.org/10.1007/s11227-025-07109-w

R, L. M., S, S., S, C., Dharshan, C., Koushik, G. N., & Shetty, A. B. (2025). SQL Injection Detection, Prevention and Deception Using ML Classifiers. *2025 International Conference on Sustainability, Innovation & Technology (ICSIT)*, 1–6. https://doi.org/10.1109/ICSIT65336.2025.11294383

Rosca, C.-M., Stancu, A., & Popescu, C. (2025). Machine Learning Models for SQL Injection Detection. *Electronics*, *14*(17), 3420. https://doi.org/10.3390/electronics14173420

Salah Fathi, K., Barakat, S., & Rezk, A. (2025). An effective SQL injection detection model using LSTM for imbalanced datasets. *Computers & Security*, *153*, 104391. https://doi.org/10.1016/j.cose.2025.104391

Syed Saqlain Hussain Shah. (2020). *SQL injection Dataset* [Dataset]. https://www.kaggle.com/datasets/syedsaqlainhussain/sql-injection-dataset/data

SANAYİ VE TİCARİ MEKANLARDA KULLANILAN MEKANSAL DONATILARIN KONUT İÇ MEKANLARINA ADAPTASYONU: ESTETİK, ERGONOMİK VE İŞLEVSEL DÖNÜŞÜMLER

ADAPTATION OF INDUSTRIAL AND COMMERCIAL SPATIAL FIXTURES IN RESIDENTIAL INTERIOR SPACES: AESTHETIC, ERGONOMIC AND FUNCTIONAL TRANSFORMATIONS

Tuğba TAŞTAN
Öğr. Gör. Dr., İstanbul Kültür Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü
Lecturer PhD., İstanbul Kültür University, Faculty of Architecture, Department of Interior Architecture and Environmental Design
ORCID ID: 0009-0005-3020-1609

ÖZET

Sanayi ve ticari mekanlarda kullanılan mekansal donatılar genellikle dayanıklılık, modülerlik, bakım kolaylığı ve işlevsel verimlilik gibi teknik ve operasyonel kriterler doğrultusunda tasarlanmaktadır. Buna karşılık konut iç mekanları çoğunlukla konfor, mahremiyet, estetik bütünlük ve gündelik yaşam pratikleri gibi kriterler çerçevesinde şekillenir. Son yıllarda iç mimarlık pratiğinde sanayi ve ticari mekanlara özgü mekansal donatıların konut iç mekanlarında yeniden yorumlanarak kullanıldığı görülmektedir. Bu durum yalnızca estetik bir eğilim olarak değil, farklı kullanım bağlamlarına ait tasarım çözümlerinin konut mekanına uyarlanmasını içeren çok katmanlı bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışma, sanayi ve ticari mekanlara özgü mekansal donatıların estetik, ergonomik ve işlevsel dönüşümler yoluyla konut iç mekanına adaptasyon süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında bu donatıların konut bağlamına aktarılırken hangi özelliklerini koruduğu, hangi yönlerinin yeniden yorumlandığı ve iç mimari müdahalenin bu süreçteki rolü ele alınmaktadır. Literatürde endüstriyel estetik ve yeniden işlevlendirme üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, sanayi ve ticari mekanlara özgü donatıların konut iç mekanına aktarımının mekansal organizasyon üzerindeki etkilerini ele alan araştırmalar sınırlı kalmaktadır.

Çalışma nitel araştırma yaklaşımı doğrultusunda yürütülmektedir. Araştırmada literatür incelemesiyle kavramsal çerçeve oluşturulmakta, ardından sanayi ve ticari mekanlara özgü mekansal donatıların konut iç mekanlarında kullanıldığı seçili uygulamalar analiz edilmektedir. Bu örnekler, estetik, ergonomik ve işlevsel dönüşüm bağlamında mekânsal organizasyon açısından değerlendirilmektedir.

Araştırmanın, sanayi ve ticari mekanlara özgü donatıların konut iç mekanına aktarımının yalnızca biçimsel bir tasarım eğilimi olmadığını; değişen yaşam biçimleri ve mekansal ihtiyaçlarla ilişkili bir iç mimari adaptasyon süreci olduğunu ortaya koyması beklenmektedir. Bu bağlamda çalışma, endüstriyel kökenli tasarım yaklaşımlarının konut mekanındaki yeniden yorumlanmasına ilişkin kavramsal ve tasarımsal bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mekansal Donatı, Konut İç Mekanı, Mekansal Adaptasyon, Endüstriyel Tasarım.

ABSTRACT

Spatial fixtures used in industrial and commercial settings are generally designed in accordance with technical and operational criteria such as durability, modularity, ease of maintenance, and functional efficiency. In contrast, residential interiors are predominantly shaped by criteria such as comfort, privacy, aesthetic coherence, and everyday life practices. In recent years, it has been observed that spatial fixtures specific to industrial and commercial environments have been reinterpreted and incorporated into residential interiors within the practice of interior architecture. This phenomenon should be examined not merely as an aesthetic trend, but as a multilayered transformation process involving the adaptation of design solutions originating from distinct use contexts into the residential environment.

This study aims to examine the adaptation processes of spatial fixtures specific to industrial and commercial settings into residential interiors through aesthetic, ergonomic, and functional transformations. Within the scope of the research, it investigates which characteristics of these fixtures are preserved during their transfer to the residential context, which aspects are reinterpreted, and the role of interior architectural intervention in this process.

Although there is a considerable body of literature on industrial aesthetics and adaptive reuse, studies addressing the effects of transferring such fixtures into residential interiors on spatial organization remain limited.
The study is conducted within a qualitative research framework. Initially, a conceptual framework is established through a comprehensive literature review, followed by the analysis of selected cases in which spatial fixtures originating from industrial and commercial settings are utilized in residential interiors. These cases are evaluated in terms of spatial organization within the context of aesthetic, ergonomic, and functional transformation.
The study is expected to demonstrate that the adaptation of fixtures originating from industrial and commercial settings into residential interiors is not merely a formal design tendency, but rather an interior architectural adaptation process closely related to evolving lifestyles and spatial needs. In this respect, the study aims to provide a conceptual and design-oriented evaluation of the reinterpretation of industrial-origin design approaches within residential contexts.
Keywords: Spatial Fixtures, Residential Interiors, Spatial Adaptation, Industrial Design.

1. GİRİŞ

Endüstriyel ve ticari mekânlarda kullanılan mekânsal donatılar, üretim süreçlerinin gerektirdiği rasyonellik, verimlilik ve işlevsellik ilkeleri doğrultusunda geliştirilmiştir (Groover, 2015). Bu mekânlar içinde özellikle depo ve lojistik sistemler; ürün kabulü, depolama, toplama ve sevkiyat süreçlerinin performans kriterleri doğrultusunda organize edildiği sistemler olarak değerlendirilebilir (Rouwenhorst et al., 2000). Buna karşılık konut iç mekânları, kullanıcı ihtiyaçları ve gündelik yaşam pratikleri çerçevesinde şekillenen; konfor, mahremiyet ve estetik bütünlük gibi kriterlerin belirleyici olduğu mekânsal bağlamlardır.
Kaynak verimliliği ve çevresel etkiler bağlamında mekânsal müdahalelerin değerlendirilmesi gerektiği literatürde vurgulanmaktadır (Ness & Xing, 2017). Bu kapsamda adaptive reuse (yeniden işlevlendirme) yaklaşımı, çevresel etkileri azaltma ve mevcut yapı stokunu yeniden değerlendirme potansiyeli ile öne çıkmakta; yapıların değişen ihtiyaçlara uyum sağlayabilme kapasitesi tasarım disiplinlerinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Bullen & Love, 2011; Langston, 2012).
Mevcut çalışmalar ağırlıklı olarak mekânın kullanım senaryosundaki dönüşüme, özellikle endüstriyel ve ticari mekânların farklı işlevlere dönüştürülmesine odaklanmaktadır. Ancak bu çalışma, yapı ölçeğinden farklı olarak, sanayi ve ticari mekânlarda kullanılan donatıların konut iç mekânı bağlamında yeniden kullanımı ve uyarlanmasını ele almaktadır. Pandemi sonrası dönemde artan mekânsal esneklik ihtiyacı (Megahed & Ghoneim, 2020; Sharifi & Khavarian-Garmsir, 2020) dikkate alındığında, bu araştırma söz konusu dönüşüm eğilimlerini iç mekân ve donatı ölçeğinde tartışmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, sanayi ve ticari mekân kökenli donatıların konut iç mekânına adaptasyonu, değişen yaşam pratikleriyle ilişkili mekânsal bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.
Bu çerçevede çalışmanın temel araştırma problemi şu şekilde tanımlanmaktadır: Sanayi ve ticari mekânlara özgü mekânsal donatılar, konut iç mekânına aktarılırken hangi estetik, ergonomik ve işlevsel dönüşümlerden geçmektedir ve bu süreç mekânsal organizasyonu nasıl etkilemektedir?
Bu çalışma, sanayi ve ticari mekân donatılarının konut iç mekânına adaptasyonunu estetik, ergonomik ve işlevsel boyutlar çerçevesinde analiz ederek bu dönüşümlerin mekânsal organizasyon üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, söz konusu adaptasyonu, değişen yaşam pratikleri, kullanıcı ihtiyaçları ve mekânsal esneklik gereksinimleri ile ilişkili çok katmanlı bir iç mimari adaptasyon süreci olarak ele almaktadır. Bu yönüyle çalışma, donatı ölçeğindeki dönüşümlerin iç mimari bağlamda tartışılmasına katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sanayi ve ticari mekân donatılarının konut iç mekânına adaptasyonunu incelemek amacıyla nitel araştırma yaklaşımıyla kurgulanmıştır. Bu doğrultuda konuyla ilgili örnekler seçilmiş ve her bir örnek detaylı olarak analiz edilmiştir.
Seçilen örnekler üzerinde durum çalışması yöntemi uygulanmış ve analiz süreci belirlenen kriterler doğrultusunda yürütülmüştür. Donatıların dönüşümü üç temel kategori altında değerlendirilmiştir:

- Estetik dönüşüm (biçimsel ve malzeme temelli yeniden yorumlama)

- Ergonomik dönüşüm (kullanıcı uyumu, ölçü ve erişilebilirlik düzenlemeleri)
- İşlevsel dönüşüm (kullanım senaryolarının değişimi)

Buna ek olarak, donatıların mekânsal organizasyon üzerindeki etkileri analiz sürecine dahil edilmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında incelenen örnekler, sanayi ve ticari mekânlarda kullanılan mekânsal donatıların konut iç mekânına adaptasyonunun çok boyutlu bir dönüşüm süreci olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, bu sürecin estetik, ergonomik ve işlevsel olmak üzere üç temel eksende gerçekleştiğini ortaya koymakta ve bu dönüşümlerin mekânsal organizasyon üzerinde belirleyici etkiler yarattığını göstermektedir. Bu doğrultuda, incelenen örnekler analiz sürecinde elde edilen bulgular doğrultusunda başlıklar altında ele alınmıştır.

3.1 Endüstriyel Raf Sistemleri

Endüstriyel raf sistemleri, üretim ve dağıtım süreçlerinde malzeme akışının sürekliliğini sağlamak üzere geliştirilen depolama altyapılarının temel bir bileşeni olup, depo sistemlerinin yapısal ve operasyonel organizasyonu içerisinde merkezi bir rol üstlenmektedir. Lojistik literatürde bu sistemler, depolama süreçlerinin etkinliğini belirleyen ana kaynak unsurlarından biri olarak ele alınmaktadır (Rouwenhorst et al., 2000; Gu et al., 2010). Bu bağlamda endüstriyel raf sistemlerinin depo mekânında oluşturduğu yüksek yoğunluklu ve işlev odaklı mekânsal organizasyon Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Endüstriyel raf sistemlerinin depo mekânında yüksek yoğunluklu depolama ve işlev odaklı mekânsal organizasyon oluşturmasına örnek (Depotaraf, n.d.).

Sanayi ve ticari mekânlara özgü donatıların konut iç mekânına aktarımı, yalnızca işlevsel bir ölçek değişimi değil, aynı zamanda kullanıcı, mekân ve nesne ilişkilerinin yeniden tanımlandığı çok katmanlı bir dönüşüm sürecini ifade etmektedir. Bu bağlamda endüstriyel raf sistemlerinin farklı boyutlardaki dönüşüm dinamikleri, Tablo 1'de kavramsal bir çerçeve içerisinde ele alınmaktadır.

Tablo 1. Endüstriyel raf sistemlerinin sanayi ve ticari mekânlardan konut iç mekâna adaptasyon sürecinin estetik, ergonomik, işlevsel ve mekânsal organizasyon boyutları üzerinden analizi.

Kriter	Açıklama
Donatı Türü	Endüstriyel raf sistemleri (pallet rack, modüler raf sistemleri ve açık raf çözümleri)
Sanayi / Ticari Kullanım	Depo, fabrika ve lojistik merkezlerde yüksek yoğunluklu depolama, stok yönetimi ve operasyonel verimlilik sağlamak amacıyla kullanılan sistemler
Konut İçi Adaptasyon	Mutfak, salon ve çalışma alanlarında açık depolama ve sergileme elemanı olarak yeniden işlevlendirilmiş donatılar
Estetik Dönüşüm	Endüstriyel, ham ve işlev odaklı görünümlerden; tasarım odaklı, dekoratif ve kullanıcı deneyimini önceleyen açık raf sistemlerine dönüşüm
Ergonomik Dönüşüm	İnsan ölçülerine uygun raf yükseklikleri, erişim mesafeleri ve kullanım senaryolarına göre yeniden ölçeklendirilmiş sistemler
İşlevsel Dönüşüm	Yüksek kapasiteli stok depolama işlevinden; gündelik kullanım, erişilebilirlik ve sergileme işlevlerini içeren hibrit kullanımlara geçiş

Mekânsal Organizasyon Etkisi	Kapalı ve yoğun depolama düzeninden, açık, görünür ve mekânı tanımlayan yerleşimlere geçiş; mekânın hem depolama hem de temsil işlevi kazanması

Endüstriyel raf sistemlerinin konut iç mekâna adaptasyonu, kapalı ve yoğun depolama düzeninden açık ve sergilemeye dayalı bir mekânsal organizasyona doğru bir eğilim göstermektedir. Şekil 2, bu eğilimin depolama mantığından mekânsal temsil ve görünürlük odaklı bir yerleşime yönelebildiğini karşılaştırmalı bir örnek üzerinden ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Endüstriyel raf sistemlerinin farklı mekânsal bağlamlarda kullanımı: (a) Depo ortamında yüksek yoğunluklu depolama düzeni; (b) Konut iç mekânda açık depolama ve sergileme elemanı olarak yeniden kullanımı (Steel Power Shelving, 2025; Decorexi, n.d.).

3.2 Metal Çalışma Tezgahları

Metal çalışma tezgâhları, üretim ve montaj süreçlerinde manuel ve yarı otomatik işlemleri desteklemek üzere tasarlanmış, yüksek dayanıklılığa sahip endüstriyel iş istasyonu bileşenleridir (Groover, 2015). Metal çalışma tezgâhları, üretim ve montaj süreçlerinde işlev odaklı ve operasyonel verimliliğe dayalı organizasyonun temel bileşenlerinden biri olup, bu sistemlerin tipik bir örneği Şekil 3'te sunulmaktadır.



Şekil 3. Endüstriyel kullanım için tasarlanmış metal çalışma tezgâhı örneği (Engin Metal, n.d.).

Metal çalışma tezgâhlarının konut iç mekânına adaptasyonu, salt işlevsel bir kullanım değişimi değil; kullanıcı, mekân ve nesne ilişkilerini yeniden tanımlayan çok katmanlı bir dönüşümdür. Endüstriyel üretim süreçlerine hizmet eden bu donatılar, konut bağlamında mutfak adası, çalışma yüzeyi veya depolama elemanı olarak yeniden işlevlendirilmekte; estetik, ergonomik ve mekânsal açıdan yeniden yorumlanmaktadır. Bu dönüşüm dinamikleri, Tablo 2'de kavramsal bir çerçeve içerisinde ele alınmaktadır.

Tablo 2. Metal çalışma tezgahlarının sanayi ve ticari mekânlardan konut iç mekâna adaptasyon sürecinin estetik, ergonomik, işlevsel ve mekânsal organizasyon boyutları üzerinden analizi.

Kriter	**Açıklama**
Donatı Türü	Metal çalışma tezgâhı
Sanayi / Ticari Kullanım	Fabrika ve atölyelerde üretim, montaj ve tamir işlemleri için kullanılan yüksek dayanımlı çalışma yüzeyi
Konut İçi Adaptasyon	Mutfak adası, çalışma masası veya depolama elemanı olarak konut iç mekânda kullanılan mobilya
Estetik Dönüşüm	Ham ve işlev odaklı metal yüzey → ahşap/metal kombinasyonlu, dekoratif ve tasarım odaklı yüzeylere dönüşüm
Ergonomik Dönüşüm	Endüstriyel yükseklik ve kullanım → kullanıcı ölçeğine uygun, konfor ve erişilebilirlik açısından yeniden düzenlenmiş ölçüler
İşlevsel Dönüşüm	Üretim ve montaj yüzeyi → gündelik kullanım (yemek hazırlama, çalışma, depolama)
Mekânsal Organizasyon Etkisi	Arka planda işlevsel üretim elemanı → konut içinde mekânın odak noktası (merkezî kullanım elemanı)

Metal çalışma tezgâhlarının konut iç mekâna adaptasyonu, üretim ve montaj odaklı işlevsel yüzey anlayışından estetik ve çok amaçlı kullanıma dayalı mekânsal bir odak elemanına dönüşümü ortaya koymakta; söz konusu dönüşüm Şekil 4'te görsel olarak somutlaştırılmaktadır. Bu dönüşüm süreci, yalnızca işlevsel bir yeniden kullanım değil, aynı zamanda donatının mekân içindeki temsil ve anlam değerinin yeniden kurgulanmasını da içermektedir. Ayrıca, tezgâhın konut bağlamında merkezî bir kullanım elemanına dönüşmesi, mekânsal organizasyonun kullanıcı deneyimi ve gündelik yaşam pratikleri doğrultusunda yeniden şekillendiğini göstermektedir.



Şekil 4. Metal çalışma tezgâhlarının farklı mekânsal bağlamlarda dönüşümü:
(a) Çelik konstrüksiyonlu, tekerlekli ve raflı metal çalışma tezgâhı; üretim, montaj ve bakım işlemlerinde kullanılan, yüksek dayanıklılığa sahip endüstriyel bir iş istasyonu örneği (Inoksan Kocaeli, n.d.); **(b)** Paslanmaz çelik yüzeylerin kullanıldığı konut mutfağı örneği; endüstriyel kökenli metal çalışma yüzeylerinin estetik ve çok işlevli bir mutfak adası olarak yeniden yorumlandığı iç mekân uygulaması (Abode Magazine, 2019).

3.3 Kahve Makinesi

Kahve makineleri, özellikle espresso makineleri, kahvenin basınç ve sıcaklık kontrolü altında hızlı ve standart biçimde hazırlanmasını sağlamak amacıyla geliştirilen, ticari kullanımda seri üretim ve servis süreçlerini destekleyen ekipmanlardır. İlk pratik/ticari modern espresso makinesi, 1901 yılında Luigi Bezzera tarafından geliştirilmiş olup, bu teknoloji kahve hazırlama sürecinde hız, standardizasyon ve kontrolün sağlanmasına yönelik önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir (Illy & Viani,

2005). Bu tarihsel ve teknolojik gelişim sürecini temsil eden örnek bir espresso makinesi Şekil 5'de sunulmaktadır.



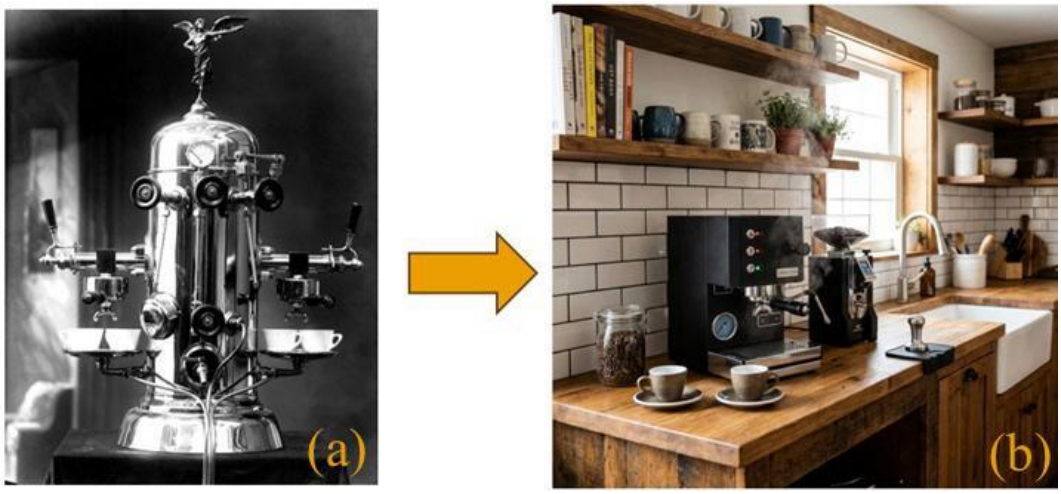
Şekil 5. Erken dönem espresso makineleri, kahve üretim sürecini hızlandırmak amacıyla geliştirilen ve buhar basıncı prensibine dayanan, ticari kullanıma yönelik endüstriyel sistemler olarak ortaya çıkmıştır (Helena Coffee Vietnam, n.d.).

Kahve makinelerinin konut iç mekâna adaptasyonu, çok boyutlu bir dönüşüm süreci olarak değerlendirilmekte olup, bu sürecin estetik, ergonomik ve işlevsel boyutları Tablo 3'te özetlenmektedir.

Tablo 3. Kahve makinesinin, sanayi ve ticari mekânlardan konut iç mekâna adaptasyon sürecinin estetik, ergonomik, işlevsel ve mekânsal organizasyon boyutları üzerinden analizi.

Kriter	**Açıklama**
Donatı Türü	Kahve makinesi (espresso machine)
Sanayi / Ticari Kullanım	Kafe ve restoranlarda, ölçülebilir üretim parametrelerine dayalı standartlaştırılmış seri kahve üretimi ve hızlı servis sağlayan profesyonel ekipman
Konut İçi Adaptasyon	Mutfakta bireysel kullanım için tasarlanmış, kompakt ve kullanıcı dostu kahve makinesi
Estetik Dönüşüm	Büyük, endüstriyel ve işlev odaklı form → kompakt, dekoratif ve tasarım odaklı ürün
Ergonomik Dönüşüm	Profesyonel kullanım → kullanıcı dostu, otomatik ve kolay erişilebilir arayüz
İşlevsel Dönüşüm	Seri üretim → bireysel tüketim, deneyim ve kullanıcı kontrollü standartlaştırılmış kullanım
Mekânsal Organizasyon Etkisi	Servis alanındaki arka plan ekipmanı → mutfakta görünür, tezgâh üstü ve mekânsal odak elemanı

Kahve makinelerinin konut iç mekâna adaptasyonu, seri üretim ve profesyonel kullanım odaklı ticari ekipmanların, estetik, ergonomik ve deneyim odaklı bireysel kullanım nesnelerine dönüşümünü açık biçimde ortaya koymaktadır; bu dönüşüm Şekil 6'da görsel olarak karşılaştırılmalı biçimde sunulmaktadır.



Şekil 6. (a) 1901 yılında geliştirilen erken dönem espresso makinesi; buhar basınçlı sistemle kahve üretimini hızlandırmaya yönelik ticari ekipman örneği (AMPTO, n.d.); **(b)** Konut iç mekânda kullanılan modern espresso makinesi, kompakt ve bireysel kullanıma uygun bir donatıdır (My Coffee Shop, n.d.).

4. SONUÇ

Sanayi kökenli mekânsal donatıların konut iç mekânına aktarımı, estetik yeniden yorumlama, ergonomik uyarlama ve işlevsel dönüşüm olmak üzere üç temel dönüşüm dinamiği üzerinden yapılandırılmaktadır. Bu dönüşüm dinamikleri, birbirinden bağımsız süreçler olarak değil, karşılıklı etkileşim ve süreklilik içinde gelişen bütüncül bir adaptasyon mekanizması olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle ergonomik uyarlamalar, sanayi ölçeğinden konut ölçeğine geçişte kritik bir eşik oluşturarak donatıların kullanım pratiklerini, erişilebilirliğini ve mekânsal entegrasyonunu belirleyen temel bir ara yüz işlevi görmektedir.

Bu çerçevede, sanayi ve ticari mekân donatılarının konut iç mekâna adaptasyonu, yalnızca biçimsel ya da estetik bir aktarım olarak değil; değişen yaşam biçimleri, mekânsal esneklik gereksinimleri ve çağdaş tasarım yaklaşımlarıyla ilişkili çok katmanlı bir iç mimari dönüşüm süreci olarak tanımlanmaktadır. Çalışma, literatürde ağırlıklı olarak yapı ölçeğinde ele alınan adaptive reuse ve mekânsal esneklik kavramlarını donatı ölçeğine indirerek bu kavramların mikro-mekânsal düzeyde nasıl yeniden üretildiğini ortaya koymakta ve bu doğrultuda yeni bir analitik çerçeve önermektedir. Bu yaklaşım, iç mimarlık disiplininde mekânsal üretim süreçlerinin yalnızca planlama ve hacim organizasyonu üzerinden değil, donatı sistemlerinin kurucu rolü üzerinden de değerlendirilmesi gerektiğini teorik olarak temellendirmektedi

KAYNAKÇA

Abode Magazine. (2019). Design feature: Style with stainless. https://www.abodemagazine.co.nz/home/2019/3/5/design-feature-style-with-stainless (Accessed Date: 15.04.2026).

AMPTO. (n.d.). The evolution of espresso coffee machines: A tribute to Luigi Bezzera. https://www.ampto.com/blogs/learning-center/the-evolution-of-espresso-coffee-machines-a-tribute-to-luigi-bezzera (Accessed Date: 15.04.2026).

Bullen, P. A., & Love, P. E. D. (2011). Adaptive reuse of heritage buildings. Structural Survey, 29(5), 411–421. https://doi.org/10.1108/02630801111182439

Decorexi. (n.d.). Extra tall industrial shelf unit with ladder. https://decorexi.co.uk/products/extra-tall-industrial-shelf-unit-ladder (Accessed Date: 15.04.2026).

Depotaraf. (n.d.). Endüstriyel raf sistemleri. https://www.depotaraf.com.tr/tr/blog/endustriyel-raf-sistemleri (Accessed Date: 15.04.2026).

Engin Metal. (n.d.). Çalışma tezgâhı. https://www.enginmetal.com.tr/calisma-tezgahi/ (Accessed Date: 15.04.2026).

Groover, M. P. (2015). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing (4th ed.). Pearson Education.

Gu, J., Goetschalckx, M., & McGinnis, L. F. (2010). Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review. European Journal of Operational Research, 203(3), 539–549. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.031.

Helena Coffee Vietnam. (n.d.). The beginning of the history of the espresso machine. https://www.helenacoffee.vn/the-beginning-of-the-history-of-the-espresso-machine/ (Accessed Date: 15.04.2026).

Illy, A., & Viani, R. (Eds.). (2005). Espresso coffee: The science of quality (2nd ed.). Elsevier Academic Press.

Inoksan Kocaeli. (n.d.). TCG çalışma tezgahı. https://inoksankocaeli.com/urun-detay/tcg-calisma-tezgahi- (Accessed Date: 15.04.2026).

Langston, C. (2012). Validation of the adaptive reuse potential (ARP) model using iconCUR. Facilities, 30(3/4), 105–123. https://doi.org/10.1108/02632771211202824

Megahed, N. A., & Ghoneim, E. M. (2020). Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic. Sustainable Cities and Society, 61, 102350. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350.

My Coffee Shop. (n.d.). Home manual coffee machines. https://mycoffeeshop.com.au/collections/home-manual-coffee-machines (Accessed Date: 15.04.2026).

Ness, D. A., & Xing, K. (2017). Toward a resource-efficient built environment: A literature review and conceptual model. Journal of Industrial Ecology, 21(3), 572–592. https://doi.org/10.1111/jiec.12586.

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. European Journal of Operational Research, 122(3), 515–533. https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X.

Sharifi, A., & Khavarian-Garmsir, A. R. (2020). The COVID-19 pandemic: Impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. Science of the Total Environment, 749, 142391. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391.

Steel Power Shelving. (2025, May 5). 9 best warehouse shelving racks for 2025: Optimize your storage space. https://steelpowershelving.com.au/blogs/news/9-best-warehouse-shelving-racks-for-2025-optimize-your-storage-space.

APPLICATION OF MAMDANI FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR MODELING NONLINEAR DYNAMICS OF A WASTEWATER TREATMENT BIOREACTOR

Kamala MAMMADAZADA
Azerbaijan State Oil and Industry University, BA Programs, Employee on Educational Technologies
ORCID ID: 0009-0007-7977-5122

ABSTRACT
When you're trying to understand how biological wastewater treatment really works, you quickly realize it's anything but straightforward. The whole process is riddled with complexities—nonlinear behaviors that don't follow neat mathematical rules. That's precisely why traditional modeling approaches often fall short when dealing with pollutant removal in activated sludge systems.
In this research, I've taken a different route by developing a model that doesn't rely on precise mathematical formulas. Instead, it captures the fuzzy, uncertain nature of these biological processes. Think of it as teaching a computer to think more like an experienced plant operator rather than a rigid calculator.
The fuzzy inference system I've built here draws on approximations of those tricky nonlinear relationships you find between general variables and some pretty critical identifications. What makes this approach particularly useful is how it handles the inherent fuzziness—surface analysis of the model reveals stable and consistent relationships between key input variables and the output. Rather than forcing everything into exact equations, this method provides a more nuanced way to predict outcomes [1].
Keywords: Mamdani, Fuzzy logic, bioreactor, wastewater treatment, Nonlinear Process Modeling, Soft Computing.

INTRODUCTION
Here's something that often gets overlooked: wastewater treatment isn't just one of many technological processes—it's arguably one of the most crucial ones we have. When we talk about environmental engineering, we're really addressing the monumental challenge of representing organic and inorganic pollutants using mathematical models. What makes biological wastewater treatment particularly fascinating (and frustrating) is its reliance on biodegradable organic compounds. Your typical treatment plant depends heavily on how microfluid populations interact with these compounds—their growth rates, substrate concentrations, dissolved oxygen levels, all of it intertwined in ways that defy simple description.
The biological reactor itself is where the magic happens, though calling it "magic" undersells the complexity. You've got biochemical reactions happening simultaneously—microbial growth kinetics, nutrient transfer processes, even traditional mathematical models struggle to keep up. Models like Mixed Aeration and Activated Sludge Models (ASM) have their place, but they come with significant limitations when you're dealing with real-world conditions.
In the context of biological wastewater treatment, state space variables often represent process parameters that influence oxygen dynamics—both in substrate concentrations and biomass characteristics. The problem? These variables interact through irregular; nonlinear functions that differ considerably from the idealized input relationships you'd find in textbooks.
The fuzzy inference system takes an entirely different philosophical approach. Rather than trying to nail down exact equations used in the inference mechanism to link input and output variables, it embraces the inherent uncertainty. This configuration works well in environmental modeling precisely because it mirrors the mathematical stability and manageability that operators actually experience.

METHODOLOGY
The dynamics of dissolved oxygen concentration in biological wastewater treatment systems play a crucial role in determining the efficiency of organic pollutant degradation. In activated sludge bioreactors, dissolved oxygen serves as an essential electron acceptor for aerobic microorganisms responsible for the oxidation of organic matter [6-7].

The temporal variation of dissolved oxygen concentration S_O in the bioreactor can be described by the following differential equation:

$$\frac{dS_O}{dt} = \frac{q_F}{V} S_{OF} - \frac{q_F + q_R}{V} S_O + \left(\frac{Y_H - 1}{Y_H}\right) \mu_H \left(\frac{S_S}{K_S + S_S}\right) \left(\frac{S_O}{K_{OH} + S_O}\right) X_H + a\left(1 - e^{-\mu_H t}\right)(S_{O,\mathrm{SAT}} - S_O) \quad (1)$$

where:

- S_O — dissolved oxygen concentration in the reactor (mg/L)
- S_{OF} — dissolved oxygen concentration in the influent flow
- q_F — influent wastewater flow rate
- q_R — recycle flow rate
- q_t — treated water outflow rate
- V— bioreactor volume
- X_H — heterotrophic biomass concentration
- μ_H — maximum specific growth rate of heterotrophic microorganisms
- Y_H — biomass yield coefficient
- S_S — readily biodegradable substrate concentration
- K_S — half-saturation constant for substrate utilization
- S_{OS} — dissolved oxygen concentration
- K_{OH} — half-saturation constant for oxygen
- a — oxygen transfer coefficient

The first two terms in the equation represent the transport of oxygen due to inflow and outflow streams. The third term describes oxygen consumption by heterotrophic microorganisms during substrate oxidation, which follows Monod-type kinetics. The final term represents oxygen transfer from the gas phase into the liquid phase through aeration, approaching the saturation concentration of dissolved oxygen in the reactor. Because of the nonlinear interactions between microbial growth, substrate availability, and oxygen transfer processes, the resulting system dynamics are highly nonlinear and difficult to represent using purely analytical models.

RESULTS

The developed Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) was employed to model the nonlinear dynamics of dissolved oxygen in a biological wastewater treatment bioreactor [8]. The model was created using 15000 simulated data points, reflecting various operational situations of the reactor. The analysis of the fuzzy system was performed using three main visualization tools: the Fuzzy Logic Designer structure, the Rule Viewer, and the Surface Viewer, which together provide insight into the internal behavior of the fuzzy inference system and its ability to approximate the nonlinear dynamics of the process.

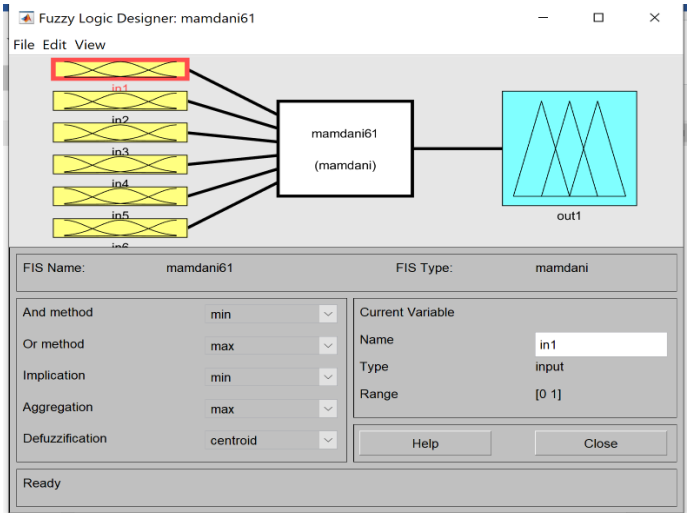


Figure 1. Structure of the Mamdani Fuzzy Inference System for Modeling Dissolved Oxygen Dynamics

The overall structure of the created fuzzy inference system is represented in Figure 1. The Mamdani-type fuzzy model incorporates numerous input variables reflecting important operational parameters of the wastewater treatment process and a single output variable related to the projected system response. In the context of biological wastewater treatment, these input variables may represent process parameters influencing oxygen dynamics, such as substrate concentration, biomass concentration, and hydraulic operating conditions [9]. The output variable relates to the hypothesized dynamic behavior of the system, specifically the change in dissolved oxygen concentration over time.

The fuzzy inference system uses triangular membership functions defined over the normalized input range [0,1]. The logical operators used in the inference mechanism include the minimum operator for rule activation, the maximum operator for aggregation, and the centroid method for defuzzification. This configuration is widely used in environmental modeling due to its numerical stability and interpretability.

The structure presented in Figure 1 depicts how the fuzzy model translates crisp input data into fuzzy sets, assesses the rule base, and creates a crisp output representing the projected process dynamics.

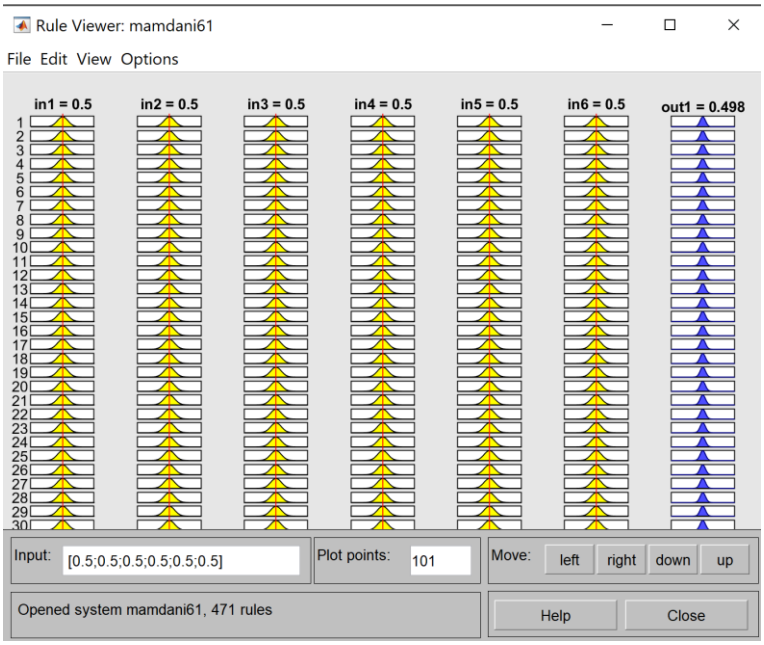


Figure 2. Fuzzy Rule Base Representation for the Mamdani Model

The internal rule base of the fuzzy inference system is presented in Figure 2, which shows the Rule Viewer interface used to evaluate the fuzzy rules under a specific operating condition.

The fuzzy rule base consists of a large number of rules that define the relationship between input variables and the system output. Each rule follows the general structure:

IF (Input_1 is A_1) AND (Input_2 is A_2) AND … THEN (Output is B)
Where: A_i and B_i represent fuzzy linguistic variables.

The rule viewer offers visualization of how each input variable contributes to rule activation and how the rules together decide the final output value [10]. The highlighted bars in the viewer show the degree of activation of individual rules under the specified input conditions. In wastewater treatment modeling, such rule-based systems are particularly valuable because they allow the incorporation of process knowledge and empirical relationships between variables. The large number of rules in the developed system enables the model to capture complex nonlinear relationships between biological activity, substrate utilization, and oxygen dynamics.

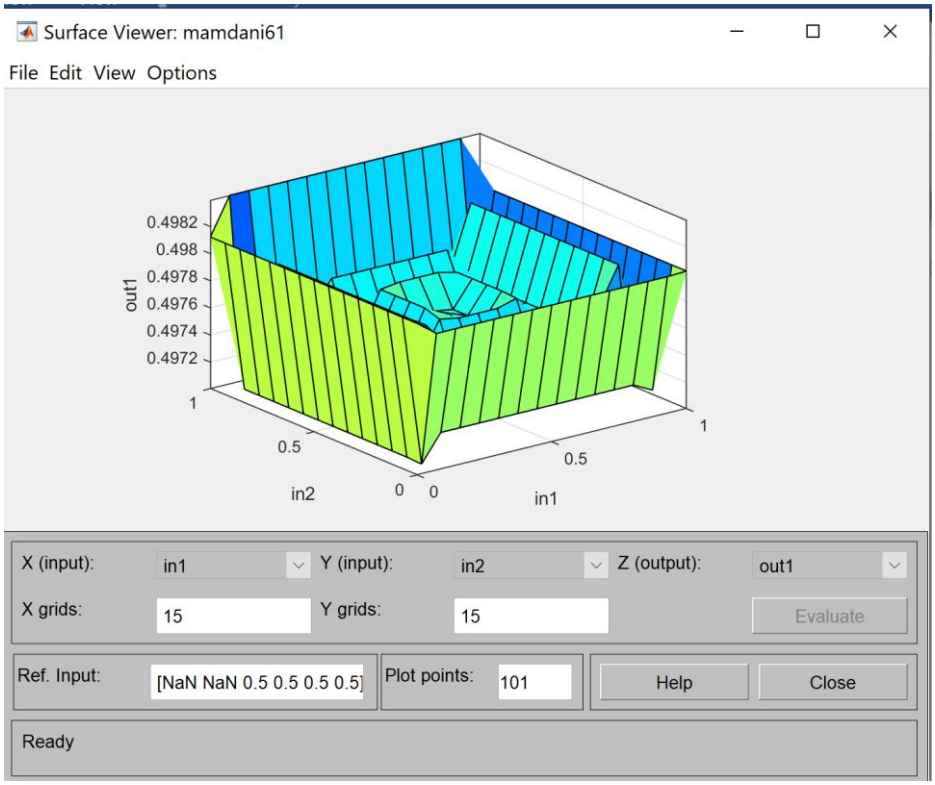


Figure 3. Surface Representation of the Mamdani Fuzzy Model Outputl

The nonlinear relationship between the input variables and the model output is illustrated in Figure 3, which shows the fuzzy surface generated by the Mamdani inference system. The surface plot represents the dependency between two selected input variables and the predicted system response. The smooth shape of the surface indicates that the fuzzy inference system successfully approximates the nonlinear dynamics of the biological process. In the context of wastewater treatment, such surfaces are useful for analyzing how changes in operational parameters affect the dissolved oxygen dynamics in the bioreactor [11-12]. The gradual transitions observed in the surface plot reflect the continuous behavior of biological processes and confirm that the fuzzy model produces stable and consistent predictions. The surface analysis also demonstrates that the Mamdani fuzzy inference system can effectively represent complex nonlinear interactions between process variables without requiring detailed kinetic parameter identification. This characteristic is particularly important for wastewater treatment systems, where process conditions often vary and precise mathematical modeling may be difficult [13].

Overall, the results confirm that the developed Mamdani fuzzy inference model provides a reliable representation of the nonlinear dynamics of dissolved oxygen in the wastewater treatment bioreactor. The combination of fuzzy rule-based reasoning and data-driven modeling enables the system to capture complex relationships between process variables and produce stable predictions across a wide range of operating conditions [14]. Such models can play an important role in the development of intelligent monitoring systems, process optimization tools, and digital twin frameworks for modern wastewater treatment facilities, where accurate representation of biological process dynamics is essential for efficient plant operation [15].

CONCLUSION

In this study, a Mamdani Fuzzy Inference System (FIS) was developed to model the nonlinear dynamics of dissolved oxygen in a biological wastewater treatment bioreactor. For those looking for practical alternatives to complex mathematical models, this approach offers something genuinely useful—a mathematical representation of the wastewater treatment process that balances accuracy with interpretability. The dynamic behavior of the system was described using a system of two differential equations accounting for the rate of change of dissolved oxygen concentration and biomass under varying hydraulic operating conditions.

What the fuzzy inference model accomplished was remarkable: it successfully captured the varied input variables representing the operational parameters of the reactor while still approximating the reference model output. Through careful analysis, several advantages became clear: the model structure remains interpretable even as complexity increases; operational parameters get represented in ways that match real-world experience; the fuzzy system maintains computational efficiency without sacrificing accuracy; complex interactions between operational parameters get captured naturally. The analysis of the developed model through the fuzzy system reveals this crucial finding: the Mamdani FIS is genuinely capable of effectively approximating the nonlinear dynamics. Beyond just matching numbers, the surface analysis demonstrates how the fuzzy system maintains rule variance and surface analysis in measurement, capturing the complex interactions between operational parameters affecting dissolved oxygen dynamics.

Looking ahead, the developed modeling framework has significant practical potential for performance in activated sludge systems, process optimization tools, and digital twin frameworks. For modern wastewater treatment facilities seeking improved operational efficiency, better energy optimization in aeration systems, and enhanced stability of biological treatment processes—this fuzzy inference approach offers a compelling path forward.

REFERENCES

Babuska, R. (1998). Fuzzy Modeling for Control. Boston: Kluwer Academic Publishers.

Fuller, R. (1995). Neural Fuzzy Systems. Turku: Abo Akademi University.

Garcia, C.E., Prett, D.M., & Morari, M. (1989). Model predictive control: Theory and practice. Automatica, 25(3), 335–348.

Haseena, M., Malik, A.A., & Javed, A. (2017). Application of soft computing techniques in wastewater treatment modeling. Environmental Modelling & Software, 95, 280–289.

Henze, M., Gujer, W., Mino, T., & van Loosdrecht, M. (2000). Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3. IWA Publishing.

Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 23(3), 665–685.

Ljung, L. (1999). System Identification: Theory for the User (2nd ed.). Prentice Hall.

Mamdani, E.H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7(1), 1–13.

Monod, J. (1949). The growth of bacterial cultures. Annual Review of Microbiology, 3, 371–394.

Olsson, G., & Newell, B. (1999). Wastewater Treatment Systems: Modelling, Diagnosis and Control. London: IWA Publishing.

Qin, S.J. (2012). Survey on data-driven industrial process monitoring and diagnosis. Annual Reviews in Control, 36(2), 220–234.

Ross, T.J. (2010). Fuzzy Logic with Engineering Applications (3rd ed.). Wiley.

Takagi, T., & Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15(1), 116–132.

Tao, F., Qi, Q., Liu, A., & Kusiak, A. (2018). Data-driven smart manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 48, 157–169.

Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353.

UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN ÇÖZÜNÜRLÜĞÜNÜN İYİLEŞTİRİLMESİ VE NESNE TESPİTİ

IMPROVING THE RESOLUTION OF SATELLITE IMAGES AND OBJECT DETECTION

Mete ARSLAN
Gazi University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Computer Engineering, MSc
ORCID NO: 0009-0002-1503-2681

Aydın ÇETİN
Gazi University, Faculty of Technology, Department of Computer Engineering
ORCID NO: 0000-0002-8669-823X

ÖZET

Uzaktan algılama uygulamalarında kullanılan uydu görüntülerinin sınırlı uzamsal çözünürlüğü, küçük ölçekli yapısal detayların yeterince temsil edilememesine yol açmakta ve bu durum sınıflandırma ile nesne tespiti gibi aşağı akış görevlerin başarımını olumsuz etkileyebilmektedir. Literatürde süper çözünürlük yöntemleri çoğunlukla PSNR ve SSIM gibi görsel kalite metrikleri üzerinden değerlendirilmekte, ancak bu yöntemlerin sınıflandırma başarımı üzerindeki doğrudan etkisi sınırlı biçimde incelenmektedir. Bu çalışmada, GAN tabanlı bir süper çözünürlük yöntemi olan SRGAN'ın uydu görüntülerinde arazi örtüsü sınıflandırmasına olan etkisi görev odaklı bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Sentinel-2 uydu görüntüleri Google Earth Engine üzerinden küresel ölçekte rastgele örnekleme yöntemiyle elde edilmiş, bulut ve deniz alanları maskeleme ile elenmiştir. Görüntüler sabit boyutlu parçalara ayrılarak veri artırma adımları uygulanmış ve PyTorch altyapısı kullanılarak SRGAN modeli eğitilmiştir. Süper çözünürlük öncesi ve sonrası görüntüler, BigEarthNet veri seti üzerinde eğitilmiş ResNet50 tabanlı bir sınıflandırıcı ile test edilerek sınıf olasılıkları arasındaki değişimler nicel olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, özellikle kenar ve doku detaylarının belirginleşmesi sayesinde bazı sınıflarda sınıflandırma güveninin arttığını göstermektedir. Sonuçlar, süper çözünürlük yöntemlerinin yalnızca görsel kalite açısından değil, görev başarımı açısından da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Süper çözünürlük, SRGAN, ResNet50, BigEarthNet, Arazi örtüsü sınıflandırması.

ABSTRACT

The limited spatial resolution of satellite images used in remote sensing applications leads to an insufficient representation of small-scale structural details, which negatively affects the performance of downstream tasks such as classification and object detection. In the literature, super-resolution methods are mostly evaluated using visual quality metrics such as PSNR and SSIM; however, the direct impact of these methods on classification performance has been investigated only in a limited manner. In this paper, the effect of SRGAN, a GAN-based super-resolution method, on land-cover classification in satellite imagery was analyzed using a task-oriented approach. Sentinel-2 satellite images were obtained globally through the Google Earth Engine platform using a random sampling strategy, and cloud and water covered areas were excluded through masking. The images were divided into fixed-size patches, data augmentation steps were applied, and the SRGAN model was trained using the PyTorch framework. Images before and after super-resolution were tested with a ResNet50-based classifier trained on the BigEarthNet dataset, and the changes in class probabilities were quantitatively evaluated. The findings show that classification confidence increased for certain classes due to the enhancement of edge and texture details. The results demonstrate that super-resolution methods should be evaluated not only in terms of visual quality but also in terms of task performance.

Keywords: Super-resolution, SRGAN, ResNet50, BigEarthNet, Land-cover classification.

GİRİŞ

Uzaktan algılama uygulamalarında kullanılan uydu görüntülerinin sınırlı uzamsal çözünürlüğü, görüntü içerisindeki küçük ölçekli yapısal detayların ve ince mekânsal özelliklerin yeterince temsil edilememesine yol açmaktadır.

Bu durum, özellikle sınıflandırma ve nesne tespiti gibi aşağı akış görevlerin başarısını düşürebilmektedir. Görüntü kalitesini artırmaya yönelik birçok çalışma bulunmasına rağmen, çözünürlük sınırlamalarının analiz sonuçları üzerindeki etkisi literatürde çoğunlukla dolaylı biçimde ele alınmakta ve görev başarımı üzerindeki doğrudan katkısı yeterince açık şekilde ortaya konulamamaktadır. Oysa uydu görüntüleri şehir planlaması, tarım izleme, çevresel değişim analizi ve afet yönetimi gibi kritik alanlarda temel veri kaynağı olarak kullanılmakta; bu alanlarda elde edilen sonuçların doğruluğu büyük ölçüde görüntü kalitesine bağlı olmaktadır. Atmosferik koşullar, sensör gürültüsü ve uydu sistemlerinin çözünürlük sınırlamaları, özellikle yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda önemli bir kısıt oluşturmaktadır.

Son yıllarda bu tür problemlerin giderilmesine yönelik olarak derin öğrenme tabanlı süper çözünürlük yöntemleri ön plana çıkmıştır. Özellikle Üretici Çekişmeli Ağlar (GAN) tabanlı yaklaşımlar, düşük çözünürlüklü görüntülerden daha ayrıntılı ve görsel olarak daha gerçekçi çıktılar üretebilmektedir [10]. SRGAN (Super-Resolution Generative Adversarial Network) mimarisi, çekişmeli öğrenme yapısı ve perceptual loss kullanımı sayesinde görüntü detaylarını belirginleştirebilmekte ve algısal kaliteyi artırmaktadır [10], [11]. Bununla birlikte, süper çözünürlük alanındaki çalışmaların önemli bir kısmı performansı PSNR ve SSIM gibi görsel kalite metrikleri üzerinden değerlendirmektedir. Daha gelişmiş modeller olan EDSR [12], ESRGAN [13] ve transformer tabanlı yaklaşımlar [20], görsel kaliteyi artırmada önemli ilerlemeler sağlamış olsa da, bu yöntemlerin sınıflandırma ve nesne tespiti gibi görevler üzerindeki doğrudan etkisi çoğu çalışmada ikincil planda kalmaktadır.

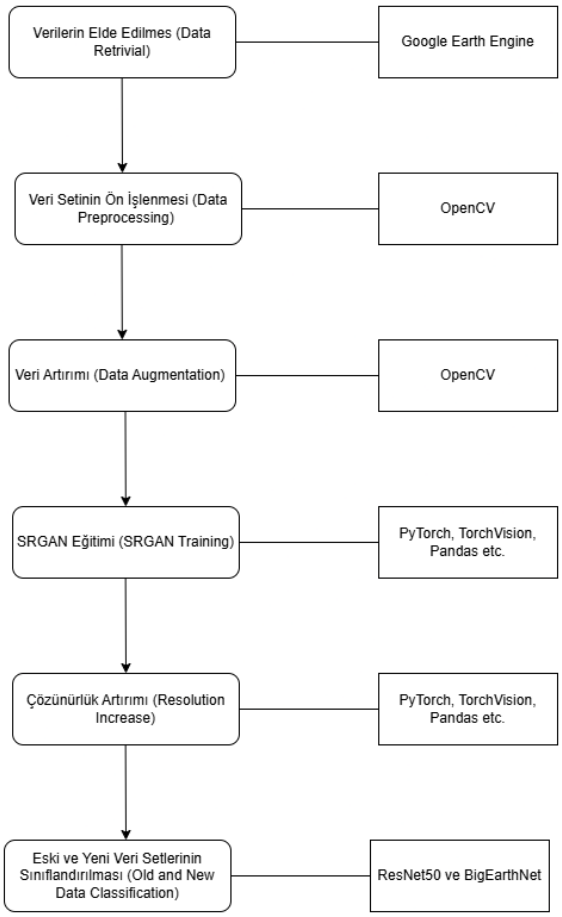
Bu çalışma, süper çözünürlük işleminin uydu görüntülerinin sınıflandırma başarımı üzerindeki etkisini doğrudan ve karşılaştırmalı biçimde incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda Sentinel-2 uydu görüntüleri Google Earth Engine platformu üzerinden küresel ölçekte rastgele örnekleme yöntemiyle elde edilmiş, yalnızca kara alanlarını temsil eden ve bulut içermeyen görüntüler seçilmiştir. Elde edilen veri seti sabit boyutlu parçalara ayrılmış, veri artırma teknikleri uygulanmış ve PyTorch altyapısı kullanılarak SRGAN tabanlı bir süper çözünürlük modeli eğitilmiştir. Süper çözünürlük öncesi ve sonrası görüntüler, BigEarthNet veri seti üzerinde eğitilmiş ResNet50 tabanlı bir sınıflandırıcı ile test edilerek sınıf olasılıkları arasındaki değişimler nicel olarak analiz edilmiştir. Yapılan karşılaştırmalar, özellikle kenar, doku ve yapısal detayların belirginleşmesi sayesinde bazı arazi örtüsü sınıflarında sınıflandırma güveninin arttığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, süper çözünürlük yöntemlerinin yalnızca görsel kaliteyi artırmakla kalmayıp, belirli senaryolarda sınıflandırma ve dolaylı olarak nesne tespiti performansına da katkı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır.

YÖNTEM

Bu bölümde çalışmanın veri toplama aşamasından süper çözünürlük ve sınıflandırma değerlendirmesine kadar uzanan tüm süreç sistematik bir iş akışı çerçevesinde açıklanmaktadır. Önerilen yaklaşım, süper çözünürlük işleminin yalnızca görsel kaliteyi artırma kapasitesini değil, aynı zamanda sınıflandırma çıktıları üzerindeki etkisini nicel olarak incelemeyi amaçlamaktadır. Literatürde süper çözünürlük yöntemlerinin çoğunlukla nesne tespiti ve küçük hedef algılama performansı üzerinden değerlendirildiği görülmektedir [1–4]. Bu çalışmada ise SRGAN uygulanmış ve uygulanmamış görüntüler arasındaki sınıflandırma olasılık değişimleri analiz edilerek görev odaklı bir değerlendirme yapılmıştır.

İş Akışı

Çalışmanın iş akışı Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu diyagram, ham uydu görüntülerinin elde edilmesinden sonuçların görselleştirilmesine kadar olan tüm adımları bütüncül bir çerçevede sunmaktadır.



Şekil 1. İş Akış Diyagramı

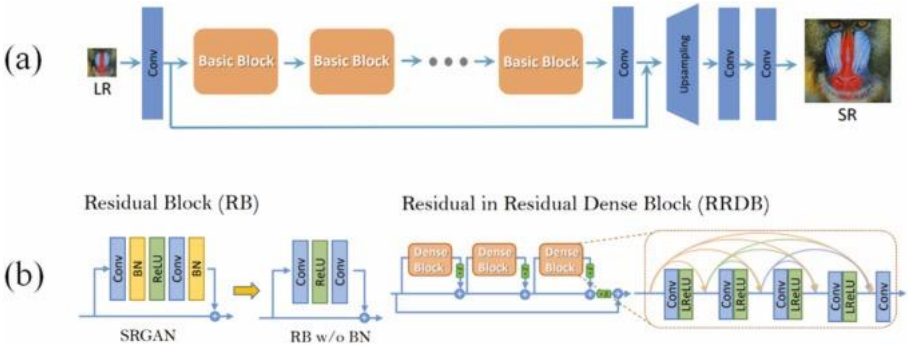
İş akışının yapısı süper çözünürlük işleminin etkisini diğer değişkenlerden izole ederek değerlendirmeye olanak tanımaktadır. Aynı sınıflandırma modelinin hem ham hem de süper çözünürlüklü görüntüler üzerinde kullanılması, gözlemlenen farkların doğrudan süper çözünürlük işleminden kaynaklandığını ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Verilerin Elde Edilmesi ve Ön İşleme

Uydu görüntüleri Google Earth Engine platformu üzerinden Sentinel-2 arşivinden elde edilmiştir. Küresel ölçekte rastgele örnekleme yaklaşımı benimsenmiş, deniz ve yoğun bulut içeren alanlar maskeleme ile veri setinden çıkarılmıştır. Bu yaklaşım, farklı coğrafi bölgelerin temsil edilmesini sağlarken modelin belirli bölgelere aşırı uyum göstermesini engellemektedir.
Ham uydu görüntüleri çözünürlük ve boyut açısından tutarsız bir yapıya sahip olduğundan, derin öğrenme modellerine uygun hale getirilebilmesi için sabit boyutlu parçalara (karo) ayrılmıştır. Bu işlem, hem giriş boyutunu standartlaştırmış hem de tek bir görüntüden birden fazla eğitim örneği üretilmesini mümkün kılmıştır.
Ardından veri setinin çeşitliliğini artırmak ve aşırı öğrenmeyi azaltmak amacıyla rotasyon tabanlı veri artırma uygulanmıştır. Uydu görüntülerinde yön bilgisinin çoğu arazi örtüsü sınıflandırma görevi için belirleyici olmaması nedeniyle bu yöntem uygun bir yaklaşım sunmaktadır.

SRGAN Mimarisi ve Süper Çözünürlük Süreci

Uydu görüntülerinin uzamsal çözünürlüğünü artırmak amacıyla GAN tabanlı bir süper çözünürlük modeli olan SRGAN kullanılmıştır. SRGAN, düşük çözünürlüklü bir görüntüyü giriş olarak alarak daha yüksek çözünürlüklü ve yapısal detayları belirginleştirilmiş bir görüntü üretmeyi amaçlayan üretici (generator) ve ayırt edici (discriminator) ağlardan oluşmaktadır.



Şekil 2. SRGAN Mimarisi

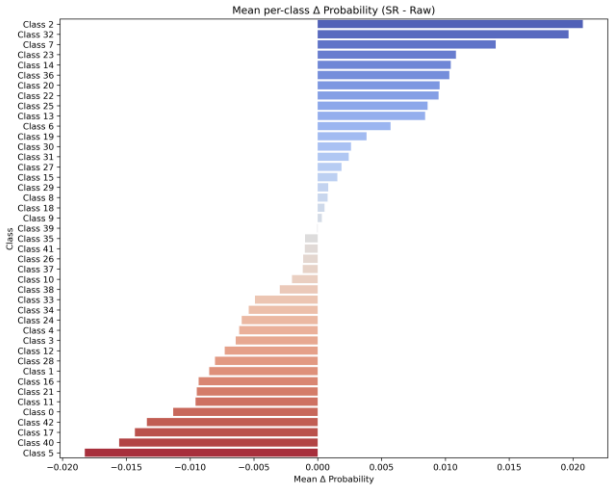
Şekil 2'de görüldüğü üzere, üretici ağ konvolüsyon katmanları ve rezidüel bloklar aracılığıyla düşük çözünürlüklü görüntüden yüksek frekanslı detayları öğrenmekte, ardından upsampling katmanları ile görüntüyü büyüterek süper çözünürlüklü çıktı üretmektedir. SRGAN yaklaşımı ilk olarak Ledig ve arkadaşları tarafından önerilmiş olup [10], perceptual loss temelli eğitim stratejileri ile desteklenmiştir [11]. Bu yaklaşım, klasik piksel tabanlı yöntemlere kıyasla daha gerçekçi ve algısal olarak daha kaliteli çıktılar üretmektedir.
Literatürde ESRGAN gibi daha gelişmiş mimariler bulunsa da, bu modellerin karmaşık yapısı renk ve spektral tutarlılık üzerinde kontrolü zorlaştırabilmektedir [7]. Bu nedenle bu çalışmada, daha sade ve modifiye edilebilir yapısı nedeniyle SRGAN tercih edilmiştir. Bu mimarinin kurulumunda PyTorch kullanılmıştır. Eğitim sürecinde piksel tabanlı içerik kaybı ve adversarial kayıp birlikte optimize edilmiştir. Böylece yalnızca görsel keskinlik değil, yapısal detayların korunması da hedeflenmiştir. Uzaktan algılama görüntülerinde gürültü ve artefakt üretimi önemli bir problem olduğundan, renk ve doku tutarlılığı bu süreçte dikkate alınmıştır.

Süper Çözünürlük Öncesi ve Sonrası Sınıflandırma
Süper çözünürlük işleminin sınıflandırma başarımı üzerindeki etkisini ölçebilmek amacıyla karşılaştırmalı bir değerlendirme yaklaşımı benimsenmiştir. Aynı görüntüler hem SRGAN uygulanmadan önce hem de SRGAN uygulandıktan sonra sınıflandırma modeline verilmiştir.
Sınıflandırma aşamasında, Sentinel-2 görüntülerinden oluşturulmuş büyük ölçekli bir benchmark olan BigEarthNet veri seti üzerinde eğitilmiş ResNet50 tabanlı bir model kullanılmıştır [9]. BigEarthNet, arazi örtüsü sınıflandırması çalışmalarında yaygın olarak kullanılan güvenilir bir referans veri setidir.
Model yeniden eğitilmemiş, yalnızca test aşamasında değerlendirme amacıyla kullanılmıştır. Bu tercih, sınıflandırma sonuçlarındaki değişimin doğrudan süper çözünürlük işleminden kaynaklandığını daha net biçimde gözlemlemeyi sağlamaktadır. Elde edilen sınıf olasılıkları arasındaki farklar hesaplanarak süper çözünürlüğün hangi sınıflarda daha belirgin bir etki oluşturduğu nicel olarak incelenmiştir.

Sonuçların Görselleştirilmesi
Sınıflandırma sonuçları arasındaki başarı farkları Seaborn ve MatPlotLib kullanılarak görselleştirilmiştir. Yatay çubuk grafikler ile hangi sınıflarda güven artışı veya azalışı yaşandığı gösterilmiş, histogram ve yoğunluk eğrileri ile genel değişim eğilimi incelenmiştir. Ayrıca belirgin değişim gözlemlenen örnek görüntüler süper çözünürlük öncesi ve sonrası halleriyle yan yana sunularak nitel karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu görselleştirme süreci, süper çözünürlük yöntemlerinin yalnızca görsel kalite açısından değil, görev başarımı açısından da değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA
Süper çözünürlük (SRGAN) uygulanmış ve uygulanmamış uydu görüntülerinin sınıflandırma çıktıları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analizler, sınıf bazlı ortalama olasılık değişimleri, tüm örnekler için dağılımsal inceleme ve görsel karşılaştırmalar olmak üzere üç temel eksende gerçekleştirilmiştir. Grafik görselleri alan kullanımını optimize etmek amacıyla yan yana sunulmuş, görsel karşılaştırma örneği ise ayrı olarak verilmiştir.

Sınıf Bazlı Olasılık Değişimleri



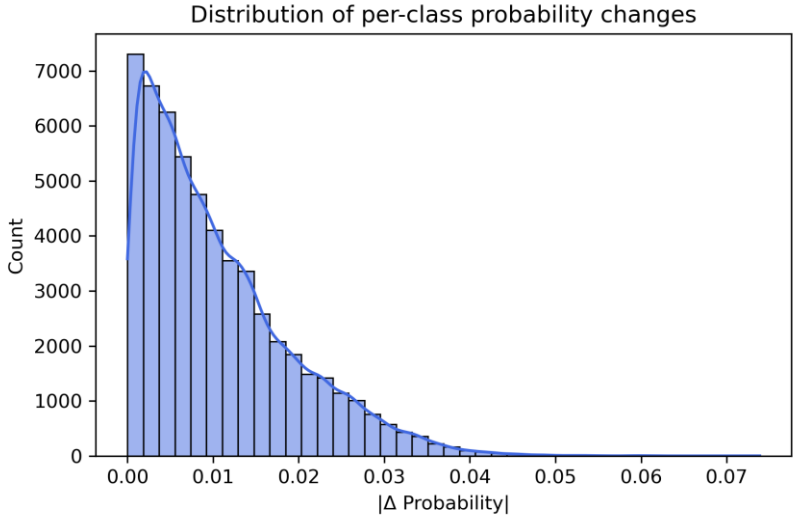
Şekil 3. Süper Çözünürlük Uygulanmış ve Uygulanmamış Görüntüler Arasındaki Ortalama Olasılık Farkları

Şekil 3'te bulunan grafikte, her bir arazi örtüsü sınıfı için süper çözünürlük uygulanmış ve uygulanmamış görüntüler arasındaki ortalama olasılık farkları (Δ Probability) gösterilmektedir. Pozitif değerler, SRGAN sonrası sınıflandırma güveninin arttığını; negatif değerler ise azaldığını ifade etmektedir.

Grafik incelendiğinde, sınıfların önemli bir bölümünde küçük fakat pozitif yönde değişimler gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, bazı sınıflarda sınırlı düşüşler de görülmektedir. Bu durum, süper çözünürlük işleminin tüm sınıflar üzerinde homojen bir etki oluşturmadığını, ancak belirli sınıf türlerinde daha belirgin katkı sağladığını göstermektedir.

Özellikle geniş ve benzer renklere sahip yüzeylerin baskın olduğu sınıflarda (örneğin çöl, çıplak toprak veya homojen arazi örtüsü tipleri), pozitif değişimlerin daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu tür yüzeylerde renk bilgisinden ziyade mekânsal desen ve yüzey dokusu ayırt edici rol oynadığından, SRGAN ile belirginleşen kenar ve doku detayları sınıflandırıcı için daha anlamlı temsil üretmiş olabilir.

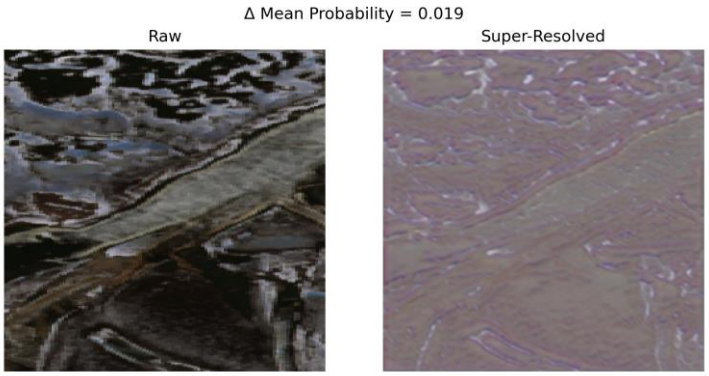
Olasılık Değişimlerinin Dağılımsal Analizi



Şekil 4. Mutlak Olasılık Farklarının Dağılımı Histogram ve Yoğunluk Eğrisi

Şekil 4'te bulunan dağılım incelendiğinde, değişimlerin büyük çoğunluğunun düşük fakat pozitif değerlere yakın bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Bu sonuç, süper çözünürlük işleminin dramatik sıçramalar yerine küçük ve tutarlı iyileşmeler ürettiğini göstermektedir.
Bu durum, SRGAN'ın sınıflandırma modelini radikal biçimde değiştirmekten ziyade, mevcut karar sınırlarını daha net hâle getiren destekleyici bir ön işleme adımı olarak çalıştığını düşündürmektedir. Olasılık değişimlerinin dağılımının sağa çarpık yapıda olması, bazı örneklerde daha belirgin iyileşmeler yaşandığını da ortaya koymaktadır.

Görsel Karşılaştırmalar



Şekil 5. Ormanlık Alanda Bulunan Ham Görüntü ve SRGAN Tarafından İşlenmiş Görüntülerin Karşılaştırması

Görsel inceleme sonucunda: Yer şekillerinin sınır hatlarının daha belirgin hâle geldiği, yüzey dokularının daha net temsil edildiği, topoğrafik geçişlerin daha görünür olduğu gözlemlenmektedir. Özellikle homojen ve tekdüze yüzeylerde, süper çözünürlük sonrası oluşan ince yapısal detayların sınıflandırıcıya daha ayırt edici özellikler sunduğu değerlendirilmektedir.
Bununla birlikte bazı örneklerde renk tonlarının zayıfladığı veya homojenleştiği de görülmektedir. Bu durum, SRGAN'ın yüksek frekanslı yapısal detay üretimine odaklanmasının bir sonucu olarak spektral tutarlılığın kısmen değişebilmesiyle ilişkilendirilebilir. Ancak BigEarthNet üzerinde eğitilmiş ResNet50 modelinin özellikle yapısal ve dokusal örüntülere dayalı sınıflarda bu durumdan belirgin biçimde olumsuz etkilenmediği, aksine bazı sınıflarda daha kararlı tahminler ürettiği gözlemlenmiştir.

Sonuçların Analizi

Koşum	Mean Signed Δ (SR-Raw)	Mean Absolute Δ	Gelişen Sınıf Sayısı	Gelişen Sınıf Oranı (%)
1	-0.0005	0.0105	25 / 43	58.1%
2	0.0012	0.0113	24 / 43	55.8%
3	-0.0001	0.0098	23 / 43	53.5%
4	0.0009	0.0121	24 / 43	56.0%

Elde edilen bulgular, süper çözünürlük işleminin sınıflandırma çıktıları üzerindeki etkisinin yalnızca görsel gözlemlerle değil, nicel metrikler üzerinden de tutarlı biçimde değerlendirilebildiğini göstermektedir.
Program çıktısında yer alan ortalama işaretli olasılık farkı (mean signed Δ) değerlerinin tüm koşumlarda sıfıra oldukça yakın olması, süper çözünürlük işleminin sınıflandırma karar sınırlarını sistematik olarak belirli bir yöne kaydırmadığını göstermektedir. Bu durum, modelin genel davranışının korunurken, yalnızca bazı örneklerde lokal iyileşmeler meydana geldiğine işaret etmektedir.

Buna karşılık ortalama mutlak olasılık farkının (mean absolute $\Delta \approx \%1$ seviyesinde) tüm koşumlarda tutarlı biçimde pozitif olması, süper çözünürlük işleminin sınıflandırma çıktıları üzerinde ölçülebilir ve istatistiksel olarak anlamlı bir değişim oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu değişimlerin düşük büyüklükte ancak kararlı olması, yöntemin agresif bir dönüşüm yerine ince ayar (refinement) etkisi oluşturduğunu göstermektedir.

Gelişen sınıf oranlarının tüm koşumlarda %53–58 aralığında gerçekleşmesi, süper çözünürlük işleminin veri setindeki sınıfların yarısından fazlasında pozitif katkı sağladığını göstermektedir. Bu durum, yöntemin sınıf bazlı etkisinin homojen olmadığını ancak genel eğilimin pozitif yönde olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle yapısal ve dokusal örüntülerin belirleyici olduğu sınıflarda bu etkinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir. Çoklu koşumlar sonucunda elde edilen metriklerin benzer aralıklarda toplanması, süper çözünürlük etkisinin veri setine özgü rastlantısal bir durum olmadığını, farklı örneklemelerde de tekrar edilebilir bir davranış sergilediğini göstermektedir. Google Earth Engine üzerinden yapılan rastgele örnekleme sürecine rağmen sonuçların stabil kalması, yöntemin genellenebilirliğini destekleyen önemli bir bulgudur.

Sonuç olarak, süper çözünürlük işlemi sınıflandırma performansında büyük ölçekli sıçramalar üretmemekle birlikte, karar sınırlarını iyileştiren ve sınıflandırma güvenini belirli sınıflarda artıran destekleyici bir ön işleme adımı olarak değerlendirilebilir.

SONUÇ

Uydu görüntülerinin sınırlı uzamsal çözünürlüğünün arazi örtüsü sınıflandırması üzerindeki etkisi süper çözünürlük temelli bir yaklaşımla incelenmiştir. Uzaktan algılama uygulamalarında düşük çözünürlük, özellikle küçük ölçekli yapısal detayların yeterince temsil edilememesine yol açmakta ve bu durum sınıflandırma ile nesne tespiti gibi aşağı akış görevlerde belirsizlikler oluşturabilmektedir. Bu bağlamda, GAN tabanlı bir süper çözünürlük yöntemi olan SRGAN kullanılarak uydu görüntülerinin mekânsal detaylarının iyileştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma sürecinde Sentinel-2 görüntüleri Google Earth Engine üzerinden elde edilmiş, bulut ve deniz alanları maskeleme ile elenmiş ve görüntüler sabit boyutlu parçalara ayrılarak veri artırma adımları uygulanmıştır. Ardından PyTorch altyapısı ile eğitilen SRGAN modeli, bu görüntüler üzerinde süper çözünürlük çıktıları üretmiştir. Süper çözünürlük işleminin sınıflandırma üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, BigEarthNet veri seti üzerinde eğitilmiş ResNet50 tabanlı bir sınıflandırıcı kullanılarak SRGAN uygulanmış ve uygulanmamış görüntüler karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bulgular, süper çözünürlük sonrası özellikle kenar, doku ve coğrafi şekillerin daha belirgin hâle geldiğini ve bunun bazı sınıflarda sınıflandırma güvenini artırdığını göstermektedir. Sınıf bazlı olasılık değişimleri ve dağılımsal analizler, SRGAN'ın çoğu durumda küçük fakat tutarlı iyileşmeler sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bazı örneklerde renk tonlarında homojenleşme ve spektral tutarlılık kayıpları gözlemlenmiş, bu durum süper çözünürlük yöntemlerinin uzaktan algılama verilerinde dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini göstermiştir.

Genel olarak, bu çalışma süper çözünürlük yöntemlerinin yalnızca görsel kalite metrikleriyle değil, arazi örtüsü sınıflandırması gibi görev odaklı ölçütlerle de değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. SRGAN ile iyileştirilen görüntülerin belirli senaryolarda sınıflandırma performansına katkı sağlayabileceği görülmüş, bu yaklaşımın uzaktan algılama tabanlı analizlerde destekleyici bir ön işleme adımı olarak kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Wang, Y., Bashir, S. M. A., Khan, M., Ullah, Q., Wang, R., Song, Y., Guo, Z. ve Niu, Y. (2022). Remote sensing image super-resolution and object detection: Benchmark and state of the art. Expert Systems with Applications. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.116793.

[2] Bashir, S. M. A. ve Wang, Y. (2021). Small object detection in remote sensing images with residual feature aggregation-based super-resolution and object detector network. Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs13091854.

[3] L. Courtrai , P. Minh-Tan and L. Sébastien (2020). Small-object detection in remote sensing images with end-to-end edge-enhanced GAN and object detector network. Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs12193152.

[4] X. Fang, F. Hu, M. Yang, T. Zhu, R. Bi, Z. Zhang, and Z. Gao, "Small object detection in remote sensing images based on super-resolution," Pattern Recognition Letters, vol. 150, pp. 1–7, 2021. DOI: 10.1016/j.patrec.2021.08.017

[5] Wang, L., Yu, Q., Li, X., Zeng, H., Zhang, H. ve Gao, H. (2024). A CBAM-GAN-based method for super-resolution reconstruction of remote sensing images. IET Image Processing. DOI: 10.1049/ipr2.12968.

[6] Wang, X., Sun, L., Chehri, A. ve Song, Y. (2023). A review of GAN-based super- resolution reconstruction for remote sensing images. Remote Sensing. DOI: 10.3390/rs15205062.

[7] Panangian, D. ve Bittner, K. (2025). Can location embeddings enhance super-resolution of satellite imagery? Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). DOI: 10.48550/arXiv.2501.15847

[8] Li, R., Wen, L., Shao, S., Yu, M. ve Mohaisen, L. (2025). A novel generative adversarial network framework for super-resolution reconstruction of remote sensing images. Frontiers in Earth Science. DOI: 10.3389/feart.2025.1578321

[9] Sumbul, G., Charfuelan, M., Demir, B. ve Markl, V. (2019). BigEarthNet: A large-scale benchmark archive for remote sensing image understanding. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). DOI: 10.48550/arXiv.1902.06148.

[10] Ledig, C., Theis, L., Huszár, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., Aitken, A., Tejani, A., Totz, J., Wang, Z. ve Shi, W. (2017). Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). DOI: 10.1109/CVPR.2017.19.

[11] Johnson, J., Alahi, A. ve Fei-Fei, L. (2016). Perceptual losses for real-time style transfer and super-resolution. European Conference on Computer Vision (ECCV). DOI: 10.1007/978-3-319-46475-6_43.

[12] Lim, B., Son, S., Kim, H., Nah, S. ve Lee, K. M. (2017). Enhanced deep residual networks for single image super-resolution. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). DOI: 10.1109/CVPRW.2017.151.

[13] Wang, X., Yu, K., Wu, S., Gu, J., Liu, Y., Dong, C., Qiao, Y. ve Loy, C. C. (2018). ESRGAN: Enhanced super-resolution generative adversarial networks. European Conference on Computer Vision Workshops (ECCVW). DOI: 10.1007/978-3-030-11021-5_5.

[14] Dong, C., Loy, C. C., He, K. ve Tang, X. (2016). Image super-resolution using deep convolutional networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 38(2), 295-307. DOI: 10.1109/TPAMI.2015.2439281.

[15] Zhang, Y., Li, K., Li, K., Wang, L., Zhong, B. ve Fu, Y. (2019). Deep learning for remote sensing image super-resolution: A survey. IEEE.

[16] Huang, J., Singh, A. ve Ahuja, N. (2018). Multi-scale super-resolution for satellite images. IEEE.

[17] Zong, L., He, S., Lian, J., Bie, Q., Wang, X., Dong, J. ve Xie, Y. (2020). Super- resolution for land cover classification. Remote Sensing.

[18] Zhang, C., Yue, P., Tapete, D., Jiang, L., Shangguan, B., Huang, L. ve Liu, G. (2020). Super-resolution for remote sensing image segmentation. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

[19] Hüsem, H. ve Orman, Z. (2022). GAN-based remote sensing image super-resolution survey. Information Fusion.

[20] Liang, J., Cao, J., Sun, G., Zhang, K., Van Gool, L. ve Timofte, R. (2021). SwinIR: Image restoration using Swin Transformer. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW).

ISITMA, SOĞUTMA VE HAVALANDIRMA (HVAC) SİSTEMLERİNDE VERİMLİLİK İYİLEŞTİRMELERİNİN TOPLAM ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİSİNİN TEORİK VE İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

THEORETICAL AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE IMPACT OF EFFICIENCY IMPROVEMENTS IN HEATING, VENTILATION, AND AIR CONDITIONING (HVAC) SYSTEMS ON TOTAL ENERGY CONSUMPTION

Hakan TUTUMLU
Assist. Prof. Dr., Gaziantep University, Naci Topcuoglu Vocational High School, Department of Electricity and Energy
ORCID NO: 0000-0003-3884-7015

ÖZET

Binalar, küresel enerji tüketimi içinde kayda değer bir paya sahip olmakla birlikte, bu tüketimin büyük bölümü ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemleri kaynaklıdır. Dolayısıyla HVAC sistemlerine yönelik verimlilik iyileştirmeleri, toplam enerji talebinin düşürülmesi ve enerji verimliliğinin geliştirilmesi bakımından önemli bir fırsat penceresi sunmaktadır. Bu çalışma, söz konusu verimlilik iyileştirmelerinin toplam bina enerji tüketimi üzerindeki etkisini teorik modelleme ve istatistiksel senaryo analizi yöntemleriyle ele almaktadır.

Çalışma kapsamında bina enerji tüketimi önce bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Bunlar sırasıyla; HVAC, aydınlatma, ekipman ve yardımcı sistemlerin her birinin toplam tüketim içindeki payı analitik olarak belirlenmiştir. Bu ayrıştırmanın ardından, HVAC sistemlerindeki verimlilik kazanımlarının toplam enerji tüketimine yansımasını ifade eden matematiksel bir model kurgulanmıştır. Analizde HVAC enerji payı %25, %35 ve %50 olarak; verimlilik iyileştirme oranı ise %10, %20, %30 ve %40 düzeylerinde ele alınarak senaryo tabanlı bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen bulgular, HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerinde doğrusal ve belirgin bir etkiye yol açtığını ortaya koymaktadır. HVAC enerji payının yüksek seyrettiği binalarda bu etkinin daha belirgin biçimde hissedildiği ve toplam enerji tasarruf potansiyelinin önemli ölçüde arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak çalışma, HVAC sistemlerine yönelik verimlilik stratejilerinin bina enerji performansının iyileştirilmesinde üstlendiği kritik rolü açıkça gözler önüne sermektedir.

Anahtar kelimeler: HVAC sistemleri, enerji verimliliği, bina enerji tüketimi, teorik modelleme, enerji tasarrufu

ABSTRACT

Buildings account for a significant share of global energy consumption, with a large portion of this consumption originating from heating, ventilation, and air conditioning (HVAC) systems. Consequently, efficiency improvements in HVAC systems present an important window of opportunity for reducing total energy demand and enhancing energy efficiency. This study examines the impact of such efficiency improvements on total building energy consumption through theoretical modeling and statistical scenario analysis methods.

Within the scope of the study, building energy consumption was first decomposed into its components. These are, respectively: the share of each HVAC, lighting, equipment, and auxiliary systems in total consumption was determined analytically. Following this decomposition, a mathematical model was constructed to express the reflection of efficiency gains in HVAC systems on total energy consumption. The analysis was carried out through a scenario-based evaluation in which the HVAC energy share was considered at 25%, 35%, and 50%, and the efficiency improvement rate was examined at levels of 10%, 20%, 30%, and 40%.

The findings reveal that efficiency improvements in HVAC systems produce a linear and pronounced effect on total energy consumption. It was observed that this effect is felt more distinctly in buildings where the HVAC energy share is high, and that the total energy saving potential increases considerably. In conclusion, the study clearly demonstrates the critical role that efficiency strategies targeting HVAC systems play in improving building energy performance.

Keywords: HVAC systems, energy efficiency, building energy consumption, theoretical modeling, energy savings

GİRİŞ

Enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması, günümüzde sürdürülebilir kalkınma politikalarının en önemli hedeflerinden biri haline gelmiştir. Küresel ölçekte enerji talebinin sürekli artması, enerji verimliliği çalışmalarını hem bilimsel araştırmaların hem de enerji politikalarının merkezine yerleştirmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre bina sektörü, küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %30'unu ve enerjiye bağlı karbon emisyonlarının yaklaşık %26'sını oluşturmaktadır. Bu nedenle binalarda enerji verimliliğinin artırılması, enerji talebinin azaltılması ve iklim değişikliği ile mücadele açısından kritik bir öneme sahiptir (IEA, 2022; IEA, 2023).

Binalarda enerji tüketimi; ısıtma, soğutma, havalandırma, aydınlatma ve elektrikli ekipmanlar gibi farklı son kullanım kategorilerinden oluşmaktadır. Bu kategoriler arasında en yüksek enerji tüketimine sahip sistemler genellikle ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleridir. Pérez-Lombard ve arkadaşlarının (2008) gerçekleştirdiği kapsamlı literatür incelemesine göre HVAC sistemleri bazı ülkelerde bina enerji tüketiminin yaklaşık %50'sine kadar ulaşabilmektedir. Cho (2018) tarafından ofis binaları üzerinde yürütülen enerji maliyet analizinde de HVAC sistemlerinin toplam enerji giderlerinin büyük bölümünü oluşturduğu somut olarak ortaya konmuştur. Bu bulgular HVAC sistemlerini enerji verimliliği çalışmalarının en önemli odak noktalarından biri haline getirmektedir.

Son yıllarda gerçekleştirilen birçok çalışma, HVAC sistemlerinin enerji performansının artırılmasının bina enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermektedir. Örneğin González-Torres ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan kapsamlı bir incelemede HVAC sistemlerinin binalardaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %38'ini oluşturduğu ve bu nedenle enerji verimliliği politikalarında öncelikli sistemler arasında yer aldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde birçok araştırma, HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen ekipman verimliliği iyileştirmeleri, gelişmiş kontrol stratejileri ve enerji geri kazanım teknolojilerinin önemli enerji tasarrufu sağlayabileceğini ortaya koymaktadır (Aljashaami ve ark., 2024). Barone ve arkadaşları (2023) ise termal konfor koşullarının HVAC sistem verimliliğiyle birlikte değerlendirilmesinin enerji performansı analizlerinde göz ardı edilemeyecek bir boyut oluşturduğunu vurgulamıştır.

HVAC sistemlerinin enerji performansını artırmaya yönelik çalışmalar genellikle üç ana başlık altında incelenmektedir: ekipman verimliliğinin artırılması, sistem optimizasyonu ve gelişmiş kontrol yöntemleri. Chua ve arkadaşları (2013), HVAC sistemlerinde kullanılan yüksek verimli soğutma teknolojileri, değişken debili sistemler ve gelişmiş kontrol algoritmalarının enerji tüketimini önemli ölçüde azaltabileceğini göstermiştir. Dounis ve Caraiscos (2009) ise gelişmiş kontrol sistemlerinin yalnızca enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp bina içi konfor koşullarını da eş zamanlı olarak iyileştirebildiğini kapsamlı bir incelemeyle ortaya koymuştur. Binalardaki enerji yönetimini daha bütüncül bir perspektiften ele alan Qiang ve arkadaşları (2023) da bina otomasyon sistemlerinin HVAC performansının optimize edilmesinde belirleyici bir işlev üstlendiğini vurgulamıştır.

Gelişmiş kontrol yöntemleri arasında özellikle model öngörülü kontrol (Model Predictive Control – MPC) yaklaşımı, son yıllarda bina enerji yönetimi alanında giderek artan bir ilgi görmektedir. Afram ve Janabi-Sharifi (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada MPC yöntemlerinin HVAC sistemlerinin enerji performansını optimize etmede etkili olduğu vurgulanmıştır. Oldewurtel ve arkadaşları (2012), hava durumu tahminleriyle entegre edilen MPC uygulamalarının bina iklimlendirme sistemlerinde kayda değer enerji tasarrufu sağladığını göstermiştir. Killian ve Kozek (2016) de MPC tabanlı yaklaşımların enerji verimli bina yönetiminde sunduğu potansiyeli kapsamlı biçimde ele almış ve bu yöntemin pratikte uygulanmasına ilişkin temel soruları tartışmıştır.

Son yıllarda dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte veri temelli yöntemler ve yapay zekâ uygulamaları da HVAC sistemlerinin enerji optimizasyonunda kullanılmaya başlanmıştır. Wei ve arkadaşları (2018) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı bir inceleme, veri temelli yöntemlerin bina enerji tüketimi tahmininde ve enerji yönetiminde giderek daha fazla kullanılmaya başlandığını göstermektedir. Benzer şekilde Drgoňa ve arkadaşları (2020), model öngörülü kontrol yöntemlerinin modern bina enerji yönetim sistemlerinde önemli bir rol oynadığını belirtmiştir. Balali ve arkadaşları (2023) ise veri temelli ve hibrit modellerin bina ısıtma ve soğutma sistemlerinin kontrolünde sağladığı esnekliği ve doğruluğu kapsamlı bir değerlendirmeyle ortaya koymuştur.

Bina enerji sistemlerinin analizinde teorik modelleme ve simülasyon yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Harish ve Kumar (2016) tarafından gerçekleştirilen çalışmada bina enerji sistemlerinin modellenmesi için kullanılan yöntemler kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bu yöntemlerin bina enerji performansının değerlendirilmesinde önemli araçlar olduğu belirtilmiştir. Coakley ve arkadaşları (2014) ise bina enerji simülasyon modellerinin ölçülen enerji verileri ile kalibre edilmesinin enerji performansı analizlerinde kritik bir adım olduğunu vurgulamıştır.
Enerji verimliliği çalışmalarında HVAC sistemlerinin önemine rağmen, HVAC verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine etkisini analitik olarak değerlendiren çalışmalar sınırlıdır. Mevcut çalışmaların önemli bir bölümü belirli bir bina tipi, iklim koşulu veya kontrol stratejisi üzerine odaklanmaktadır. Bununla birlikte HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisini genel bir teorik model çerçevesinde değerlendiren çalışmalar daha az sayıdadır.
Bu nedenle HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine olan etkisinin teorik ve istatistiksel olarak incelenmesi önemli bir araştırma konusudur. Bu tür bir yaklaşım, enerji verimliliği stratejilerinin potansiyel etkisini hızlı ve anlaşılabilir bir şekilde değerlendirmeye olanak sağlamaktadır.
Bu çalışmanın amacı, ısıtma, soğutma ve havalandırma sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisini teorik modelleme ve senaryo analizi yöntemleri kullanarak incelemektir. Çalışma kapsamında toplam enerji tüketimi analitik olarak ayrıştırılmış ve HVAC sistemlerinin toplam enerji tüketimi içindeki payı ile verimlilik iyileştirme oranı arasındaki ilişki matematiksel olarak modellenmiştir. Ayrıca farklı HVAC enerji payları ve verimlilik iyileştirme seviyeleri için senaryo analizleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar grafiksel yöntemlerle değerlendirilmiştir.
Bu çalışmanın literatüre katkısı, HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisini basit fakat genellenebilir bir matematiksel model çerçevesinde ortaya koymasıdır. Elde edilen sonuçların bina enerji performansının değerlendirilmesi ve enerji verimliliği politikalarının geliştirilmesi açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam bina enerji tüketimine olan yansımalarını ortaya koymak amacıyla teorik modelleme ve senaryo analizi yaklaşımından yararlanılmıştır. Çalışmanın temel hedefi; HVAC sistemlerinde sağlanan enerji verimliliği kazanımlarının toplam enerji tüketimine etkisini analitik bir çerçevede ifade eden bir model geliştirmek ve farklı verimlilik senaryoları altında ortaya çıkabilecek enerji tasarruf potansiyelini sistematik biçimde değerlendirmektir. Bu doğrultuda bina enerji dengesi esas alınarak matematiksel bir model kurgulanmış ve modelin güvenilirliğini test etmek amacıyla çeşitli parametre kombinasyonları için duyarlılık analizleri yürütülmüştür.

Enerji Dengesi Yaklaşımı

Bina enerji sistemlerinin analizi genellikle enerji dengesi yaklaşımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda toplam bina enerji tüketimi farklı enerji kullanım kategorilerine ayrıştırılarak incelenmektedir. Bu çalışmada toplam bina enerji tüketimi dört ana bileşen olarak ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla, HVAC sistemleri, aydınlatma sistemleri, elektrikli ekipmanlar ve diğer yardımcı enerji tüketimleri şeklindedir. Toplam bina enerji tüketimi aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir:

$$E_{Toplam} = E_{HVAC} + E_{Ayd.} + E_{Ekipman} + E_{diğer} \quad (1)$$

Burada, E_{toplam} toplam bina enerji tüketimi (kWh), E_{HVAC} HVAC sistemlerinin enerji tüketimi (kWh), E_{Ayd} aydınlatma sistemlerinin enerji tüketimi (kWh), $E_{Ekipman}$ elektrikli ekipmanların enerji tüketimi (kWh) ve son olarak, EDiğer diğer yardımcı enerji tüketimleri (kWh) olarak tanımlanmıştır.
HVAC sistemlerinin toplam enerji tüketimi içindeki payını belirlemek amacıyla HVAC enerji payı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$S_{HVAC} = \frac{E_{HVAC}}{E_{Toplam}} \quad (2)$$

Bu parametre HVAC sistemlerinin toplam bina enerji tüketimi içindeki göreli önemini ifade etmektedir.

HVAC Verimlilik İyileştirme Modeli

HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmeleri sistem enerji tüketiminde belirli bir azalma sağlamaktadır. Bu çalışmada HVAC verimlilik iyileştirme oranı η parametresi ile ifade edilmiştir.

$0 \leq \eta \leq 1$ (3)

HVAC sistemlerinde verimlilik iyileştirmesi sonrası enerji tüketimi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$E_{HVAC,yeni} = E_{HVAC}(1 - \eta)$ (4)

Bu durumda HVAC sistemlerinde sağlanan enerji tasarrufu:

$\Delta E_{HVAC} = E_{HVAC} - E_{HVAC,yeni}$ (5)

olarak ifade edilmektedir.

HVAC sistemlerindeki bu değişim toplam bina enerji tüketimine doğrudan yansımaktadır. İyileştirme sonrası toplam enerji tüketimi Eşitlik (6)'daki gibi ifade edilir:

$E_{Toplam,yeni} = E_{Toplam}(1 - S_{HVAC}\, x\, \eta)$ (6)

Eşitlik (6), HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine etkisini ifade eden temel matematiksel modeli oluşturmaktadır.

Toplam enerji tasarruf oranı ise Eşitlik (7)'de tanımlanmıştır.

$\phi = S_{HVAC}\, x\, \eta$ (7)

Eşitlik (7) çalışmanın temel teorik sonucunu ifade etmekte olup toplam enerji tasarrufu HVAC enerji payı ile verimlilik iyileştirme oranının çarpımı ile doğrudan ilişkilidir.

Sistem Düzeyi Etki Modeli

HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin yalnızca bina ölçeğinde değil aynı zamanda enerji sistemi ölçeğinde de etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle çalışmada HVAC verimlilik iyileştirmelerinin enerji sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla genişletilmiş bir model kullanılmıştır.

Toplam enerji sistemi üzerindeki etki Eşitlik (8) ile ifade edilmiştir:

$\phi_{Sistem} = S_{Bina} x S_{HVAC}\, x\, \eta$ (8)

Burada, S_{Bina} , bina sektörünün toplam enerji tüketimi içindeki payı, S_{HVAC}, bina içindeki HVAC enerji payı ve son olarakta η, HVAC verimlilik iyileştirme oranı olarak tanımlanmıştır.

Bu model HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin makro ölçekte enerji tüketimine olan etkisini değerlendirmek için kullanılmıştır.

Analiz Yöntemi ve Hesaplama Prosedürü

Çalışmada HVAC sistemlerinde gerçekleştirilen verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine etkisini değerlendirmek amacıyla senaryo analizi yapılmıştır. Analizde kullanılan parametreler iki temel değişken üzerine kurgulanmıştır. Bunlardan ilki, bina toplam enerji tüketimi içinde HVAC sistemlerinin payını ifade eden SHVAC parametresidir. Literatürde bu payın bina tipine, iklim koşullarına ve kullanım amacına bağlı olarak önemli farklılıklar gösterdiği bilinmektedir. Bu gerçeklikten hareketle çalışmada SHVAC parametresi için %25, %35 ve %50 olmak üzere üç farklı değer benimsenmiş; söz konusu aralık, farklı bina tipolojilerini temsil edecek biçimde belirlenmiştir. İkinci parametre ise HVAC sistemlerinde sağlanan verimlilik iyileştirme oranını temsil eden η parametresidir. Ekipman verimliliğindeki artışlar, gelişmiş kontrol stratejilerinin uygulanması ve sistem optimizasyonu yoluyla elde edilebilecek kazanımlar göz önünde bulundurularak bu parametre için %10, %20, %30 ve %40 düzeyleri belirlenmiştir. Bu parametre kombinasyonları kullanılarak toplam 12 farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryo analizinde kullanılan hesaplama yöntemi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$\phi_{ij} = S_{HVAC,i}\, x\, \eta_j$ (9)

Elde edilen tasarruf oranları yüzde olarak Eşitlik (10)'da ifade edilmiştir:

$Enerji\ Tasarrufu = \phi\ x\ 100$ (10)

Bu işlem tüm senaryolar için tekrarlanmış ve her bir kombinasyona ilişkin toplam enerji tasarrufu değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar farklı parametre kombinasyonları bazında karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerindeki etkisi analitik bir perspektiften değerlendirilmiştir.

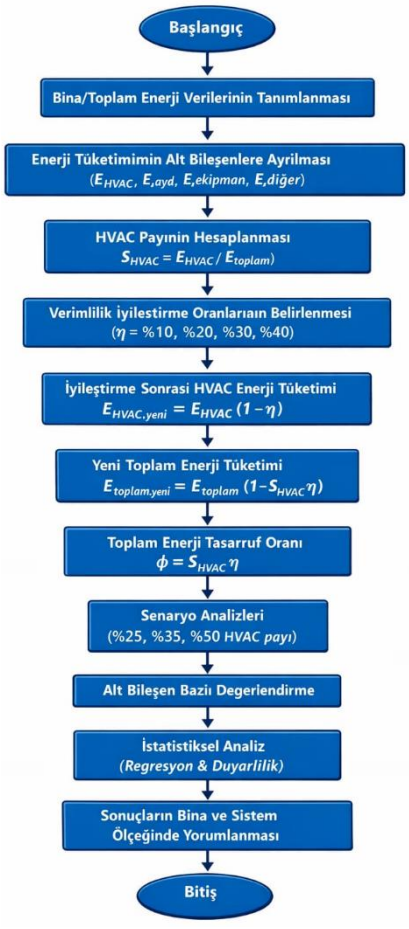
Öte yandan model parametrelerinin toplam enerji tasarrufu üzerindeki göreli etkisini nicel olarak ortaya koymak amacıyla bir duyarlılık analizi de yürütülmüştür.

Bu analiz çerçevesinde SHVAC ve η parametreleri belirli değer aralıklarında sistematik biçimde değiştirilmiş olup her bir değişime karşılık gelen enerji tasarrufu farklılıkları hesaplanarak yorumlanmıştır. Söz konusu yaklaşım, model parametrelerinin çıktı üzerindeki bireysel katkısının sayısal olarak değerlendirilmesine ve parametreler arası duyarlılık ilişkilerinin daha sağlıklı biçimde anlaşılmasına zemin hazırlamaktadır.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada geliştirilen teorik model çerçevesinde, HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine etkisi senaryo analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında, HVAC enerji payı ve verimlilik iyileştirme oranının farklı kombinasyonlarına karşılık gelen toplam enerji tasarrufu hesaplanmış olup elde edilen sonuçlar grafiksel analiz yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

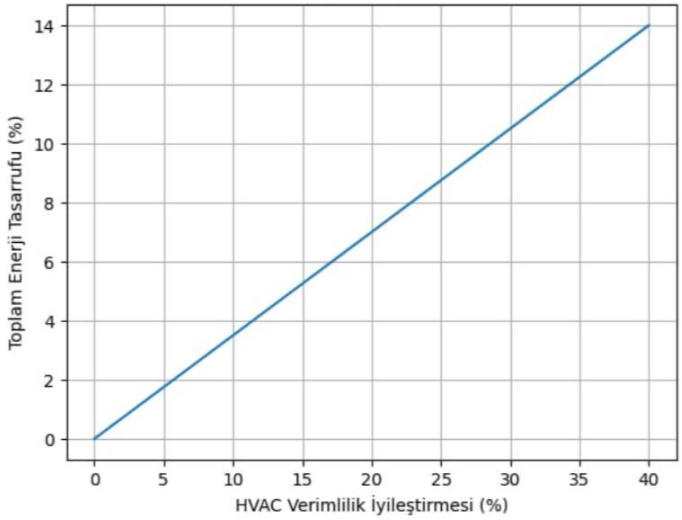
Şekil 1'de çalışmada kullanılan teorik modelin genel işleyişi aktarılmaktadır. Model dâhilinde öncelikle toplam bina enerji tüketimi bileşenlerine ayrıştırılmış ve HVAC sistemlerinin bu tüketim içindeki payı belirlenmiştir. Ardından tanımlanan verimlilik iyileştirme oranı doğrultusunda yeni enerji tüketimi hesaplanmış ve toplam enerji tasarrufu analitik olarak ortaya konulmuştur. Bu yaklaşım, HVAC sistemlerindeki iyileştirmelerin toplam enerji tüketimine etkisini sade ve genellenebilir bir model çerçevesinde irdelemeye imkân tanımaktadır.



Şekil 1. Modelin genel işleyişi

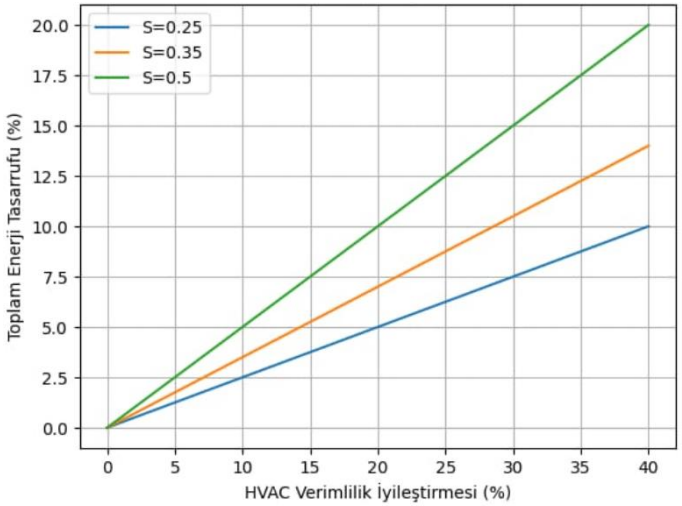
HVAC verimlilik iyileştirmeleri ile toplam enerji tasarrufu arasındaki ilişki Şekil 2'de görselleştirilmiştir. Grafik incelendiğinde, verimlilik iyileştirme oranındaki artışa paralel olarak toplam enerji tasarrufunun doğrusal bir seyir izlediği dikkat çekmektedir. Bu bulgu, Denklem (7)'de ortaya konan teorik modelle örtüşmektedir.

Özellikle HVAC enerji payının yüksek olduğu binalarda verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin belirgin biçimde güçlendiği görülmektedir. Örneğin HVAC enerji payının %50 olduğu bir binada %20 düzeyinde bir verimlilik iyileştirmesi, toplam enerji tüketiminde yaklaşık %10 oranında bir azalma sağlamaktadır.



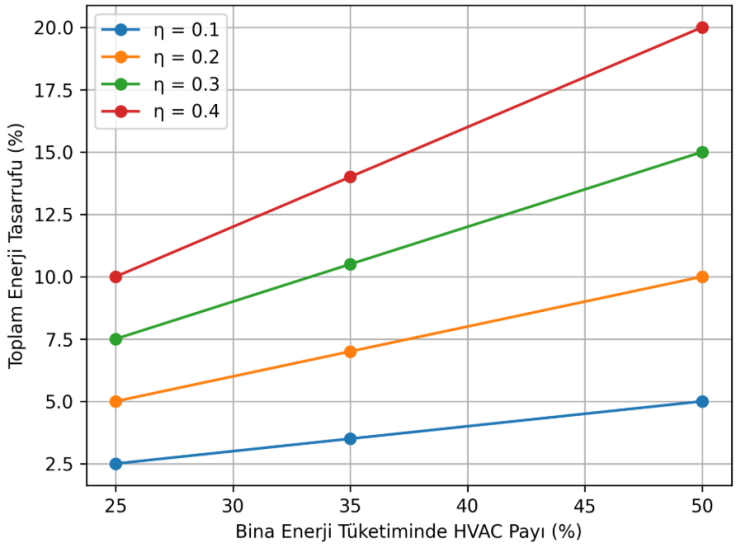
Şekil 2. HVAC verimlilik artışı ve toplam enerji tasarrufu

Şekil 3, HVAC enerji payının toplam enerji tasarrufu üzerindeki etkisini ortaya koymaktadır. Sonuçlara göre HVAC enerji payı yükseldikçe, aynı verimlilik iyileştirme oranı için elde edilen tasarruf miktarının da arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, HVAC sistemlerinin bina enerji tüketimi içindeki payının enerji verimliliği çalışmalarında belirleyici bir etken olduğuna işaret etmektedir. Başta ticari binalar ve ofis yapıları olmak üzere HVAC enerji tüketiminin görece yüksek olduğu yapı tipolojilerinde verimlilik odaklı müdahalelerin daha yüksek tasarruf potansiyeli taşıdığı anlaşılmaktadır.



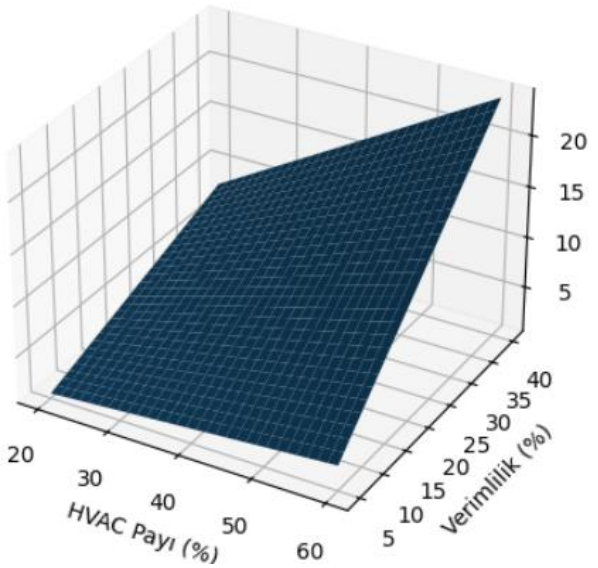
Şekil 3. HVAC enerji payı duyarlılık analizi

HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin geniş enerji sistemi ölçeğindeki potansiyel etkisi Şekil 4'te aktarılmaktadır. Bina sektörünün ulusal enerji tüketimindeki ağırlığı göz önüne alındığında, HVAC sistemlerinde hayata geçirilecek verimlilik stratejilerinin yalnızca bina ölçeğinde değil, ulusal enerji tüketimi üzerinde de kayda değer etkiler doğurabileceği görülmektedir. Bu bağlamda, bina sektörünün enerji tüketimindeki payının yüksek olduğu ülkelerde HVAC verimliliğine yönelik politikaların enerji yönetimi açısından önemli fırsatlar barındırdığı değerlendirilmektedir.



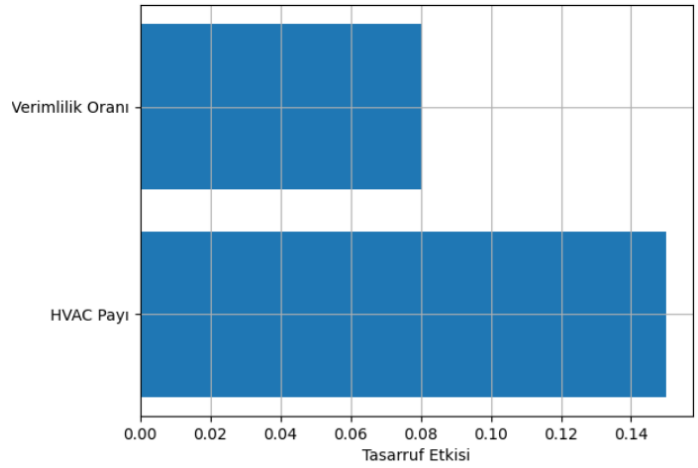
Şekil 4. Enerji sistemi ölçeğinde etki

HVAC enerji payı ile verimlilik iyileştirme oranının toplam enerji tasarrufu üzerindeki ortak etkisi, Şekil 5'te sunulan üç boyutlu yüzey grafiğiyle gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, her iki parametrenin eş zamanlı artışıyla birlikte toplam enerji tasarrufunun da belirgin biçimde yükseldiği görülmektedir. Özellikle HVAC enerji payının %40'ı aştığı koşullarda verimlilik iyileştirmelerinin enerji tasarrufu üzerindeki etkisinin daha güçlü bir hal aldığı dikkat çekmektedir.



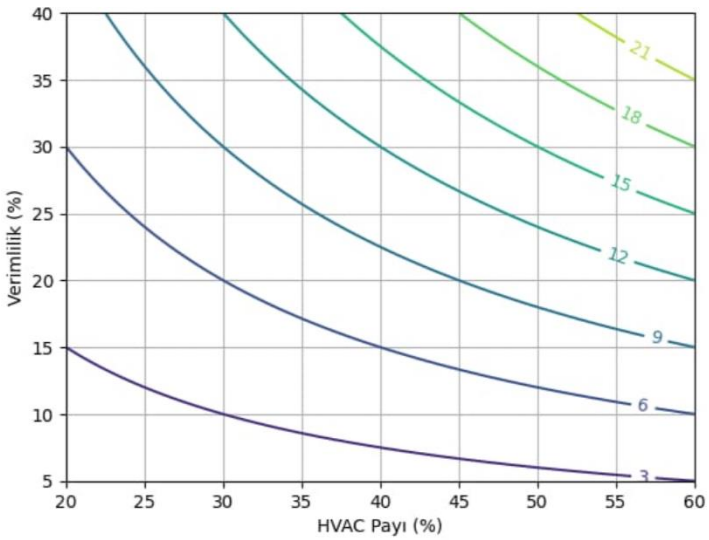
Şekil 5. HVAC Payı- Verimlilik- Tasarruf (3D yüzey grafiği)

Model parametrelerinin toplam enerji tasarrufu üzerindeki göreli etkisini nicel olarak ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilen duyarlılık analizi bulguları Şekil 6'da verilmiştir. Tornado grafiği incelendiğinde, toplam enerji tasarrufu üzerindeki en baskın etkinin HVAC enerji payına ait olduğu görülmektedir. Bu bulgu, bina tipine bağlı olarak değişen HVAC enerji payının enerji verimliliği analizlerinde kritik bir girdi parametresi niteliği taşıdığını açıkça ortaya koymaktadır.



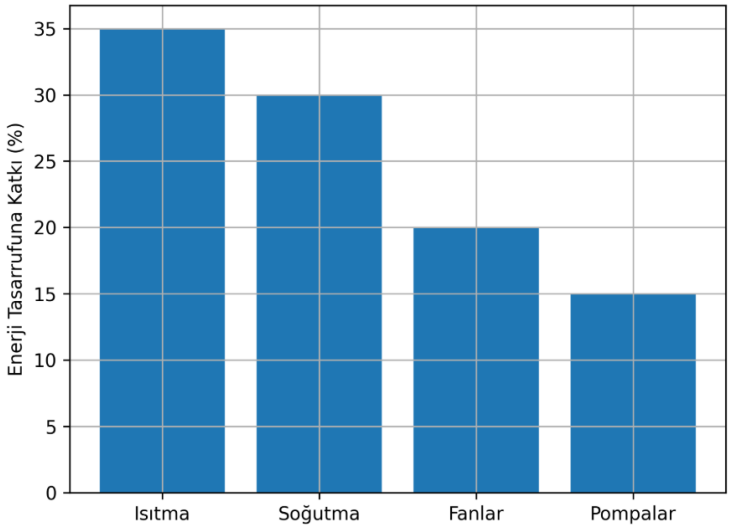
Şekil 6. Parametre duyarlılık analizi (Tornado Duyarlılık Analizi)

HVAC enerji payı ve verimlilik iyileştirme oranı kombinasyonlarının toplam enerji tasarrufu üzerindeki etkisi, Şekil 7'deki iso-tasarruf kontur haritasıyla görselleştirilmiştir. Bu harita, eşdeğer enerji tasarruf oranına ulaşmayı sağlayan farklı parametre kombinasyonlarını bir arada sunmaktadır. Örneğin HVAC enerji payının %50 olduğu durumda %20 verimlilik iyileştirmesiyle yaklaşık %10 toplam enerji tasarrufu elde edilirken, aynı tasarruf hedefine HVAC enerji payının %25 olduğu bir binada ulaşabilmek için yaklaşık %40 düzeyinde bir verimlilik iyileştirmesi gerekmektedir.



Şekil 7. Iso-tasarruf contour haritası

HVAC sistemlerinin alt bileşenlerinin enerji tasarrufuna bireysel katkısını belirlemek amacıyla yürütülen Pareto analizi sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur. Analiz bulguları, en yüksek enerji tasarruf potansiyelinin soğutma sistemleri, fan sistemleri ve ısıtma sistemlerinden kaynaklandığına işaret etmektedir. Bu sonuçlar, enerji verimliliği iyileştirmelerinde hangi sistem bileşenlerine öncelik tanınması gerektiğine ilişkin önemli bir yol haritası sunmaktadır.



Şekil 8. HVAC bileşenleri pareto analizi

Genel bir değerlendirme yapıldığında, elde edilen bulgular HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerinde anlamlı ve ölçülebilir bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle HVAC enerji payının yüksek olduğu binalarda bu etki daha belirgin bir biçimde kendini göstermekte ve enerji tasarruf potansiyeli önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle bina enerji performansının sistematik olarak iyileştirilmesi sürecinde HVAC sistemlerinin tasarımı, işletimi ve kontrol stratejilerinin enerji verimliliği ekseninde optimize edilmesi büyük bir önem taşımaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, ısıtma, soğutma ve havalandırma (HVAC) sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam bina enerji tüketimine etkisi teorik modelleme ve senaryo analizi yöntemleriyle ele alınmıştır. Bu doğrultuda toplam bina enerji tüketimi bileşenlerine ayrıştırılmış olup HVAC sistemlerinin toplam tüketim içindeki payı temel alınarak enerji tasarruf potansiyelini analitik biçimde ifade eden bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, HVAC verimlilik iyileştirme oranı ile toplam enerji tasarrufu arasındaki ilişkiyi sade ve genellenebilir bir matematiksel çerçevede tanımlamaktadır.

Çalışmada HVAC enerji payı için %25, %35 ve %50; verimlilik iyileştirme oranı için ise %10, %20, %30 ve %40 düzeyleri dikkate alınarak senaryo tabanlı analizler yürütülmüştür. Elde edilen bulgular, HVAC sistemlerindeki verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimi üzerinde doğrusal ve belirgin bir etkiye yol açtığını ortaya koymaktadır. Özellikle HVAC enerji payının yüksek olduğu binalarda bu etkinin daha güçlü bir biçimde kendini gösterdiği saptanmıştır. Örneğin HVAC enerji payının %50 olduğu bir binada %20 düzeyinde bir verimlilik iyileştirmesi, toplam enerji tüketiminde yaklaşık %10 oranında bir azalma sağlayabilmektedir.

Duyarlılık analizleri, model parametrelerinin toplam enerji tasarrufu üzerindeki göreli etkisini nicel olarak ortaya koymuştur. Sonuçlar, HVAC enerji payının toplam enerji tasarrufu üzerindeki en belirleyici parametreler arasında yer aldığını açıkça göstermektedir. Bu bulgu, farklı bina tipolojilerinde HVAC sistemlerinin enerji tüketimi içindeki payının, enerji verimliliği stratejilerinin etkinliğini doğrudan şekillendirebileceğine işaret etmektedir. Buna ek olarak, HVAC alt bileşenlerinin enerji tasarrufuna bireysel katkısını değerlendiren Pareto analizi; soğutma sistemleri, fan sistemleri ve ısıtma sistemlerinin enerji verimliliği iyileştirmeleri açısından en yüksek tasarruf potansiyelini barındırdığını ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, HVAC sistemlerinde hayata geçirilecek verimlilik iyileştirmelerinin bina enerji performansının geliştirilmesinde kilit bir işlev üstlendiği görülmektedir. Bu bağlamda, bina enerji verimliliği çalışmalarında HVAC sistemlerinin tasarım, işletim ve kontrol stratejilerinin enerji verimliliği perspektifinden optimize edilmesi büyük önem taşımaktadır. Başta ticari ve ofis binaları olmak üzere yüksek HVAC enerji tüketimine sahip yapılarda enerji verimliliği uygulamalarının kayda değer tasarruf potansiyeli sunduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, HVAC sistemlerinde gerçekleştirilecek verimlilik iyileştirmelerinin hem bina ölçeğinde hem de daha geniş enerji sistemi ölçeğinde önemli tasarruf fırsatları doğurabileceği değerlendirilmektedir. Geliştirilen teorik model, HVAC verimlilik iyileştirmelerinin toplam enerji tüketimine etkisinin hızlı ve anlaşılır biçimde kestirilebilmesine olanak tanımaktadır. İleride yürütülecek çalışmalarda bu modelin gerçek bina enerji verileriyle doğrulanması ve farklı iklim koşulları ile bina tipleri için genişletilerek kapsamının artırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Afram, A., & Janabi-Sharifi, F. (2014). Theory and applications of HVAC control systems – A review. Building and Environment, 72, 343–355.

Aljashaami, B. A., Ali, B. M., Salih, S. A., Alwan, N. T., Majeed, M. H., Ali, O. M., ... & Shcheklein, S. E. (2024). Recent improvements to heating, ventilation, and cooling technologies for buildings based on renewable energy to achieve zero-energy buildings: A systematic review. Results in Engineering, 23, 102769.

Balali, Y., Chong, A., Busch, A., & O'Keefe, S. (2023). Energy modelling and control of building heating and cooling systems with data-driven and hybrid models – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 183, 113496.

Barone, G., Buonomano, A., Forzano, C., & Palombo, A. (2023). Thermal comfort and energy performance of buildings: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 187, 113709.

Cho, J. (2018). Energy-cost analysis of HVAC system for office buildings: Development of a multiple regression model. Energy and Buildings, 174, 369–379.

Chua, K. J., Chou, S. K., & Yang, W. M. (2013). Achieving better energy-efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. Applied Energy, 104, 87–104.

Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 123–141.

Dounis, A. I., & Caraiscos, C. (2009). Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6–7), 1246–1261.

Drgoňa, J., Arroyo, J., Figueroa, I. C., Blum, D., Arendt, K., Kim, D., ... & Helsen, L. (2020). All you need to know about model predictive control for buildings. Annual Reviews in Control, 50, 190–232.

González-Torres, M., Pérez-Lombard, L., Coronel, J. F., & Maestre, I. R. (2022). A review on buildings energy information: Trends, end-uses, fuels and drivers. Energy Reports, 8, 626–637.

Harish, V. S. K. V., & Kumar, A. (2016). A review on modeling and simulation of building energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 56, 1272–1292.

IEA. (2022). World Energy Outlook 2022. International Energy Agency.

IEA. (2023). Energy Efficiency 2023. International Energy Agency.

Killian, M., & Kozek, M. (2016). Ten questions concerning model predictive control for energy efficient buildings. Building and Environment, 105, 403–412.

Oldewurtel, F., Parisio, A., Jones, C. N., Gyalistras, D., Gwerder, M., Stauch, V., ... & Morari, M. (2012). Use of model predictive control and weather forecasts for energy efficient building climate control. Energy and Buildings, 45, 15–27.

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. Energy and Buildings, 40(3), 394–398.

Qiang, G., Yuchao, J., Ziwei, L., Yangjun, Q., & Xin, Z. (2023). A review of building automation systems for energy and comfort management. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 171, 113001.

Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., ... & Zhao, X. (2018). A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 1027–1047.

MEASURING OVERLAPPING REGIONALISM: A MULTI-LAYER PANEL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL OVERLAP AND SELECTIVE POLICY CONVERGENCE IN APEC–ASEAN

Prof. Dr. Arzu AL
Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3287-3661

Suraya BAZAROVA
Marmara Üniversitesi, Marmara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9061-6364

ABSTRACT
Overlapping regionalism has been widely conceptualised through shared memberships and regime complexity, yet its effects on policy outcomes remain insufficiently tested using longitudinal evidence. This article analyses institutional overlap between APEC and ASEAN over the 2015–2024 period using a harmonised country-year dataset covering 24 economies. The framework integrates structural overlap, document-coded policy overlap depth, and behavioural outcomes within a unified empirical design.
Structural overlap is operationalised through partially intersecting memberships, while policy overlap depth is derived from systematic coding of official organisational outputs across six governance domains. Behavioural outcomes are measured through indices of economic integration, digital capacity, and governance quality constructed from standardised indicators. The empirical strategy employs dynamic panel models with year fixed effects and country-clustered standard errors, complemented by correlated random effects and interaction specifications to assess conditional effects. Robustness is assessed through Monte Carlo permutation inference that constructs empirical null distributions of the estimated coefficients.
Results reveal selective rather than uniform convergence across governance domains. Economic integration exhibits the strongest and most consistent association with institutional overlap, while governance quality shows more limited but statistically robust improvements. Digital capacity shows weaker and less robust associations, with significance varying across model specifications. Interaction effects between overlap exposure and policy depth do not hold consistently across outcome domains. These findings indicate that overlapping regionalism operates as a differentiated coordination mechanism that generates domain-specific convergence rather than uniform policy alignment within complex regional governance architectures.
Keywords: Overlapping Regionalism; Regime Complexity; Policy Convergence; Institutional Interaction; Panel Data Analysis

1. INTRODUCTION
The proliferation of regional international organisations since the 1990s has fundamentally transformed the architecture of global governance. Rather than operating as discrete and hierarchically ordered entities, contemporary institutions increasingly coexist within complex, overlapping arrangements in which authority is fragmented across partially intersecting memberships and policy domains. This condition—commonly conceptualised as regime complexity—reflects a structural shift in international cooperation, where multiple institutions simultaneously shape policy outcomes without clear lines of hierarchy or coordination (Alter & Raustiala, 2018). In this context, institutional overlap is not an anomaly but a constitutive feature of twenty-first-century governance.
The Asia-Pacific provides a particularly salient setting in which to examine these dynamics. The relationship between APEC and ASEAN represents one of the most sustained and analytically underexplored cases of overlapping regionalism. These organisations combine partially shared memberships with intersecting policy mandates while operating through distinct institutional logics, decision-making procedures, and levels of formalisation (Beeson, 2008; Yeo, 2019). This configuration generates a governance environment in which states are simultaneously embedded in multiple

institutional frameworks, creating the potential for both coordination and fragmentation across policy domains.

Despite the centrality of this phenomenon, existing scholarship has largely approached overlapping regionalism as a static structural condition. Prior research has made important contributions by mapping patterns of shared membership and institutional design (Panke & Stapel, 2023) and by analysing how states strategically navigate institutional multiplicity (Alter & Raustiala, 2018; Henning, 2019). However, a critical limitation persists: overlap is typically measured as a binary or descriptive feature, leaving unresolved whether sustained participation in overlapping institutions produces measurable effects on policy outcomes over time. In particular, the question of whether overlapping institutional arrangements generate convergence in governance performance remains empirically underdeveloped.

This limitation is reinforced by the policy convergence literature, which distinguishes between convergence as an observable outcome and the mechanisms that generate it, including diffusion, policy transfer, and regulatory competition (Knill, 2005). In complex governance environments where states are embedded in multiple overlapping institutional settings, policy change emerges from the interaction of these mechanisms rather than from a single causal pathway. Convergence should therefore be understood as a probabilistic outcome of institutional interaction rather than as the deterministic product of any single process. In the APEC–ASEAN context, this complexity is further amplified by asymmetrical institutionalisation and the absence of binding enforcement mechanisms, which generate heterogeneous convergence pressures across shared member states (Ravenhill, 2001).

Against this background, this article asks a central question: Does sustained institutional overlap between APEC and ASEAN generate measurable convergence in governance outcomes, and if so, across which domains? We anticipate that convergence will be stronger in policy domains where institutional mandates exhibit greater functional overlap, while remaining weaker in domains characterised by divergent organisational logics.

To address this question, the study develops a Multi-Layer Institutional Overlap Framework that conceptualises institutional overlap as a multidimensional phenomenon encompassing structural configurations, policy competence overlap, and behavioural convergence. By integrating these analytically distinct dimensions within a unified empirical design, the framework moves beyond prior approaches that treat overlap as a static property and instead captures its dynamic implications for governance outcomes. In particular, the study introduces a temporal measure of institutional exposure that reflects the cumulative duration of dual membership, thereby reconceptualising overlap as a process rather than a fixed condition.

Empirically, the analysis is based on a harmonised panel dataset covering 24 economies over the 2015–2024 period. The estimation strategy combines dynamic panel models with year fixed effects, country clustered standard errors, and Monte Carlo permutation inference to ensure robustness. To directly assess whether institutional overlap is associated with convergence in outcome distributions, the analysis incorporates dispersion-based (sigma) convergence measures alongside dynamic panel estimation. This combined approach enables the study to distinguish between average treatment effects and changes in cross-country dispersion over time.

The empirical findings point to selective rather than uniform convergence**.** Sigma-convergence results provide no evidence of uniform convergence across domains. Although digital capacity exhibits a clear decline in cross-country dispersion, economic integration and governance quality remain heterogeneous over time. Complementary robustness tests further demonstrate that overlap effects are selective rather than universal, with no statistically significant impact observed in areas such as FDI inflows or high-technology exports, while environmental outcomes display a positive and significant association. These results suggest that overlapping regionalism operates as a differentiated coordination mechanism rather than a universal driver of policy alignment within complex regional governance architectures.

The study makes three contributions. First, it introduces a multi-layer measurement framework that operationalises institutional overlap across structural, policy, and behavioural dimensions simultaneously. Second, it provides a harmonised ten-year panel dataset for the APEC–ASEAN case, enabling longitudinal analysis of convergence trajectories. Third, it bridges the regime complexity and policy convergence literatures by empirically assessing whether institutional overlap is associated with observable convergence in governance performance over time. More broadly, the findings demonstrate

that overlapping institutional architectures reorganise, rather than eliminate, cross-country heterogeneity within complex regional governance systems.

The remainder of the article proceeds as follows. Section 2 reviews the literature on regime complexity and policy convergence, situating the Multi-Layer Institutional Overlap Framework. Section 3 introduces the research design, data, operationalisation, and estimation strategy. Section 4 presents the empirical findings. Section 5 discusses the implications, and Section 6 concludes.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Regime Complexity and Institutional Interaction

Regime complexity in East Asia emerges from the interaction between global structural forces and intra-regional dynamics, as regional institutions develop not in isolation but through continuous engagement with broader political and economic systems (Ba, 2009). The post–Cold War period witnessed a marked expansion in regional institutionalization, reflected in both the proliferation of organizations and the deepening of their authority. This expansion is closely associated with diffusion processes through which institutional models and practices spread across regions following the relaxation of geopolitical constraints, producing increasingly dense governance environments characterized by overlapping mandates and intensified inter-institutional interaction (Börzel, 2016; Risse, 2016). Within this context, regional governance is best understood as a multidimensional and interactive process shaped by the interplay between economic, political, and security dynamics, where developments in one domain frequently generate spillover effects in others, contributing to layered and non-linear patterns of governance (Dent, 2008). Importantly, the distinction between regionalism as institutionalized cooperation and regionalisation as market-driven integration further underscores the complexity of these arrangements, as both processes jointly produce fragmented and overlapping institutional structures that challenge linear models of regional integration (Dent, 2008).

Within such dense governance environments, institutional interaction is not merely a structural by-product but is actively shaped by strategic state behavior. States do not passively adapt to institutional settings; rather, they engage in forum shopping, regime shifting, and competitive regime creation in order to maximize their preferences across overlapping institutional venues (Suzuki, 2024; Panke et al., 2025). While regime complexity expands opportunities for strategic engagement, it simultaneously generates coordination costs, resource constraints, and potential inconsistencies across institutional commitments, which may lead states to recalibrate or even reduce their level of institutional participation. As a result, regime complexity constitutes a dynamic system in which states continuously balance opportunities for influence against the costs of institutional multiplicity.

Beyond strategic navigation, overlapping institutional environments also generate interaction effects through processes of learning and emulation. Reinsberg and Westerwinter (2023) demonstrate that institutional overlap fosters mimetic dynamics in the design of intergovernmental organizations, as states draw on existing organizational templates when creating new arrangements in similar policy domains. This process reflects bounded rationality, whereby institutional designers rely on established models to reduce uncertainty and transaction costs. Crucially, convergence in institutional design is driven less by shared membership than by functional similarity, indicating that governance alignment operates as a key mechanism of institutional interaction. Institutional overlap thus functions not only as a condition of multiplicity but also as a transmission mechanism through which institutional practices diffuse across governance settings (Faude & Fuss, 2020).

The structure of institutional interaction is further conditioned by the internal design of international organizations. The distinction between delegation and pooling highlights how authority is distributed within institutions, shaping how states manage coordination and decision-making under conditions of complexity (Hooghe & Marks, 2015). Complementing this perspective, the rational institutional design literature conceptualizes international institutions as purposively constructed arrangements shaped by strategic responses to cooperation problems. Institutional variation emerges across key design dimensions—including membership, issue scope, centralization, decision rules, and flexibility—as states adapt to contextual factors such as power asymmetries, actor heterogeneity, enforcement constraints, and uncertainty (Koremenos et al., 2001). These insights reinforce the view that institutional interaction under regime complexity is conditioned not only by the number of institutions but also by how authority and decision-making are structured within them.

At the same time, regime complexity cannot be fully understood without accounting for its temporal and historical foundations. Historical institutionalist approaches emphasize that regional governance evolves through path-dependent processes characterized by increasing returns and institutional stickiness, whereby earlier institutional choices constrain subsequent developments. Institutional change therefore occurs primarily through incremental mechanisms such as layering, in which new arrangements are introduced alongside existing ones rather than replacing them. This process produces fragmented yet persistent governance architectures in which multiple institutions coexist without hierarchical integration, forming a structural basis for regime complexity in the Asia-Pacific (Yeo, 2019).

Finally, institutional interaction within regime complexes is not governed solely by formal structures or strategic incentives. Norms, identities, and socialization processes may stabilize cooperation even in the absence of hierarchical authority or binding enforcement mechanisms. The ASEAN experience illustrates how informal practices and shared normative expectations can sustain coordination within overlapping institutional environments, reducing the likelihood of conflict despite high levels of institutional multiplicity (Acharya, 2001).

Taken together, these perspectives establish regime complexity as a multidimensional and dynamic system in which structural conditions, institutional design, strategic behavior, and normative factors jointly shape patterns of institutional interaction and the evolution of governance architectures over time.

2.2 Dimensions of Institutional Overlap

The regime complexity literature conceptualizes institutional overlap as a systemic feature of contemporary global governance rather than an anomalous by-product of institutional proliferation. Within regime complexes, multiple non-hierarchical institutions simultaneously claim authority over intersecting policy domains, generating dispersed governance structures that incentivize forum shopping, regime shifting, and selective engagement across competing institutional arenas (Raustiala & Victor, 2004; Alter & Raustiala, 2018). These dynamics are reinforced by structural conditions such as shifting power distributions and functional differentiation, indicating that overlap emerges as a structurally embedded outcome of international cooperation rather than a design failure (Alter & Raustiala, 2018).

Building on this foundation, recent scholarship advances multidimensional operationalizations of overlap. Haftel and Lenz (2022) define overlap through the joint presence of policy competency overlap and membership overlap, emphasizing that meaningful interaction effects arise only when both dimensions coexist. Reinsberg and Westerwinter (2023) extend this approach by integrating membership, policy domains, and governance tasks into a unified framework, enabling systematic measurement of overlap across issue areas and over time. Complementing this, Panke et al. (2025) disaggregate regime complexity into membership-based complexity, competency-based complexity, and institutional incompatibility, demonstrating that intensifying overlap increases coordination costs, capacity constraints, and risks of selective implementation and non-compliance.

A critical analytical distinction concerns the relationship between mechanisms and outcomes. Heichel, Pape, and Sommerer (2005) differentiate policy convergence as an observable outcome from mechanisms such as diffusion, transfer, and learning, which may—but do not necessarily—produce convergence. Similarly, Holzinger and Knill (2005) show that convergence depends on institutional characteristics including legal specification, enforcement capacity, and policy scope. From this perspective, institutional overlap expands the opportunity structure for state choice without determining the direction or degree of policy alignment, enabling selective adaptation rather than uniform harmonization.

The effects of overlap are further conditioned by institutional design and strategic interaction. Hooghe and Marks (2015) demonstrate that institutional authority is structured along two independent dimensions—delegation and pooling—which respond differently to membership size, policy scope, and power asymmetries. Suzuki (2024) shows that the interaction between precision and non-delegation enables states to navigate multiple regimes while preserving sovereignty, thereby operationalizing the flexibility generated by overlap.

Faude and Fuss (2020) introduce a causal perspective in which different forms of dissatisfaction with existing arrangements—substantive rules, decision-making procedures, or institutional fit—produce distinct patterns of institutional interaction, ranging from conflict to coordination. Henning (2019) further conceptualizes overlap as a strategic control mechanism, whereby states create alternative institutional arrangements to counter agency drift, producing a tension between flexibility and coordination efficiency that results in "bounded coherence" within regime complexes.

In the Asia-Pacific context, institutional overlap reflects cumulative structural and historical processes rather than deliberate design. Ba (2009) traces the proliferation of overlapping regional frameworks to post–Cold War transformations and the Asian financial crisis, through which ASEAN expanded its institutional reach in order to maintain centrality within an evolving regional order. Yeo (2019) identifies institutional layering as the primary mechanism, whereby new governance arrangements are constructed alongside existing ones rather than replacing them, producing a multi-layered and persistent governance architecture. Ravenhill (2001) shows that ASEAN and APEC represent functionally differentiated institutional responses: ASEAN emphasizes sovereignty preservation and consensus-based governance, whereas APEC institutionalizes open regionalism and concerted unilateralism to manage transregional economic interdependence. As Ravenhill (2001) further demonstrates, overlapping institutional arrangements emerge as adaptive responses to market-driven integration processes, generating decentralized policy diffusion through demonstration effects rather than hierarchical enforcement. Dent (2008) reinforces this interpretation by documenting the simultaneous operation of ASEAN, APEC, and ASEAN Plus Three across overlapping memberships and differentiated mandates, illustrating the inherently non-hierarchical and multi-layered nature of regional governance in East Asia.

At the functional level, recent empirical work highlights how institutional overlap operates across specific policy domains. He and Acharya (2022) show that overlapping arrangements frequently emerge in areas such as connectivity, infrastructure financing, and trade facilitation, where multiple initiatives operate concurrently. Chirathivat (2022) examines the interaction between China's Belt and Road Initiative (BRI) and ASEAN's Master Plan on ASEAN Connectivity (MPAC) 2025 as a paradigmatic case of overlap preceding coordination. While both frameworks target similar domains, they differ significantly in governance structure, financing mechanisms, and implementation strategies, illustrating how functional convergence may coexist with institutional divergence. The broader proliferation of competing initiatives—including Japan's Partnership for Quality Infrastructure and Indo-Pacific strategies—further intensifies this environment, creating a dense institutional landscape in which overlap simultaneously enables strategic flexibility and generates coordination challenges (Chirathivat, 2022).

Taken together, this body of scholarship establishes institutional overlap as a multidimensional, strategically constituted, and empirically heterogeneous phenomenon. Its consequences are neither uniformly convergent nor uniformly destabilizing but contingent on institutional design, the distribution of authority, and the strategic motivations of participating states.

2.3 Overlapping Regionalism

The literature on overlapping regionalism in East Asia identifies the emergence of a dense and layered institutional architecture characterized by significant overlap across both membership and functional mandates. Rather than forming a coherent or hierarchical system, regional governance evolves through the coexistence of multiple institutional frameworks operating simultaneously across issue areas. This pattern reflects broader transformations in global governance, where authority is increasingly dispersed across overlapping institutional arrangements rather than centralized within a single structure (Raustiala & Victor, 2004; Alter & Raustiala, 2018).

Within this context, overlapping regionalism is shaped by regional-specific dynamics. Yeo (2018) demonstrates that East Asia is particularly prone to overlapping institutional arrangements due to a combination of institutional informality, competing regional visions, and functional differentiation. These conditions enable multiple organizations to coexist without direct mandate conflict, often producing coordination and functional specialization rather than fragmentation.

At the same time, overlapping arrangements generate repeated interaction among states, sustaining communication and limited trust even in the presence of geopolitical tensions, while also introducing long-term risks such as institutional competition and fragmentation (Yeo, 2018).

The coexistence of overlapping institutional layers in Southeast Asia further reflects the role of shared norms and informal coordination practices. Acharya (2001) argues that regional cooperation in ASEAN-centered frameworks is sustained not through formal hierarchy but through norms of consensus and non-interference, which facilitate coexistence and functional complementarity among institutions. This suggests that overlapping regionalism does not necessarily lead to institutional conflict, but may instead be stabilized through normative and informal governance mechanisms.

From a structural perspective, overlapping regionalism is reinforced by patterns of institutional persistence. Despite expanding membership and policy scope, most regional organizations do not evolve into more encompassing forms but instead retain their original institutional types, resulting in the coexistence of diverse organizational forms within stable structural constraints (Panke et al., 2020). This pattern indicates that overlap is not driven by continuous institutional transformation, but by the accumulation of multiple institutional arrangements over time.

These dynamics are further embedded in broader transformations toward a multiplex global order. He and Acharya (2022) conceptualize this shift as a move from a multipolar to a multiplex system in which authority is dispersed across multiple institutional frameworks operating in parallel. In the Asia-Pacific, this is reflected in the simultaneous operation of ASEAN, APEC, and newer initiatives such as the Belt and Road Initiative, which collectively structure governance across domains including trade, connectivity, and infrastructure. Overlapping regionalism thus emerges as a structural feature of a decentralized and multi-layered governance system rather than a temporary outcome of institutional proliferation.

At the same time, overlapping regionalism is driven by processes of institutional layering and functional differentiation. New initiatives do not replace existing arrangements but develop alongside them, producing a networked governance configuration in which institutions operate across intersecting policy domains. This reflects increasing specialization in governance functions, whereby different institutions assume complementary roles across overlapping issue areas (He & Acharya, 2022).

The emergence and persistence of overlapping institutional arrangements can also be understood as a political process shaped by domestic coalitions and strategic interests. Jayasuriya (2004) argues that regional governance reflects competing domestic and international pressures rather than purely functional responses to globalization. States engage in multiple institutional frameworks simultaneously as part of a broader strategy of institutional flexibility, particularly in response to economic crises and shifting political coalitions. Overlapping regionalism therefore represents a structurally embedded feature of governance systems that accommodate competing regulatory and political imperatives.

Finally, overlapping regionalism in the Asia-Pacific can be conceptualized as a path-dependent "patchwork" architecture characterized by durable institutional pluralism. Yeo (2019) shows that regional governance evolves through the accumulation of layered institutional arrangements, in which bilateral and multilateral forms coexist and interact across issue areas. U.S.-centered bilateral security arrangements continue to operate alongside ASEAN-led multilateral platforms, producing a hybrid governance system in which coordination emerges through coexistence rather than hierarchy. This configuration reinforces overlapping regionalism as a constitutive feature of regional order rather than a transitional phase.

Taken together, these perspectives establish overlapping regionalism as a multidimensional and structurally embedded phenomenon shaped by institutional layering, normative coordination, and strategic state behavior. Rather than producing uniform outcomes, overlapping institutional arrangements generate differentiated patterns of interaction and governance across policy domains. This raises a central empirical question for this study: whether sustained exposure to overlapping regional frameworks generates measurable patterns of policy convergence across governance domains over time.

2.4 Comparative Regionalism and Governance Architecture

A comparative regionalism perspective emphasizes that regional governance cannot be explained through a single universal model but instead reflects configurative causality, in which economic interdependence, security concerns, domestic political dynamics, and institutional design interact in

context-specific ways. This challenges Eurocentric assumptions derived from classical integration theories, which posit a linear trajectory toward deeper institutionalization. Empirical evidence shows that regionalism follows multiple pathways, producing diverse governance architectures shaped by historical and geopolitical conditions rather than converging toward a single institutional endpoint (Beeson & Stubbs, 2012).

A key conceptual distinction within this framework is between regionalism and regionalization. Regionalism refers to top-down, state-led institutional design, whereas regionalization captures bottom-up dynamics of economic and social interaction. These processes are interrelated but not deterministic; high levels of regionalization do not necessarily produce strong institutionalization, as illustrated by the Asia-Pacific, where dense interdependence coexists with relatively weak supranational structures. Regional governance therefore emerges from the interaction between formal institutional arrangements and informal coordination mechanisms, producing variation in authority structures across regions (Börzel & Risse, 2016; Börzel, 2016).

To account for this variation, governance-oriented approaches conceptualize regional architectures as embedded and evolving systems. Institutional design reflects "design-in-context," whereby new organizations draw on existing institutional templates within overlapping governance environments, reinforcing processes of interaction, adaptation, and layering (Reinsberg & Westerwinter, 2023). Within this broader perspective, institutional multiplicity is not anomalous but a structural feature of contemporary governance systems.

The Asia-Pacific case illustrates these dynamics most clearly. Drawing on Mattli's framework, Webber (2001) shows that while the region satisfies the demand condition for cooperation due to high economic interdependence, it lacks a dominant leader capable of supplying coordination. As a result, regional governance evolves through institutional diversification rather than hierarchical integration, with overlapping organizations such as ASEAN, APEC, and ASEAN Plus Three operating across shared memberships and differentiated mandates. Rather than indicating failure, this reflects a governance model characterized by coexistence, competition, and functional differentiation.

This interpretation is reinforced by region-specific institutional logics. ASEAN operates through informal coordination, consensus-building, and shared normative frameworks—the so-called "ASEAN Way" demonstrating that governance effectiveness can emerge from social legitimacy rather than formal authority (Acharya, 2001). Moreover, ASEAN's role as an active regional actor highlights that institutional development is not solely driven by major powers but also by smaller actors shaping governance structures and mediating between global and regional dynamics (Ba, 2009).

From a broader structural perspective, overlapping governance architectures in the Asia-Pacific reflect transformations in the global political economy. The evolution of global value chains, technological change, and shifting patterns of production have reduced the feasibility of centralized institutional models, generating demand for flexible and multi-layered governance arrangements. In this context, initiatives such as China's Belt and Road Initiative function as structural mechanisms that extend economic integration through infrastructure and connectivity, producing parallel but non-convergent governance trajectories (Canuto, 2017).

These dynamics are further reinforced by comparative regionalism theory. Acharya (2012) reconceptualizes regionalism as a socially constructed and context-dependent process shaped by local norms and identities rather than as a linear trajectory toward supranational integration. The concept of norm subsidiarity demonstrates how regions reinterpret global norms according to local priorities, resulting in hybrid governance architectures in which overlapping institutions coexist without hierarchical consolidation. This perspective underscores that overlapping regionalism reflects plural governance logics rather than institutional inefficiency (Acharya, 2012).

At the systemic level, overlapping institutional arrangements can be understood through broader theories of global governance. Zürn (2018) conceptualizes global governance as a multi-layered system of dispersed authority, where institutions operate across partially interconnected arenas and influence behavior through normative and epistemic mechanisms rather than coercion. Processes such as institutional layering and counter-institutionalization reinforce the persistence of overlapping arrangements, making them a constitutive feature of contemporary governance rather than a temporary outcome (Zürn, 2018).

This perspective is closely aligned with the multilevel governance approach, which explains how authority is distributed across overlapping institutional layers operating at different scales. Rather than reflecting inefficiency, institutional overlap enables complex policy problems to be addressed through functionally differentiated yet interconnected governance arenas. The coexistence of partially overlapping organizations thus reflects an adaptive governance mechanism that facilitates coordination, interaction, and potential policy alignment across domains (Panke & Stapel, 2024).

Finally, comparative evidence demonstrates that governance outcomes are shaped by institutional architecture. Different configurations of hierarchy and differentiation produce distinct patterns of policy adjustment and institutional effectiveness across regions, confirming that institutional structure has causal significance beyond mere description (Henning, 2023). At the same time, weak enforcement and flexible institutional arrangements limit convergence in less formalized systems, reinforcing variation in outcomes across regions (Holzinger & Knill, 2005).

Taken together, comparative regionalism demonstrates that overlapping institutional arrangements emerge as context-dependent governance solutions shaped by structural transformation, institutional design, and normative frameworks. Institutional multiplicity can persist as a stable configuration, while its effects on policy outcomes remain conditional. This provides the analytical foundation for examining whether overlapping institutional exposure generates measurable patterns of policy convergence across governance domains.

2.5 Theoretical Framework: Institutional Overlap as a Dynamic Process

Building on the preceding literature, this study reconceptualizes institutional overlap as a dynamic and emergent property of organizational evolution rather than a static structural condition. Existing approaches typically define overlap as the coexistence of institutions with intersecting memberships or mandates. However, such perspectives overlook the temporal dimension of institutional change and the role of organizational dynamics in shaping overlapping configurations.

In governance systems characterized by high rates of institutional turnover, overlap may arise not only through intentional design or functional differentiation, but also through processes of institutional replacement and succession. As organizations decline or are transformed, newly created institutions may partially inherit policy domains, memberships, and governance functions, resulting in layered and intersecting institutional arrangements. Historical evidence shows that the growth of international organizations has been accompanied by persistent patterns of institutional termination, particularly during periods of systemic disruption, indicating that global governance evolves through processes of replacement and reconfiguration rather than simple accumulation (Eilstrup-Sangiovanni, 2020).

This dynamic perspective is further reinforced by structural transformations in the global political economy. Regional economic organizations display substantial variation in institutional design, scope, and authority, challenging assumptions of linear institutional development. While institutionalist approaches suggest that economic interdependence generates demand for more formalized and credible institutions, empirical evidence indicates that this relationship is conditional. Higher levels of regional trade are associated with broader institutional scope and greater independence, but only when institutional commitments are effectively implemented rather than merely formally adopted (Haftel, 2013).

At the same time, comparative evidence highlights important deviations from this logic. In regions such as East Asia, high levels of economic interdependence coexist with relatively weak and informal institutional arrangements, reflecting the influence of sovereignty concerns, power asymmetries, and normative preferences for flexibility over legalization (Acharya & Johnston, 2007; Katzenstein, 1997). These findings suggest that economic interdependence operates within a broader constellation of political and structural factors, reinforcing the need for a multidimensional analytical approach to institutional design.

Building on these insights, the study adopts a multi-layer analytical framework that integrates structural overlap, policy overlap, and behavioural outcomes within a unified empirical design. While existing research has primarily relied on qualitative approaches—such as discourse analysis and network mapping—to examine institutional interaction, these approaches remain limited in systematically capturing the measurable effects of overlap on governance outcomes.

This study extends the literature by shifting toward a quantitative and comparative framework that enables the systematic analysis of institutional overlap and its consequences (Ermeydan, 2022).
Taken together, this framework conceptualizes institutional overlap as an adaptive and conditionally structured process shaped by organizational turnover, economic interdependence, and broader governance dynamics. Rather than representing a static feature of institutional design, overlap reflects ongoing processes of institutional interaction and evolution, creating the conditions under which policy convergence may emerge across governance domains. Building on this perspective, the study adopts a hybrid theoretical framework that combines insights from regime complexity and policy convergence literatures. Regime complexity provides the structural foundation for understanding overlapping institutional environments, while policy convergence offers the analytical lens for examining their observable effects. By linking institutional overlap to behavioural outcomes, the study moves beyond descriptive accounts of institutional multiplicity and develops a mechanism-based explanation of how overlapping governance structures shape policy trajectories across domains.

2.6 Policy Convergence and Diffusion

The policy convergence literature provides a critical analytical framework for understanding how governments adopt increasingly similar policy approaches over time. Convergence is conceptualised as a dynamic and multi-causal process rather than a static condition of similarity, requiring longitudinal analysis to capture movement toward alignment (Bennett, 1991). Crucially, convergence must be analytically distinguished from the mechanisms that produce it. While convergence refers to observable increases in policy similarity, processes such as diffusion, transfer, and regulatory competition capture the causal pathways through which policy ideas and institutional practices spread across political systems. These mechanisms—including transnational communication, lesson-drawing, international harmonisation, and independent problem-solving—operate as distinct and interacting processes that may, but do not necessarily, generate convergence (Knill, 2005).
Beyond conceptual distinctions, regional organizations have been shown to generate a wide range of policy effects that extend into domestic political and economic systems. Empirical research demonstrates that regional institutions influence trade, economic growth, social policy, environmental regulation, and broader processes such as norm diffusion and democracy promotion. While these effects have been most extensively examined in the European Union, the underlying mechanisms—diffusion, compliance, and policy transfer—are increasingly observed across other regions, highlighting that institutional structures and behavioural outcomes must be analytically distinguished (Börzel, 2016).
Within this broader framework, institutional overlap introduces additional pathways through which convergence may emerge. While earlier scholarship associated overlapping arrangements with fragmentation, more recent research demonstrates that overlap can facilitate convergence through indirect learning and adaptation mechanisms. Institutions embedded in overlapping governance environments tend to become more similar over time through mimetic processes driven by shared governance functions rather than direct coordination, contributing to the gradual standardisation of institutional practices across regions (Reinsberg & Westerwinter, 2023).
At the same time, convergence cannot be fully explained through state-centric accounts alone. International organizations exhibit autonomous behaviour shaped by bureaucratic structures, professional expertise, and rule-based rationality. These internal dynamics influence policy outputs and institutional interaction, generating unintended consequences such as coordination failures, rigidities, and inefficiencies, particularly in densely institutionalized environments (Barnett & Finnemore, 2004).
Empirical evidence further indicates that convergence may emerge even in weakly institutionalized settings. Studies of UN General Assembly voting patterns show that Asian states, particularly within ASEAN, display relatively high levels of policy convergence despite limited formal institutionalization. However, this convergence remains selective and domain-specific, with persistent divergence in sensitive issue areas, suggesting that convergence should be understood as behavioural positioning rather than as evidence of fully integrated policy coordination (Ferdinand, 2014).
The dynamics of regime complexity further complicate this relationship. While overlapping institutional environments may facilitate learning and diffusion, they can also generate duplication, inconsistency, and coordination costs.

As institutional density increases, states may respond through selective engagement or even disengagement, indicating that convergence emerges as a conditional and uneven process shaped by capacity constraints and strategic considerations rather than as an automatic outcome of overlap (Panke et al., 2025).

A diffusion-based perspective clarifies the mechanisms underlying these patterns. Diffusion operates through multiple pathways, including functional responses to cooperation problems, competitive pressures among states, learning processes, and normative emulation. These mechanisms often coexist and interact, producing variation in institutional design and effectiveness across regions. As a result, convergence cannot be attributed to a single causal logic but emerges from the interplay of strategic, functional, informational, and normative forces (Jetschke & Lenz, 2013).

Regional evidence further demonstrates that diffusion processes are selective and context-dependent. In the case of ASEAN, institutional convergence toward external models such as the European Union reflects a combination of lesson-drawing and normative emulation, yet remains partial and uneven. While certain formal structures are adopted, core principles of sovereignty and intergovernmentalism are preserved, limiting the depth of convergence. These dynamics are conditioned by factors such as crisis-driven reform, domestic institutional capacity, and normative constraints, resulting in hybrid institutional outcomes rather than full replication (Jetschke & Murray, 2012).

At the same time, convergence in regional governance is often driven by processes of socialisation and norm diffusion rather than coercive enforcement. Repeated interaction within institutional frameworks facilitates persuasion, identity formation, and the internalisation of shared norms, leading to alignment of state preferences over time. This suggests that convergence is embedded in social and normative processes, rather than being solely the product of formal institutional design (Acharya, 2001).

Taken together, these insights demonstrate that policy convergence in complex governance environments is neither linear nor inevitable. Instead, it emerges as a probabilistic and differentiated outcome shaped by overlapping institutional structures, organizational dynamics, and multiple diffusion mechanisms operating under varying structural conditions. Institutional overlap does not directly produce convergence but creates the conditions under which convergence may occur, generating domain-specific and uneven patterns of policy similarity across governance systems. This provides the analytical foundation for examining whether sustained exposure to overlapping regional frameworks produces measurable convergence in governance outcomes.

2.7 Asia-Pacific Institutional Context

The Asia-Pacific institutional context is characterized by a high degree of diversity, contestation, and institutional overlap, reflecting both the heterogeneity of the region and its distinctive approach to regional governance. Unlike more institutionalized regions such as Europe, regionalism in Asia has developed through a combination of formal intergovernmental arrangements and informal, consensus-based practices. This dual structure is rooted in the region's historical trajectory, including colonial legacies, Cold War divisions, and the enduring emphasis on sovereignty and non-interference. As a result, regional cooperation prioritizes flexibility, pragmatism, and incrementalism over legally binding commitments and centralized authority (Beeson & Stubbs, 2012).

From a historical institutionalist perspective, this governance pattern reflects processes of layering rather than replacement. Yeo (2019) shows that post–World War II U.S.-led bilateral alliances have not been displaced but instead coexist with an expanding array of multilateral and mini-lateral arrangements, producing a dense and non-hierarchical "patchwork" architecture. This institutional proliferation is not solely the outcome of strategic design but is also driven by underlying material dynamics, particularly the expansion of intra-regional trade, production networks, and economic interdependence (Yeo, 2019).

At the same time, regionalism in the Asia-Pacific has followed a trajectory distinct from that of Europe, characterized by a persistent preference for informal and decentralized modes of cooperation. States have historically avoided binding commitments and instead relied on flexible coordination mechanisms, resulting in what is commonly described as "soft regionalism." While economic interdependence has encouraged cooperation, it has not led to convergence toward highly institutionalized governance structures. Instead, institutional outcomes reflect broader political and contextual factors, including sovereignty concerns, power asymmetries, and regional diversity (Zhao, 2013).

Critical junctures have further shaped this evolving institutional landscape. Webber (2001) demonstrates that the 1997–98 Asian financial crisis exposed the structural limitations of existing regional frameworks such as ASEAN and APEC, including high heterogeneity and the absence of a dominant coordinating power. This crisis created a governance gap that facilitated the emergence of ASEAN Plus Three (APT) as a more focused East Asian framework. However, rather than replacing existing institutions, this transformation resulted in the coexistence of multiple overlapping arrangements with shifting functional relevance.

As a consequence, the Asia-Pacific exhibits a hybrid and multi-layered governance architecture in which multiple regional frameworks—such as ASEAN, APEC, ASEAN Plus Three, and the East Asia Summit—operate simultaneously across partially overlapping memberships and policy domains. This institutional multiplicity reflects both the absence of a unified regional hierarchy and the strategic preferences of states to engage in parallel and complementary forms of cooperation. While new institutional layers, including initiatives such as the Chiang Mai Initiative Multilateralization, have introduced greater formalization in specific policy areas, they do not displace existing structures. Instead, they reinforce a pattern of incremental institutional evolution driven by functional demands and strategic competition (Webber, 2001; Suzuki, 2024).

This pattern is further reinforced by structural characteristics of regional organizations. Compared to other regions, Asia-Pacific institutions tend to exhibit smaller membership sizes, narrower policy scope, and limited delegation of authority, reflecting a broader preference for state-centric and flexible governance arrangements. This supports the view that regionalism in Asia follows a decentralized and adaptive model rather than a trajectory toward deep institutional integration (Panke et al., 2020).

Within this complex environment, ASEAN plays a central role as an institutional anchor. Despite increasing integration between Southeast and Northeast Asia, ASEAN has adapted its institutional frameworks to preserve its relevance and centrality, expanding its role through mechanisms that connect regional and global governance structures. This has resulted in an interconnected yet contested regional architecture in which ASEAN-led initiatives coexist with broader regional arrangements. The persistence of ASEAN centrality underscores the importance of agency and strategic adaptation in shaping regional governance outcomes (Ba, 2009).

Taken together, the Asia-Pacific institutional context is best understood as a dynamic and multi-layered system characterized by institutional overlap, functional differentiation, and constrained integration. Rather than representing a transitional phase toward consolidation, institutional multiplicity constitutes a stable feature of regional governance. This provides a critical empirical foundation for examining how overlapping institutional arrangements shape policy outcomes, particularly whether sustained exposure to such environments generates measurable convergence across governance domains.

2.8 Hypotheses

Building on the integrated framework of regime complexity and policy convergence, this study develops a set of mechanism-based and conditional expectations regarding the effects of institutional overlap on governance outcomes. While overlapping institutional environments create opportunities for interaction, learning, and coordination, these effects are not expected to be uniform across policy domains. Instead, convergence is conceptualised as a probabilistic outcome shaped by the interaction between structural exposure, functional alignment, and policy-specific institutional constraints (Bennett, 1991; Knill, 2005; Börzel, 2016).

H1: Institutional overlap exposure is positively associated with policy convergence; however, this effect is conditional rather than uniform across governance domains.

More specifically, convergence dynamics are expected to vary systematically across policy areas. Stronger and more stable effects are anticipated in domains characterised by high functional alignment—most notably economic integration—where institutional mandates reinforce coordination incentives. By contrast, weaker, less stable, or statistically inconsistent effects are expected in domains such as digital capacity, where organisational logics and policy instruments are more fragmented. Governance quality is expected to occupy an intermediate position, reflecting softer enforcement mechanisms and greater institutional heterogeneity.

H2a: The effect of institutional overlap on convergence is strongest in economic integration.
H2b: The effect is weaker and less stable in digital capacity.

H2c: The effect is positive but modest in governance quality.
Beyond direct effects, convergence is not driven by structural overlap alone but depends on the interaction between exposure and policy-level engagement. Accordingly, policy overlap depth is expected to condition the relationship between institutional overlap exposure and convergence outcomes.
H3: Policy overlap depth positively moderates the relationship between institutional overlap exposure and convergence, such that convergence is more likely when sustained co-membership is accompanied by active policy-level co-activity.
Finally, moving beyond mean-based assessments, convergence is also evaluated in distributional terms. To directly assess whether institutional overlap is associated with convergence in outcome distributions, the analysis incorporates dispersion-based (sigma) convergence measures alongside dynamic panel estimation.
H4: Sigma-convergence is expected to emerge selectively across domains, with declining dispersion in economically aligned domains, while remaining weak or inconsistent in domains characterised by lower functional alignment.
Taken together, these hypotheses imply that institutional overlap operates as a conditional, multi-layered, and domain-sensitive mechanism that facilitates selective rather than systemic convergence across governance outcomes.

3. RESEARCH DESIGN AND METHODOLOGY

3.1 Research Design and Analytical Sample

This study employs a country–year panel design to examine whether overlapping regionalism between APEC and ASEAN is associated with measurable variation in economic integration, digital capacity, and governance quality over the period 2015–2024. In addition to mean-based dynamic panel estimation, the empirical strategy integrates dispersion-based (sigma) convergence analysis to assess whether institutional overlap is associated not only with changes in average outcomes but also with reductions in cross-country heterogeneity over time (Sala-i-Martin, 1996). The unit of analysis is the country–year observation.
The analytical sample includes all economies that were members of APEC and/or ASEAN during the observation window. APEC comprises 21 economies and ASEAN includes 10 member states, with 7 economies holding dual membership. Following the inclusion–exclusion principle, the total number of unique economies is defined as:

$$N = |A \cup S| = |A| + |S| - |A \cap S| = 21 + 10 - 7 = 24$$

where Adenotes APEC economies and Sdenotes ASEAN members. The resulting dataset consists of 24 economies observed over 10 years, yielding 240 country–year observations.
The panel is structurally balanced, meaning that each economy appears in each year of the study period. However, some variables contain missing values due to uneven statistical coverage; thus, balance refers to the country–year structure rather than full variable completeness.[2] Timor-Leste is excluded, as its ASEAN membership begins in 2025 and falls outside the temporal scope of the analysis.
A summary of the analytical sample and measurement architecture is presented in Table 1.

[2] The balanced nature of the panel refers to the country–year structure rather than to complete non-missingness across all variables. This distinction matters because the study combines two institutional measures generated at different analytical levels. Overlap exposure is economy-specific and captures the cumulative duration of dual institutional embeddedness for each economy. By contrast, policy-overlap depth is not economy-specific, it is constructed independently through annual document coding across six common policy domains and then merged into the country–year panel as a shared yearly institutional-context variable. Keeping these measures analytically separate preserves the multi-layer structure of the research design and avoids treating structural membership exposure and contemporaneous policy co-activity as equivalent forms of overlap. In this sense, the design is broadly consistent with scholarship that distinguishes between membership overlap and policy overlap as analytically distinct dimensions of institutional overlap (Haftel & Lenz, 2022), although the present study does not apply their dyadic MEPOS framework directly.

Table 1. Analytical Sample and Measurement Architecture

Component	Value
Analytical universe	Union of APEC and ASEAN economies active during 2015–2024
Unique economies	24
Annual waves	10
Country-year observations	240
APEC economies	21
ASEAN members	10
Dual-member economies	7
Policy coding cells	60 year-domain cells (10 years × 6 domains)
Policy-overlap-depth range	4–6

3.2 Data Sources and Harmonization

The empirical dataset is constructed from a harmonized master panel validated against official World Bank bulk archives (World Bank, n.d.). The final analytical file integrates nine World Bank-sourced macro-level indicators: internet users, secure server density, high-technology exports, GDP per capita in purchasing-power-parity terms, trade openness, services value added, population, foreign direct investment, and per-capita carbon emissions. Governance quality is measured using the World Governance Indicators, including rule of law, regulatory quality, government effectiveness, and control of corruption (Kaufmann et al., 2010).

To minimize measurement error, official World Bank values are prioritized whenever available. When both the harmonized master file and the validated World Bank extract contain an observation for the same economy–year–variable cell, the World Bank archive value is retained. Otherwise, the harmonized master-panel value is used. The merge rule is defined as:

$$X_{i,t,v}^{\text{final}} = X_{i,t,v}^{\text{WB}} \text{ if available; } X_{i,t,v}^{\text{master}} \text{ otherwise}$$

where WBdenotes the validated World Bank value and $master$denotes the harmonized master-panel value. This conservative procedure prioritizes official validated observations while preserving continuity in the analytical panel when official coverage is incomplete.

3.3 Structural Overlap Measures

Structural overlap is operationalized through binary membership indicators for APEC and ASEAN. For each economy i, membership in APEC and ASEAN is coded as follows:

$$\text{APEC}_i = 1 \text{ if } i \in A,\ 0 \text{ otherwise}$$

$$\text{ASEAN}_i = 1 \text{ if } i \in S,\ 0 \text{ otherwise}$$

Joint institutional membership is captured through a conjunctive overlap indicator:

$$\text{OverlapBinary}_i = 1 \text{ if } \text{APEC}_i = 1 \text{ and } \text{ASEAN}_i = 1,\ 0 \text{ otherwise}$$

Membership depth is defined as the number of simultaneous institutional affiliations:

$$\text{MembershipDepth}_i = \text{APEC}_i + \text{ASEAN}_i$$

To characterize the degree of structural overlap between the two institutional sets, three complementary similarity coefficients are reported. (Jaccard, 1901; Dice, 1945; Sørensen, 1948). The Jaccard coefficient captures the share of overlapping members relative to the union of the two organizations:

$$J = \frac{|A \cap S|}{|A \cup S|}$$

The Sørensen–Dice coefficient gives additional weight to the intersection relative to the total size of the two institutional sets:

$$SD = \frac{2|A \cap S|}{|A| + |S|}$$

The overlap coefficient measures the extent to which the smaller institutional set is embedded within the larger one

$$OC = \frac{|A \cap S|}{\min(|A|, |S|)}$$

:

Together, these measures capture the extent to which ASEAN economies are structurally embedded within the broader APEC institutional space.

3.4 Dynamic Overlap Exposure

Binary overlap indicators capture the existence of dual membership but do not account for the accumulated duration of institutional embeddedness. To incorporate temporal depth, the study constructs a dynamic overlap-exposure variable based on the later of the two institutional accession dates:

$$\text{DualSince}_i = \max(\text{APECJoin}_i, \text{ASEANJoin}_i)$$

Overlap exposure is then measured as the number of years elapsed since the onset of dual membership:

$$\text{OverlapExposure}_{i,t} = \max(0, \text{Year}_t - \text{DualSince}_i)$$

This specification treats repeated participation in both organizations as cumulative institutional exposure rather than as a static state. Within the observed panel, overlap exposure ranges from 0 to 35 years, with a sample mean of 8.521 years.

3.5 Policy Overlap Depth

Policy overlap is measured through document-based annual coding of institutional outputs across six domains: trade, digital economy, innovation, connectivity, sustainability, and finance. For each domain $d$and year t, binary indicators record whether APEC or ASEAN produced at least one official output containing explicit domain-specific language or a named deliverable. (APEC, n.d.; ASEAN, n.d.)

$$C_{A,d,t} \in \{0,1\}, \quad C_{S,d,t} \in \{0,1\}$$

Joint policy activity is defined as simultaneous institutional activity in the same policy domain and year:

$$\text{BothActive}_{d,t} = C_{A,d,t} \times C_{S,d,t}$$

Annual policy-overlap depth is then calculated as the number of domains in which both APEC and ASEAN are simultaneously active:

$$\text{PolicyOverlapDepth}_t = \sum_{d=1}^{6} \text{BothActive}_{d,t}$$

This measure captures variation in cross-institutional policy co-activity over time. Because the design covers 10 years and six policy domains, the coding architecture contains 60 domain–year observations. In the realized data, annual policy-overlap depth varies between 4 and 6, indicating meaningful but incomplete co-activity across the six domains.

3.6 Variable Transformations and Index Construction

Population and GDP per capita are log-transformed to reduce skewness:

$$\text{LogPopulation}_{i,t} = \ln(\text{Population}_{i,t})$$

$$\text{LogGDPPC}_{i,t} = \ln(\text{GDPPCPPP}_{i,t})$$

Indicators measured on heterogeneous scales are standardized using z-scores:

$$z(x_{i,t}) = \frac{x_{i,t} - \text{mean}(x)}{\text{sd}(x)}$$

The digital-capacity index is constructed as the mean of standardized indicators capturing internet use, secure server density, and high-technology exports:

$$\text{DigitalIndex}_{i,t} = \text{mean}[z(\text{InternetUsers}_{i,t}),\ z(\ln(1+\text{SecureServers}_{i,t})),\ z(\text{HighTechExport}_{i,t})]$$

The economic-integration index is constructed from logged GDP per capita, trade openness, and services value added:

$$\text{EconomicIndex}_{i,t} = \text{mean}[\text{LogGDPPC}_{i,t},\ \text{TradeGDP}_{i,t},\ \text{ServicesVA}_{i,t}]$$

If the final production file uses standardized economic components, use this version instead:

$$\text{EconomicIndex}_{i,t} = \text{mean}[z(\text{LogGDPPC}_{i,t}),\ z(\text{TradeGDP}_{i,t}),\ z(\text{ServicesVA}_{i,t})]$$

Governance quality is measured as the arithmetic mean of four World Governance Indicators: rule of law, regulatory quality, government effectiveness, and control of corruption:

$$\text{GovernanceIndex}_{i,t} = \text{mean}[\text{RuleOfLaw}_{i,t},\ \text{RegulatoryQuality}_{i,t},\ \text{GovernmentEffectiveness}_{i,t},\ \text{ControlOfCorruption}_{i,t}]$$

The digital index requires at least two observed components. The governance index requires at least three non-missing components. The economic and governance indices follow the production-code averaging rule used in the analytical pipeline.

Table 2. Descriptive Statistics for Principal Analytical Variables

Variable	N	Mean	SD	Min	Max
DigitalIndex_{it}	227	−0.004	0.811	−2.258	2.164
EconomicIndex_{it}	239	52.837	31.363	18.252	167.744
GovernanceIndex_{it}	198	0.370	1.003	−1.506	2.111
LogPopulation_{it}	230	17.432	1.686	12.953	21.069
MembershipDepth_i	240	1.292	0.455	1.000	2.000
OverlapExposure_{it} (yrs)	240	8.521	13.505	0.000	35.000
PolicyOverlapDepth_t	240	4.800	0.601	4.000	6.000

Note: Governance quality is based on the World Governance Indicators. SD = standard deviation.

3.7 Dynamic Panel Models

The baseline empirical specification is a dynamic panel model estimated separately for each of the three outcome dimensions.[3] Each equation includes the lagged dependent variable to account for persistence in the outcome series, overlap exposure as the main explanatory variable, logged population as a control, and year fixed effects to absorb common shocks. Standard errors are clustered at the country level.

$$Y_{i,t} = \alpha + \rho Y_{i,t-1} + \beta\,\mathrm{OverlapExposure}_{i,t} + \gamma\,\mathrm{LogPopulation}_{i,t} + \lambda_t + \varepsilon_{i,t}$$

where $Y_{i,t}$denotes the outcome variable: digital capacity, economic integration, or governance quality. The coefficient βcaptures the association between institutional overlap exposure and the relevant governance outcome, conditional on temporal persistence, population size, and year-specific shocks.

3.8 Correlated Random Effects and Interaction Models

To account for unobserved country heterogeneity without removing all between-country variation, the study also estimates correlated random-effects specifications in the Mundlak tradition. (Mundlak, 1978) These models include country-level means of selected time-varying covariates, allowing the estimates to adjust for systematic differences between economies while retaining information from between-country variation.

$$Y_{i,t} = \alpha + \rho Y_{i,t-1} + \beta\,\mathrm{OverlapExposure}_{i,t} + \theta\,\mathrm{PolicyOverlapDepth}_t$$
$$+\phi(\mathrm{OverlapExposure}_{i,t} \times \mathrm{PolicyOverlapDepth}_t) + \gamma\,\mathrm{LogPopulation}_{i,t} + \lambda_t + \varepsilon_{i,t}$$

The country means operationalize the Mundlak correction for time-invariant unobserved heterogeneity. A separate interaction specification tests whether deeper joint institutional activity conditions the association between overlap exposure and governance outcomes. Annual policy-overlap depth is introduced as a conditioning variable and interacted with overlap exposure:

$$Y_{i,t} = \alpha + \rho Y_{i,t-1} + \beta\,\mathrm{OverlapExposure}_{i,t} + \theta\,\mathrm{PolicyOverlapDepth}_t$$
$$+\phi(\mathrm{OverlapExposure}_{i,t} \times \mathrm{PolicyOverlapDepth}_t) + \gamma\,\mathrm{LogPopulation}_{i,t} + \lambda_t + \varepsilon_{i,t}$$

The interaction coefficient ϕtests whether the relationship between overlap exposure and the outcome varies with the annual depth of shared policy engagement.

[3] Although Table 2 reports the descriptive properties of the harmonized analytical dataset, statistical inference is not based on a single specification. Instead, the empirical strategy employs a set of complementary estimators designed to assess whether the core relationship is robust to alternative assumptions regarding temporal dependence, unobserved heterogeneity, and sampling uncertainty. Accordingly, the estimation strategy is best understood as a form of inferential triangulation rather than model substitution (Mundlak, 1978; Laird & Ware, 1982; Phipson & Smyth, 2010).

3.9 Longitudinal Mixed-Effects and Monte Carlo Robustness

As a second estimator family, the study estimates longitudinal mixed-effects models with country-level random intercepts and year fixed effects. (Laird & Ware, 1982) This specification follows the random-effects longitudinal framework in which economy-specific intercept variation is captured by a country-level random effect:

$$Y_{i,t} = X_{i,t}\beta + b_i + \varepsilon_{i,t}$$

The random intercept and idiosyncratic error are assumed to follow normal distributions:

$$b_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_b^2), \qquad \varepsilon_{i,t} \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2)$$

To assess robustness, Monte Carlo permutation inference is used as an additional validation layer. Overlap-exposure trajectories are permuted across economies, while policy-overlap-depth values are permuted across years. Each randomized draw is re-estimated to construct an empirical null distribution for the institutional coefficients. (Phipson & Smyth, 2010)
The empirical permutation p-value is defined as:

$$p_{\text{perm}} = \Pr(|\beta_{\text{perm}}| \geq |\beta_{\text{obs}}|)$$

This procedure evaluates whether the observed overlap coefficients are unusually large relative to the distribution generated under randomized institutional exposure.

4. FINDINGS

4.1 Structural Configuration and Descriptive Patterns

The findings begin by establishing the institutional structure of the APEC-ASEAN interface before turning to outcome patterns. This ordering is important because the empirical argument depends on distinguishing structural overlap from the behavioural convergence that may follow from it.

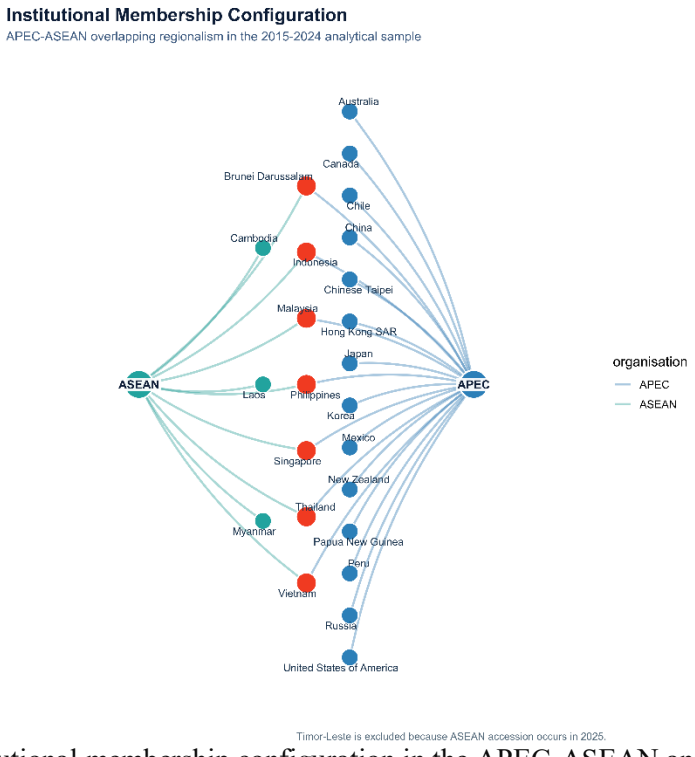


Figure 1. Institutional membership configuration in the APEC-ASEAN analytical sample.

As Figure 1 indicates, the concentration of dual membership provides the empirical leverage for separating overlap exposure from ordinary regional participation. Rather than treating APEC and ASEAN affiliations as parallel memberships, the configuration identifies a subset of economies repeatedly embedded in both governance arenas, making cumulative institutional exposure a plausible mechanism for selective coordination effects.

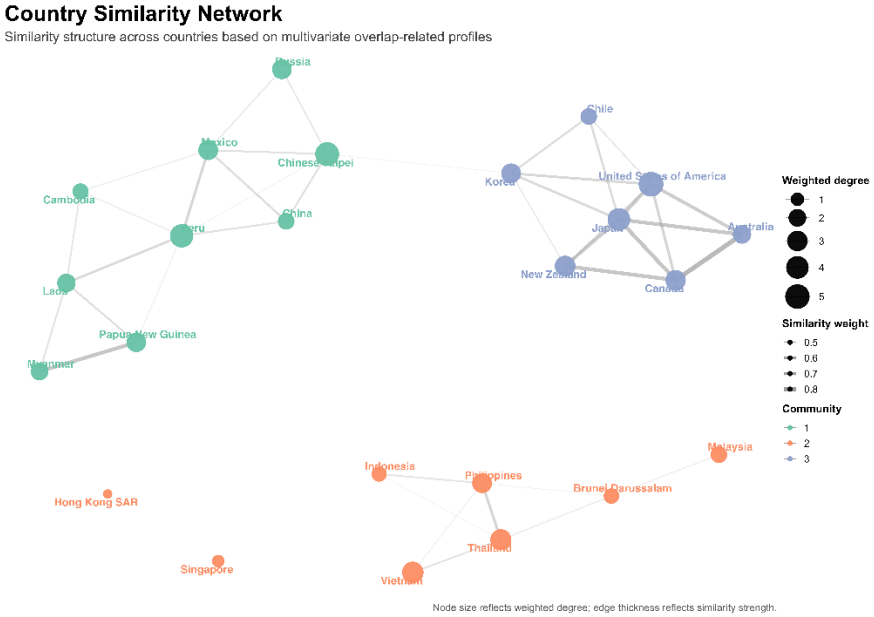


Figure 2. Country similarity network based on multivariate overlap-related profiles.

The network structure in Figure 2 deepens this claim by shifting the analysis from formal membership categories to relational proximity. Clustering around overlap-related profiles suggests that institutional position is accompanied by broader similarities in policy and governance trajectories, which strengthens the argument that overlap operates through structured interaction rather than nominal co-membership alone.

The analysis then moves from institutional position to observable outcome trajectories across the three domains.

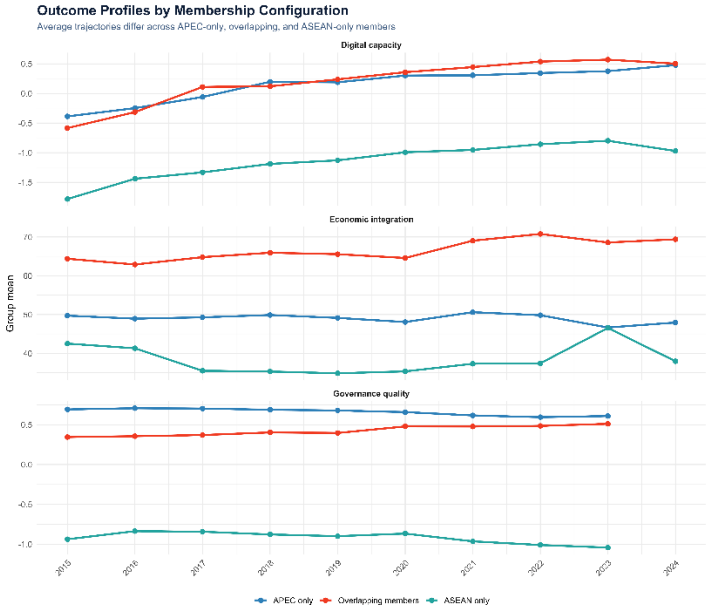


Figure 3. Outcome profiles by membership configuration, 2015-2024.

Figure 3 translates the structural pattern into observable behavioural variation. The strongest descriptive separation appears in economic integration, while governance quality exhibits a more moderate alignment and digital capacity remains comparatively unstable. This hierarchy is central to the article's argument because it indicates that overlap is not a general convergence engine but a domain-sensitive coordination environment.

4.2 Main Dynamic Panel Estimates

The dynamic panel results support a selective convergence mechanism rather than a universal one. The strongest and most robust effect of overlap exposure is observed in economic integration, where the coefficient is positive and statistically significant in the fixed-effects specification ($\beta = 0.0422$, $p = 0.0014$). Governance quality also exhibits a positive and statistically significant association ($\beta = 0.0011$, $p = 0.0028$), although its magnitude remains modest.

By contrast, the digital-capacity coefficient, while positive, fails to reach conventional significance levels ($\beta = 0.0016$, $p = 0.1059$), indicating weaker explanatory power. The correlated random-effects models reinforce this asymmetry: the economic effect remains substantively large, governance loses statistical strength after between-country adjustment, and the digital coefficient turns negative. This reversal suggests that digital outcomes are the most specification-sensitive and least stable among the three domains.

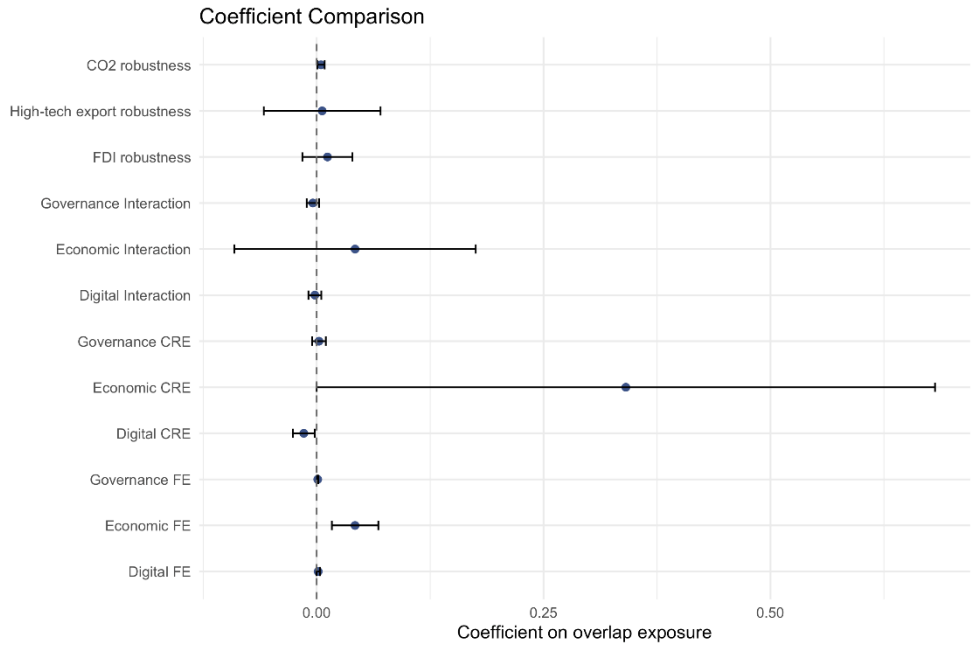


Figure 4. Estimated effect of overlap exposure across model families.

The model estimates in Figure 4 provide the main inferential test of the descriptive patterns. Their value lies not only in the positive association between overlap exposure and economic integration, but also in the unevenness of the coefficients across model families. The contrast between robust economic effects and weaker digital estimates makes the selective-convergence interpretation empirically sharper than a broad claim of regional harmonisation.

4.3 Longitudinal and Permutation Robustness

The longitudinal specifications provide a second robustness layer by examining whether the estimated relationships persist once temporal structure is modelled explicitly.

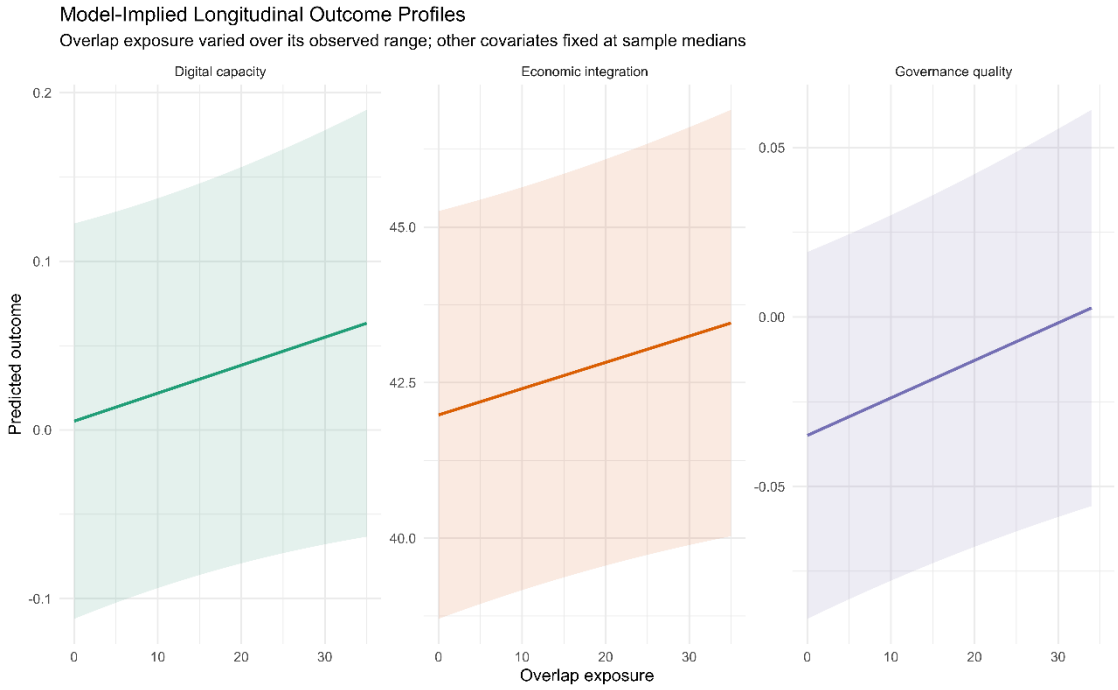


Figure 5. Model-implied longitudinal outcome profiles across the observed range of overlap exposure.

The longitudinal profiles in Figure 5 add a temporal qualification to the baseline estimates. By tracing predicted outcomes across the observed range of exposure, the figure shows whether institutional embeddedness accumulates into durable differences rather than momentary cross-sectional contrasts. The resulting pattern is again conditional: persistence is visible where overlap can plausibly reinforce repeated coordination, but it does not generalise evenly across domains.

Permutation inference then provides a stricter robustness test by comparing the observed estimates with distributions generated under randomized institutional exposure.

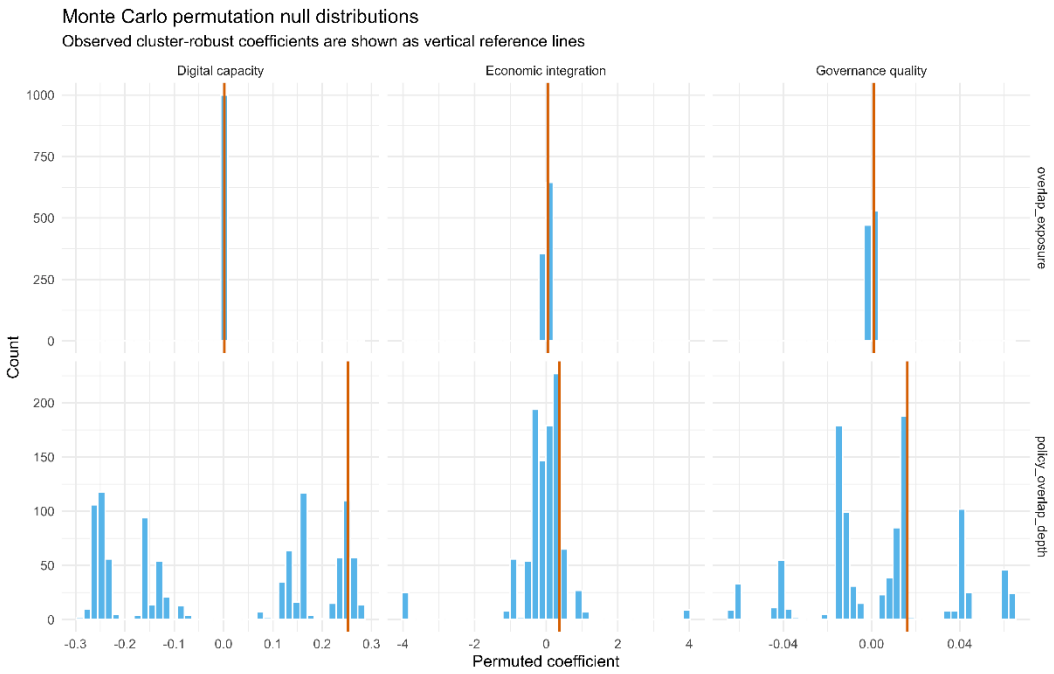


Figure 6. Monte Carlo permutation null distributions for overlap exposure and policy depth.

The permutation exercise in Figure 6 raises the evidentiary threshold by asking whether the estimated overlap effects survive comparison with randomized exposure assignments. This matters because the APEC-ASEAN case involves a small and institutionally clustered sample, where conventional significance alone may overstate robustness. The permutation results therefore lend credibility to the economic and governance findings while preserving caution about digital-capacity convergence.

4.4 Dispersion Dynamics and Additional Domain Robustness

The final robustness check shifts from average effects to dispersion, asking whether cross-country differences narrow over time rather than simply whether mean outcomes improve.

Additional robustness checks are interpreted after the dispersion evidence to avoid conflating average effects with distributional convergence.

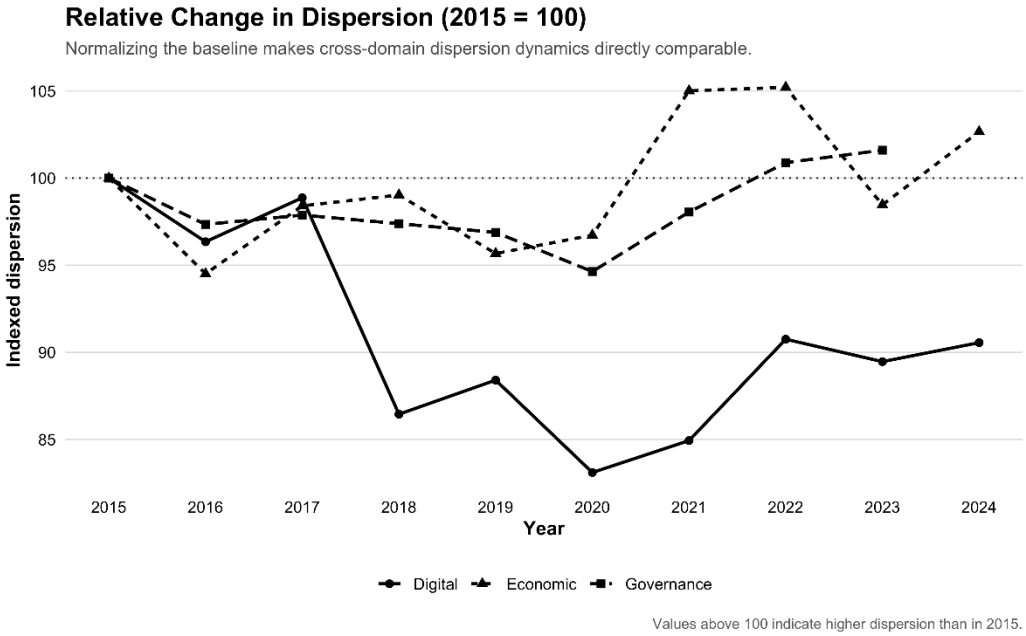


Figure 7. Relative change in cross-country dispersion (2015 = 100).

Finally, Figure 7 introduces a distributional check on the convergence claim. Declining variation in one domain does not imply systemic alignment across the regional architecture, especially when economic and governance dispersion remain comparatively persistent. This distinction prevents the analysis from conflating average treatment associations with sigma-convergence and reinforces the article's broader conclusion that overlap produces partial, uneven, and domain-bound effects.

5. DISCUSSION

Three core implications follow from the empirical results. First, the APEC–ASEAN interface should be conceptualised not as a uniform convergence engine but as a differentiated coordination environment. The findings reject the strongest version of the convergence claim by demonstrating that institutional overlap does not systematically produce cross-domain alignment. Instead, overlap exposure exerts its most consistent influence in domains where cumulative interaction can plausibly translate into structural adjustment and policy learning—most notably economic integration, and to a lesser extent governance quality. This reinforces the interpretation of convergence as conditional rather than automatic, and domain-specific rather than system-wide.

Second, the results clarify the analytical distinction between different dimensions of overlap. Structural co-membership, policy-level co-activity, and behavioural convergence do not operate as interchangeable mechanisms. The absence of robust interaction effects suggests that policy overlap depth, as measured through annual documentary co-activity, captures institutional intensity but does not uniformly amplify the behavioural consequences of cumulative exposure.

This finding cautions against treating institutional overlap as a scalar variable and instead supports a multi-layered conceptualisation in which different dimensions of overlap generate distinct empirical signatures.

Third, the sigma-convergence evidence introduces an important distributional qualification to the convergence debate. While digital capacity exhibits a clear decline in cross-country dispersion, economic integration and governance quality remain heterogeneous over time. This divergence demonstrates that convergence in mean outcomes does not necessarily imply convergence in distributions, reinforcing the need to analytically separate average effects from structural dispersion dynamics. Taken together, the results highlight that descriptive alignment, network clustering, and statistically robust convergence represent distinct analytical phenomena that should not be conflated.

These conclusions contribute directly to comparative regionalism and regime complexity scholarship. The APEC–ASEAN overlap does not represent a case of mere institutional crowding, but neither does it constitute a mechanism of universal policy harmonisation. Rather, overlapping regional architectures function as selective governance infrastructures that generate repeated opportunities for coordination, learning, and adaptation without requiring formal hierarchy or binding enforcement. At the same time, the absence of uniform convergence effects and limited sigma support across domains indicates that institutional overlap remains an incomplete and contingent mechanism, whose outcomes are shaped by issue-area characteristics, institutional design, and temporal depth.

6. CONCLUSION

This article set out to determine whether overlapping regionalism between APEC and ASEAN can be operationalised dynamically and whether such overlap is associated with observable convergence in governance outcomes. Using a harmonised panel of 24 economies over the period 2015–2024, the study demonstrates that institutional overlap can be systematically measured across structural, policy, and behavioural dimensions within a unified empirical framework.

The empirical findings support a selective-convergence interpretation. Economic integration exhibits the strongest and most consistent association with overlap exposure, while governance quality displays a smaller but statistically more stable pattern across model specifications. Digital capacity improves descriptively among overlapping members but remains inferentially fragile once stricter identification strategies are applied. Complementing these results, sigma-convergence analysis provides no evidence of uniform convergence across domains, reinforcing the conclusion that overlap-induced alignment is partial, domain-specific, and distributionally uneven.

The broader implication is that overlapping regionalism in the Asia-Pacific should be understood neither as a trivial institutional coincidence nor as a universal convergence mechanism. Instead, it operates as a differentiated coordination structure whose effects depend on functional alignment, institutional depth, and temporal accumulation of interaction. This interpretation bridges the regime complexity and policy convergence literatures by demonstrating that institutional multiplicity can produce measurable but selective governance outcomes.

Methodologically, the study contributes a multi-layer panel framework that integrates structural overlap, policy overlap depth, and dynamic exposure within a single empirical design. Substantively, it provides the first longitudinal evidence that overlapping regionalism generates observable but uneven convergence effects across governance domains.

Future research should extend this framework by incorporating measures of legal bindingness, compliance enforcement, and inter-institutional coordination to more precisely identify the causal mechanisms linking overlap to convergence. More broadly, the findings suggest that institutional overlap should be theorised as a layered and dynamic process rather than a static structural condition, with effects that are empirically detectable yet inherently conditional, heterogeneous, and sensitive to methodological specification.

REFERENCES

Acharya, A. (2001). *Constructing a Security Community in Southeast Asia: ASEAN and the Problem of Regional Order*. Routledge.

Acharya, A. (2012). Comparative Regionalism: A Field Whose Time Has Come? *The International Spectator*, *47*(1), 3-15. https://doi.org/10.1080/03932729.2012.655004

Acharya, A., & Johnston, A. I. (2007). Comparing Regional Institutions: An Introduction. In A. Acharya & A. I. Johnston (Eds.), Crafting Cooperation: Regional International Institutions in Comparative Perspective (pp. 1-31). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511491436.001

Alter, K. J., & Raustiala, K. (2018). The rise of international regime complexity. Annual Review of Law and Social Science, 14, 329-349. https://doi.org/10.1146/annurev-lawsocsci-101317-030830

APEC. (n.d.). APEC Meeting Papers and Ministerial Statements Archive. https://mddb.apec.org/pages/browseministerialstatements.aspx

ASEAN. (n.d.). ASEAN Official Documents and Key Documents Archive. https://wps.asean.org/key-documents/

Ba, A. D. (2009). Regionalism's Multiple Negotiations: ASEAN in East Asia. *Cambridge Review of International Affairs*, *22*(3), 345-367. https://doi.org/10.1080/09557570903104032

Barnett, M., & Finnemore, M. (2004). *Rules for the World: International Organizations in Global Politics*. Cornell University Press.

Beeson, M. (2008). *Institutions of the Asia-Pacific: ASEAN, APEC and Beyond*. Routledge.

Beeson, M., & Stubbs, R. (Eds.). (2012). Routledge Handbook of Asian Regionalism. Routledge.

Bennett, C. J. (1991). What Is Policy Convergence and What Causes It? *British Journal of Political Science*, *21*(2), 215-233.

Börzel, T. A. (2016). Theorizing Regionalism: Cooperation, Integration, and Governance. In T. A. Börzel & T. Risse (Eds.), The Oxford Handbook of Comparative Regionalism (pp. 41-63). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199682300.013.4

Börzel, T. A., & Risse, T. (Eds.). (2016). The Oxford Handbook of Comparative Regionalism. Oxford University Press.

Börzel, T. A., Risse, T., & Jetschke, A. (2016). Asia and the Pacific: Regional Governance in the Shadow of the State. In T. A. Börzel & T. Risse (Eds.), The Oxford Handbook of Comparative Regionalism. Oxford University Press.

Canuto, O. (2017). *Overlapping Globalizations* (Policy Brief PB-17/42). OCP Policy Center.

Chirathivat, S. (2022). China's Belt and Road Initiative and ASEAN Connectivity in Development: Can Both Bring Synergy and Opportunities Together? In S. Chirathivat, B. Rutchatorn, & A. Devendrakumar (Eds.), China's Belt and Road Initiative in ASEAN: Growing Presence, Recent Progress and Future Challenges (pp. 153-182). World Scientific Publishing. https://doi.org/10.1142/9789811241314_0006

Chirathivat, S., Rutchatorn, B., & Devendrakumar, A. (2022). *China's Belt and Road Initiative in ASEAN: Growing Presence, Recent Progress and Future Challenges*. World Scientific. https://doi.org/10.1142/12396

Dent, C. M. (2008). *East Asian Regionalism*. Routledge.

Dice, L. R. (1945). Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species. *Ecology*, *26*(3), 297-302. https://doi.org/10.2307/1932409

Eilstrup-Sangiovanni, M. (2020). Death of International Organizations: The Organizational Ecology of Intergovernmental Organizations, 1815–2015. *The Review of International Organizations*, *15*, 339-370. https://doi.org/10.1007/s11558-018-9340-5

Ermeydan, B. (2022). *Overlapping Regionalism in East Asia: A Case Study of Financial Cooperation in APEC, ASEAN and APT* [PhD thesis]. Kadir Has University.

Faude, B., & Fuss, J. (2020). Coordination or Conflict? The Causes and Consequences of Institutional Overlap in a Disaggregated World Order. *Global Constitutionalism*, *9*(2), 268-289. https://doi.org/10.1017/S2045381719000376

Ferdinand, P. (2014). Foreign Policy Convergence in Pacific Asia: The Evidence from Voting in the UN General Assembly. *The British Journal of Politics and International Relations*, *16*(4), 662-679. https://doi.org/10.1111/1467-856X.12019

Haftel, Y. Z. (2013). Commerce and Institutions: Trade, Scope, and the Design of Regional Economic Organizations. *The Review of International Organizations*, *8*(4), 389-414. https://doi.org/10.1007/s11558-012-9162-9

Haftel, Y. Z., & Lenz, T. (2022). Measuring Institutional Overlap in Global Governance. *The Review of International Organizations*, *17*(2), 323-347. https://doi.org/10.1007/s11558-021-09415-3

He, J., & Acharya, A. (2022). China, Globalization, and the Advent of the Multiplex Order: Case Studies of BRI and AIIB. In S. Chirathivat, B. Rutchatorn, & A. Devendrakumar (Eds.), China's Belt and Road Initiative in ASEAN: Growing Presence, Recent Progress and Future Challenges (pp. 23-50). World Scientific Publishing. https://doi.org/10.1142/9789811241314_0002

Heichel, S., Pape, J., & Sommerer, T. (2005). Is There Convergence in Convergence Research? An Overview of Empirical Studies on Policy Convergence. *Journal of European Public Policy*, *12*(5), 817-840. https://doi.org/10.1080/13501760500161431

Henning, C. R. (2019). Regime Complexity and the Institutions of Crisis and Development Finance. *Development and Change*, *50*(1), 24-45. https://doi.org/10.1111/dech.12472

Henning, C. R. (2023). International Regime Complexity in Sovereign Crisis Finance: A Comparison of Regional Architectures. *Review of International Political Economy*, *30*(6), 2069-2093. https://doi.org/10.1080/09692290.2023.2243957

Holzinger, K., & Knill, C. (2005). Causes and Conditions of Cross-National Policy Convergence. *Journal of European Public Policy*, *12*(5), 775-796. https://doi.org/10.1080/13501760500161357

Hooghe, L., & Marks, G. (2015). Delegation and Pooling in International Organizations. *The Review of International Organizations*, *10*(3), 305-328. https://doi.org/10.1007/s11558-014-9194-4

Jaccard, P. (1901). Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, *37*(140), 241-272. https://doi.org/10.5169/seals-266440

Jayasuriya, K. (Ed.). (2004). *Asian Regional Governance: Crisis and Change*. RoutledgeCurzon.

Jetschke, A., & Lenz, T. (2013). Does Regionalism Diffuse? A New Research Agenda for the Study of Regional Organizations. *Journal of European Public Policy*, *20*(4), 626-637. https://doi.org/10.1080/13501763.2012.762186

Jetschke, A., & Murray, P. (2012). Diffusing Regional Integration: The EU and Southeast Asia. *West European Politics*, *35*(1), 174-191. https://doi.org/10.1080/01402382.2012.631320

Katzenstein, P. J. (1997). Introduction: Asian Regionalism in Comparative Perspective. In P. J. Katzenstein & T. Shiraishi (Eds.), Network Power: Japan and Asia (pp. 1-44). Cornell University Press.

Kaufmann, D., Kraay, A., & Mastruzzi, M. (2010). The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues (Policy Research Working Paper No. 5430). World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/4e535db9-672d-5897-a6cd-feb4df55208f

Knill, C. (2005). Introduction: Cross-National Policy Convergence: Concepts, Approaches and Explanatory Factors. *Journal of European Public Policy*, *12*(5), 764-774.

Koremenos, B., Lipson, C., & Snidal, D. (2001). The Rational Design of International Institutions. *International Organization*, *55*(4), 761-799. https://doi.org/10.1162/002081801317193592

Laird, N. M., & Ware, J. H. (1982). Random-Effects Models for Longitudinal Data. *Biometrics*, *38*(4), 963-974. https://doi.org/10.2307/2529876

Mundlak, Y. (1978). On the Pooling of Time Series and Cross Section Data. *Econometrica*, *46*(1), 69-85. https://doi.org/10.2307/1913646

Panke, D., Grundsfeld, L., & Tverskoi, P. (2025). Exit from Regime Complexity? Regional International Organizations under Scrutiny. *Global Studies Quarterly*, *5*(1), ksae078. https://doi.org/10.1093/isagsq/ksae078

Panke, D., & Stapel, S. (2023). Overlapping Regionalism Around the World: Introducing the Overlapping Regionalism Dataset. *International Area Studies Review*, *26*(4), 449-463. https://doi.org/10.1177/22338659231194943

Panke, D., & Stapel, S. (2024). Multi-Level Governance. In Handbook of Regional Cooperation and Integration (pp. 417-430). Edward Elgar Publishing. https://www.elgaronline.com/edcollchap-oa/book/9781800373747/book-part-9781800373747-28.xml

Panke, D., Stapel, S., & Starkmann, A. (2020). *Comparing Regional Organizations: Global Dynamics and Regional Particularities*. Bristol University Press. https://doi.org/10.2307/j.ctv138wr7x

Phipson, B., & Smyth, G. K. (2010). Permutation P-values Should Never Be Zero: Calculating Exact P-values When Permutations Are Randomly Drawn. *Statistical Applications in Genetics and Molecular Biology*, *9*(1), 1-16. https://doi.org/10.2202/1544-6115.1585

Raustiala, K., & Victor, D. G. (2004). The Regime Complex for Plant Genetic Resources. *International Organization*, *58*(2), 277-309. https://doi.org/10.1017/S0020818304582036

Ravenhill, J. (2001). *APEC and the Construction of Pacific Rim Regionalism*. Cambridge University Press.

Reinsberg, B., & Westerwinter, O. (2023). Institutional Overlap in Global Governance and the Design of Intergovernmental Organizations. *The Review of International Organizations*, *18*(3), 693-724. https://doi.org/10.1007/s11558-023-09488-2

Risse, T. (2016). The Diffusion of Regionalism. In T. A. Börzel & T. Risse (Eds.), The Oxford Handbook of Comparative Regionalism (pp. 87-108). Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199682300.013.6

Sala-i-Martin, X. X. (1996). The Classical Approach to Convergence Analysis. *The Economic Journal*, *106*(437), 1019-1036. https://doi.org/10.2307/2235375

Sørensen, T. A. (1948). A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analyses of the Vegetation on Danish Commons (Biologiske Skrifter, No. 5, pp. 1-34). Kongelige Danske Videnskabernes Selskab.

Suzuki, M. (2024). Introduction: The Rise of Formal Institutions in the Asia-Pacific Region Through Competitive Regime Complexity. *International Relations of the Asia-Pacific*, *24*(3), 367-397. https://doi.org/10.1093/irap/lcae012

Webber, D. (2001). Two Funerals and a Wedding? The Ups and Downs of Regionalism in East Asia and Asia-Pacific After the Asian Crisis. *The Pacific Review*, *14*(3), 339-372. https://doi.org/10.1080/09512740110064839

World Bank. (n.d.). World Development Indicators. https://datacatalog.worldbank.org/search/dataset/0037712/world-development-indicators

Yeo, A. (2019). Asia's Regional Architecture: A Historical-Institutional Perspective. In Asia's Regional Architecture: Alliances and Institutions in the Pacific Century (pp. 1-24). Stanford University Press. https://doi.org/10.11126/stanford/9781503608443.003.0001

Yeo, A. I. (2018). Overlapping Regionalism in East Asia: Determinants and Potential Effects. *International Relations of the Asia-Pacific*, *18*(2), 161-191. https://doi.org/10.1093/irap/lcw015

Zhao, S. (2013). From Soft to Structured Regionalism: Building Regional Institutions in the Asia-Pacific. *Journal of Global Policy and Governance*, *2*(2), 145-166. https://doi.org/10.1007/s40320-013-0043-2

Zürn, M. (2018). *A Theory of Global Governance: Authority, Legitimacy, and Contestation*. Oxford University Press.

YEŞİL MUTABAKAT SÖZLEŞMESİ ÇERÇEVESİNDE SINIRDA KARBON DÜZENLEMESİNİN AB ENERJİ GÜVENLİĞİNE OLAN POLİTİK EKONOMİ AÇISINDAN ETKİSİ VAKA ÇALIŞMASI: ALMANYA VE FRANSA

THE POLITICAL ECONOMY IMPACT OF THE CARBON BORDER ADJUSTMENT MECHANISM ON EU ENERGY SECURITY WITHIN THE FRAMEWORK OF THE EUROPEAN GREEN DEAL: A CASE STUDY OF GERMANY AND FRANCE

Prof. Dr. Arzu AL
Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3287-3661

Sadiye Tuğba KENDİRLİ HOROZ
Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3006-4534

ÖZET

Bu çalışma, Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması'nın (CBAM), Avrupa Birliği'nin enerji güvenliği üzerindeki etkilerini, Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde politik ekonomi perspektifinden analiz etmekte; Almanya ve Fransa örnekleri üzerinden karşılaştırmalı bir inceleme sunmaktadır. Araştırma, üç temel eksen etrafında yapılandırılmıştır: çevre hukukunun tarihsel gelişimi ve kurumsallaşma süreci, enerji güvenliği kavramının teorik çerçevesi ve CBAM sonrası seçili Avrupa Birliği üyesi devletlerde enerji güvenliği dinamiklerinin dönüşümü.

Çalışmanın ilk bölümünde, çevre hukukunun erken normatif temellerinden günümüzde Avrupa Birliği bünyesinde kurumsallaşmış yapısına kadar geçirdiği evrim ele alınmakta; iklim yönetişiminin ekonomik ve düzenleyici mekanizmalarla giderek daha fazla bütünleştiği vurgulanmaktadır. İkinci bölümde ise enerji güvenliği kavramı; arz çeşitliliği, maliyet etkinliği ve sistem dayanıklılığı gibi temel bileşenler çerçevesinde, değişen küresel enerji piyasaları bağlamında incelenmektedir.

Bu teorik çerçeve üzerine inşa edilen analizde, CBAM'ın ticaret yapıları üzerindeki etkileri, karbon maliyetlerini artırıcı rolü ve daha temiz enerjiye geçişi teşvik edici yönü üzerinden Avrupa Birliği'nde enerji güvenliğini nasıl yeniden şekillendirdiği değerlendirilmektedir. Almanya ve Fransa örnekleri üzerinden gerçekleştirilen karşılaştırmalı analiz, ülkelerin enerji karmaları ve politika tercihleri doğrultusunda farklılaşan tepkilerini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Almanya'nın dışa bağımlı enerji yapısı ve dönüşüm sürecindeki zorlukları ile Fransa'nın nükleer enerji temelli görece istikrarlı konumu öne çıkmaktadır.

Elde edilen bulgular, CBAM'ın uzun vadede Avrupa Birliği'nin enerji güvenliğini güçlendirme ve iklim hedeflerine katkı sağlama potansiyeline sahip olduğunu; ancak kısa vadede özellikle enerji yoğun sektörler açısından ekonomik baskılar ve politik uyum maliyetleri yarattığını göstermektedir. Çalışma, CBAM'ın enerji güvenliğine katkısının, politika uyumu, kurumsal kapasite ve üye devletlerin değişen düzenleyici çerçeveye uyum sağlama yeteneklerine bağlı olduğunu ileri sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması, Enerji Güvenliği, Avrupa Yeşil Mutabakatı, Politik Ekonomi, Avrupa Birliği

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) on the European Union's energy security from a political economy perspective within the framework of the European Green Deal, offering a comparative assessment through the cases of Germany and France. The research is structured around three main axes: the historical evolution and institutionalization of environmental law, the theoretical framework of energy security, and the transformation of energy security dynamics in selected EU member states in the post-CBAM period.

The first section examines the evolution of environmental law from its early normative foundations to its current institutionalized structure within the European Union, emphasizing the increasing integration of climate governance with economic and regulatory mechanisms. The second section explores the concept of energy security in the context of changing global energy markets, focusing on its core components such as supply diversification, cost efficiency, and system resilience.

Building on this theoretical framework, the analysis evaluates how CBAM reshapes energy security in the European Union by influencing trade structures, increasing carbon costs, and incentivizing the transition to cleaner energy sources. The comparative analysis of Germany and France reveals differentiated responses shaped by their respective energy mixes and policy preferences. In this context, Germany's externally dependent energy structure and the challenges it faces during the transition process stand in contrast to France's relatively stable position based on nuclear energy.
The findings suggest that CBAM has the potential to strengthen the European Union's energy security and contribute to its climate objectives in the long term; however, in the short term, it generates economic pressures and policy adjustment costs, particularly for energy-intensive sectors. The study argues that the contribution of CBAM to energy security ultimately depends on policy alignment, institutional capacity, and the ability of member states to adapt to the evolving regulatory framework.
Keywords: Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM), Energy Security, European Green Deal, Political Economy, European Union

YEŞİL MUTABAKAT SÖZLEŞMESİ ÇERÇEVESİNDE SINIRDA KARBON DÜZENLEMESİNİN AB ENERJİ GÜVENLİĞİNE OLAN POLİTİK EKONOMİ AÇISINDAN ETKİSİ VAKA ÇALIŞMASI: ALMAYA VE FRANSA

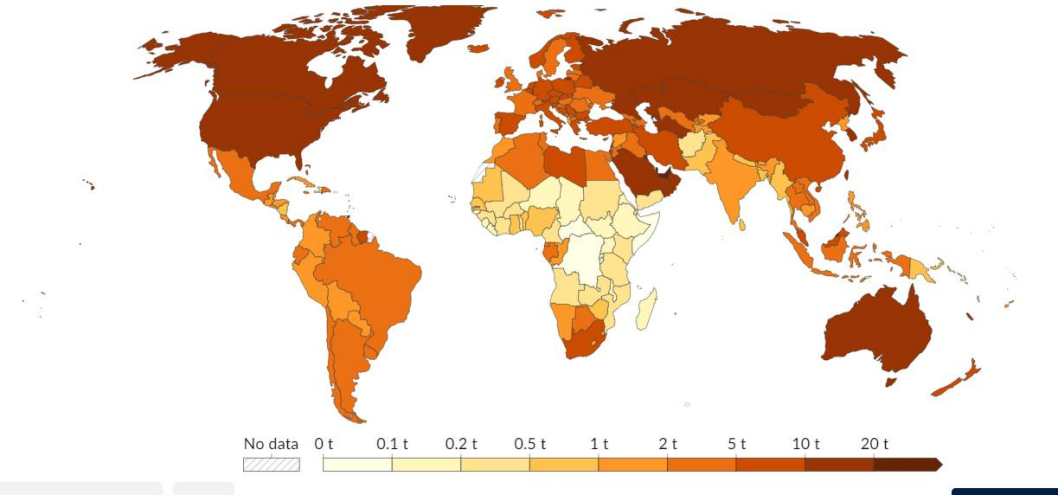
Dünya üzerinde 2020 yılında gerçekleşen karbon salınımı miktarı toplam 34 milyar 810 milyon ton olarak kaydedilmiştir. Bu oranın %50'sinden fazlasını üç büyük ülke salgılamaktadır: Çin, ABD ve Hindistan (AA, 2022). En fazla karbonu salınımına neden olan Çin yıllık 11 milyon ton karbon salınımı yaparken ikinci sırada Çin' i takip eden ADB' nin karbon salınım miktarı 5 milyondur. Yani Çin tek başına dünyanın karbon salınımının %30' una yakınını oluşturken Çin' den hemen sonra ikinci sırada elen ADB' nin neredeyse 2,5 katı karbon salınımı yapmaktadır.
İlk önce cevaplanması gereken soru şudur; "*Karbon salınımı ne demektir?"*
Karbon salınımı gazların atmosferde asılı kalarak, hava sirkülasyonlarının engellenmesine, atmosferik faaliyetlerin yavaşlamasına, atmosferde radikallerin oluşmasına ve atmosferin özelliklerinin bozulmasına neden olarak küresel sorunlara yol açan bir kimya olayıdır (Kılınç,Altıparmak, 2020). Dünyanın yaşam döngüsüne bu gibi zararlı olan karbon salınımının önüne geçebilmek için küresel bazda önlemler alınmaya çalışılıyor. Çeşitli örgütler, transnasyonel ve supranasyonel yapılar ülkeleri bağlayıcı anlaşmalar yaparak belirli bir sanayi, nakliyat ve enerji kullanım standartları oluşturmaya çalışıyorlar. Makalenin ilerleyen bölümlerinde yer verilecek bu sözleşmelerin yaptırımları tartışmalı olsa da bu makalede değineceğimiz supranasyonel bir yapı olarak Avrupa Birliğinin taraf olduğu yeşil mutabakat çerçevesinde uygulamaya alacağı sınırda karbon düzenlemesinin Avrupa Birliği üyesi olan Almanya ve Fransa gibi enerji talepleri Avrupa içerisinde hem nufüs dağılımı fazla olan hem de ağır sanayilerini gelişmiş iki ülkesi açısından bakıldığında enerji güvenlikleri iin ne anlama geldiği analiz edilecektir.
2021 yılında Avrupa'dan elektrik ihracatının toplamı 55,5 milyar ABD dolarına ulaştı. Almanya, o yıl 9,88 milyar ABD doları aşan ihracatıyla bölgenin ve dünyanın en büyük elektrik ihracatçısıydı. Fransa ise 8,5 milyar ABD dolarlık ihracatla ikinci sırada yer aldı (statista,2023). Almanya'nın tek yerli enerji kaynağı linyittir. Linyit ise Almanya' nın elektrik ihtiyacını karşılayacak yeterlilikte değildir. Linyitin elektrik üretimine katkısı ise %9' dur. Bu durum da Almanya' nın doğalgaza bağlılığını dolaylı olarak ise Rus gazına bağımlılığını arttırmıştır. 2021 başlayan Rusya- Ukrayna savaşı ile Rusya' ya uygulanan ambargo ve ardından 2023 yılında sınırda karbon düzenlemesinin devreye girmesi ile enerji ihtilatında yaşanacak maliyet artışları Almanya' nın halihazırda sağlayamadığı enerji güvenliği politikaları 21.yy' ın başında meydana gelen hem ekonomik hem de politik olaylarla iyice zora düşmüştür (Economist, 2022). Fransa ise konjonktür gereği Almanya' dan daha şanslı görünmektedir. Fransa elinde bulundurduğu nükleer enerji kaynağı Fransa' yı enerji güvenliği açısından daha elverişli konuma sokmuştur. Bununla birlikte şunu da yadsımamamız gerekmektedir; nükleer santların alternatifi ise yerli ve ithal kömür kaynaklarıdır. Yani yeşil mutabakatın getirdiği karbon düzenlemesi ve fosil yakıtların yerinin yenilenebilir kaynakların alacağına göre yapılan anlaşmaya rağmen "gelişmiş" Avrupa ülkelerinin alternatiflerinin hala fosil kaynalara dayanıyor olması ve sınırda karbon uygulaması ile enerji (çoğunluk elektrik) ithalat yapılan ülkelere fosil yakıt kullanma yasağı getiren bir düzenleme ile yaptırım uygulaması çifte standarta neden olmaktadır.

ÇEVRE HUKUKUNUN TARİHÇESİ VE KURUMSALLAŞMASI

Çevreye ilişkin bilimsel araştırmalar, ekosistemin düzenin bozulması, fabrika üretimlerinin yerüstü ve yeraltı sularını kirletmesi gibi faktörlerin insan hayatını etkiler boyuta gelmesi ya da bir başka deyişle insanlığın bu durumu kavraması ve harekete geçmesi 1970' ler itibariyle olmuştur. 18.yy sanayi devrimini düşünürsek 20.yy' a kadar elle tutulur bir aksiyon alabilmek için aksiyona geçilememesi insanlığın oldukça geç kaldığı anlamına gelmektedir. Çevresel araştırmaların başlangıcı ve çevresel kanunların ortaya çıkışı hakkında kısaca bilgi verecek olursak; ilk araştırmalar 1972' de Stockholme' de gerçekleşen BM İnsan Çevresi Konferansı ile başlamış sayılmaktadır. Konferansın açtığı yolu takip eden süreçte ancak 15 yıl sonra 1987' de BM bir komisyon kurmaya karar verdi ve Çevre ve Kalkınma komisyonu kuruldu. Komisyonun en önemli çıktısı ise Brundtland raporu olmuştur. Brundtland raporunda bugün herkesin bildiği "sürdürülebilir kalkınma" kavramını ilk defa o raporda ortaya atmıştır (Gündüz, 2014). 1987' de komisyonun kurulması ile çevrenin korunmasına karşı alınan kararlar hızlandırılmış oldu. 1992' de Brezilya' nın Rio de Jenario şehrinde 172 ülkenin katıldığı bir çevre konferansu düzenlenmiştir. Rio konferansı çevre hukuku ve devletlerin bu hukuka riayet etme istekleri için bir dönüm noktası olmuştur. Bunun sebebi ise Rio' da üç farklı sözleşme imzaya açılmıştır. Bunlar aşağıdaki şekildedir:

1. Birleşmiş Milletler Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi,
2. Birleşmiş Milletler Çölleşme ile Mücadele Sözleşmesi,
3. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi' dir.

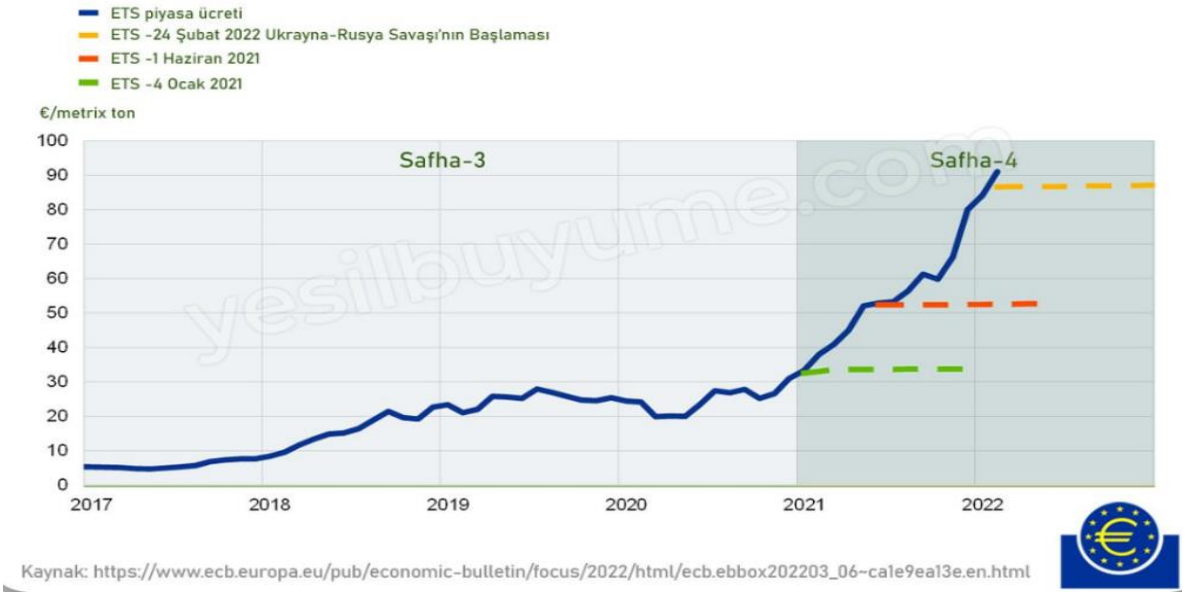
1972 ve 1987 süreçleri devletlerin bir araya geldiği araştırma grubu ve komisyonlardan oluşurken 1992 itibariyle bu durum devletlerin kendi rızalarıyla kendilerini bağladıkları sözleşme hükümlerine dönüşmüştür. Bu sözleşmelerin bağlayıcılığı veya sözleşme kurallarına riayet edilmediğinde uygulanacak bir yaptırım olmadığından her ülke kendi alanından sorumludur. Bu durum da ülkeden ülkeye değişse de kurallara uyulup uyulmadığını denetleyen bir mekanizmadan yoksun olduğuna bağlanmaktadır. Ülkelerin iç hukuklarına yansıttığı çevre kanunları yine ülke özelinde değişmekle beraber en önemli olan konu yaptırımlar da sınırlıdır. 1990' lara kadar dünyadaki emisyon oranlarının atılan adımlara rağmen arttığı gözlemlenmiştir. Artan emisyon oranları aşağıdaki grafikte ve haritada görüleceği gibi kuzey yarımküredeki sanayisi gelişmiş ve enerjisini fosil yakıtlara dayandıran, petrol sondaj çalışmaları çoğunlukta olan ülkelerde yoğunlaşmıştır (Avustralya güney yarım küredeki bir istisnadır.) Aşağıda karbon yoğunluğu olan bölgelerin haritalandırılmış hali yer almaktadır.



Görsel 1. Coğrafya Bazlı Karbon Salınım Yoğunluğu Dağılımı Per/Ton (Ritchie, 2022)

Bununla birlikte çevre için mücadele istikrarlı bir şekilde devam etmiş ve 1997 yılında Kyoto' da üçüncü taraflar toplantısı yapılmıştır. Bugün hepimizin COP (Conference of Parties) olarak bildiği konferanslar dizisinin üçüncüsü Kyoto' da yapılmıştır. Kyoto protokolünün ise en önemli özelliği yürürlüğe girebilmesi için protokolü 1990 yılında ölçülen CO2 emisyon miktarından sorumlu ülkelerin en az %55' nin imzalamak zorunda olmasıdır. Bu şart da göstermektedir ki protokolün kayda değer aksiyonlar alabilmesi için emisyondan sorumlu ülkelere imzalatılarak taraf olmasını sağlamaktır.

Sonuç olarak protokol 2005 yılında Rusya' nın protokole taraf olmasıyla yürürlüğe girmiştir (Gündüz, 2014). COP serileri yıllardır devamlılık göstermektedir. Karbon nötr kavramı ise Paris İklim Sözleşmesi ile kesin karara bağlanmıştır. 2015 yılında yapılan BMİDÇS COP21' de Paris sözleşmesine imza atan ülkeler 2053 yılı itibariyle ülkelerin kendi kontrol alanları içerisinde emisyonun sıfırlanması hedefine imza atmışlardır. Bu COP toplantılarında atılan en büyük adımlardan bir tanesidir. Fakat burada da anahtar kelime "ülkelerin kendi kontrol alanlarındaki" olmaktadır. Burada amaçlanan elbetteki tüm ülkelerin antlaşmaya taraf olması ve akabinde sözleşme şartlarına riayet edilmesidir. Fakat ülkelerin kalkınmışlık düzeyi, iç kanunları bunların hedeflenen düzeyde gerçekleşmesinin önüne geçebilmektedir. Paris sözleşmesinden on yıl geriye gidecek olursak 2005 yılında Avrupa Karbon Emisyonu Ticaret sistemini devreye almıştır. Bu sistem ile AB sınırları içerisinde karbon her bir ton karbon salınımı, bu salınımdan sorumlu olan işletme tarafında elindiği bulundurduğu sertifika ile sınırlı olacaktı. Eğer sertifikasından fazla salınım yapan ya da yapma planı olan üretim tesisleri piyasadan karbon hakkı toplayacaklardı. Bu mekanizma kendi içlerinde soru işaretleri yaratsa da uzun vadede AB ülkeleri içerisinde tam anlamıyla uygulanabilir hale geldi.
Bununla birlikte AB ets mekanizması içine karbon sertifika fiyatlarının artması bu mekanizmaya tabi olan AB üyesi ülkelerde bulunan karbon emisyonundan sorumlu üretim sektörleri (enerji, çimento vb.) AB' ye bu mekanizma dışında kalan ülkelerden alınan ithalat ürünleri ile fiyat anlamında yarışamayacak düzeye gelmiştir. Bununla da kalmamış çeşitli fabrikalar mekanizma dışında kalan göreceli olarak ekonomik anlamda daha az kalkınmış ülkelere taşınmaktadır. Bu da AB içerisinde istihdamı ve para dengesini bozarken Paris sözleşmesinde de taahhüt edildiği gibi karbon- nört bir dünya oluşturmanın önünde engel teşkil etmektedir. ETS mekanizmasının içindeki serbest piyasada belirlenen karbon fiyatları ise aşağıdaki grafikte de görüleceği gibi dünyadaki siyasi gelişmelere karşı aynı petrol ve ürünlerde olduğu gibi direnç göstermemesi yaşınılan kriz, savaş, siyasi anlaşmazlık gibi durumlar da yukarı ivmelenerek reaksiyon göstermesi AB sanayisini diğer bölgelerdeki rakiplerine karşı zor duruma düşürmektedir.



Görsel 2. ETS Karbon Fiyat Değişimi CO2/ ton (European Cental Bank, 2023)

Bu fiyat artışlarını takiben ise 2019 yılında Avrupa Yeşil Mutabaktı yayınlandı (Ticaret Bakanlığı, 2023). Yeşil mutabakatın en ses getiren düzenlemesi ise Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması ve Sürdürülebilir Ürün İnisiyatifi olmuştur. Sınırda karbon düzenleme mekanizması (CBAM) ile AB ülkelerine üçüncü ülkelerden ithal edilen özellikle demir, çelik, ısı, güç, elektrik, gübre, çimento gibi karbon yoğun ürünlerden karbon vergisi alınması kararlaştırılmıştır. Bu vergi sistemi üç aşamalı olacaktır. İlki direkt olarak üretim aşamasında salgılanan karbon, ikinci olarak elektrik üretimi gibi fosil fuel kullanılarak üretilen mamülllerin kullanılmasıyla dolaylı olarak salgılanan karbon ve son olarak ise bu ürünlerin tedariği aşamasında kullanılmasından kaynaklı salınan karbondur. (Jackman, 2023)

Bu makalede kapsamında üzerinde durulacak konu düşünüldüğünde enerji güvenliği kavramı kapsamında ikinci aşama oldukça önemlidir. Çünkü, CBAM' nın karbon vergisi uygulayacağı alanlar arasında enerjinin de olması birçok anlamda enerji kaynakları açısından dışa bağlı AB üyesi ülkeyi ekonomik anlamda dar boğaza sokacaktır. Bir sonraki bölümde detaylı anlatılacak olan enerji güvenliği kavramı CBAM' nın uygulanabilirliğini zor duruma düşüreceği gibi elektrik ve enerji ithalatı yapan AB üyesi ülkeleri yeni bir enerji politikası izlemeye itebilir.

ENERJİ GÜVENLİĞİ KAVRAMI

Avrupa komisyonu ve uluslararası enerji ajansının yaptığı tanıma göre enerji güvenliği;
"Enerjinin uygun fiyatlı, güvenilir ve çevre dostu olarak tedarik edilmesidir." (Sascha, 2007)
Diğer bir deyişle enerji güvenliği; enerji tedariğinin sürdürülebilirliğini ve devamlılığını sağlamak anlamına gelmektedir. Tabi ki burada önemli olan tedariğin sürdürülebilir kaynaklardan elde edilmesidir. Enerji güvenliğinin ortaya çıkışı 1973 petrol kriziyle olmuştur. Arap ülkelerinden petrol tedariği yapan Avrupa ülkeleri ve artan petrol fiyatları ile tedariği azalan diğer ülke olan ABD' nin hem lojistiğin hem de enerji üretiminin bel kemiği olan petrol ve fosil yakıtlarındaki fiyat artışları batıyı enerji güvenliliğinin gerekliliği için önlem almaya itmiştir. Hisham Khatib enerji güvenliğini sağlamlaştırmak için göz önünde bulundurulması gereken faktörleri aşağıdaki şekilde belirtmiştir (Khatib, 2000).

1. İthal edilecek enerjiye ulaşmak için her türlü limanlar, baro hatları gibi fiziksel ve antlaşmalar gibi regülatif düzenlemenin yapılması.
2. Yüksek talep, krizler ve beklenmeyen kesintiler göz önünde bulundurularak yeterli stokların tedarik edilmesi.
3. Yenilenebilir enerji kaynaklarını teşvik etmek.
4. Çevresel konularda yeteri kadar özenli olunması. Kaynakların dikkatli kullanılması.
5. Tedarik kaynaklarının bir sepet oluşturulacak şekilde çeşitlendirilmesi. Enerji kaynağının tek bir hammaddeye dayanmasının önlenmesi.

Khatib' in bu önlemlerine ek olarak eklenmesi gereken en önemli tedbir enerji tüketiminin kontrol altına alınması. Tüketiciyi bilinçlendirerek enerji tasarrufunun sağlanması. Aksi durumda Rusya-Ukrayna krizi sonrası Almanya' nın Rusya' ya uyguladığı amborga akabinde Rusya' nın Ukrayna üzerinden geçen ve Almanya' ya kadar gaz tedariği sağlayan boru hatlarının kapatılması ile enerji tedariğinde yaşadığı zorluğun akabinde Almanya' da yaşayan enerji tüketicilerini (sanayi, mesken topyekum olacak şekilde) enerji tasarrufu yapmaları yönünde teşviklerinin istenilen seviyeye ulaşamamış olması kayda değer bir örnektir.

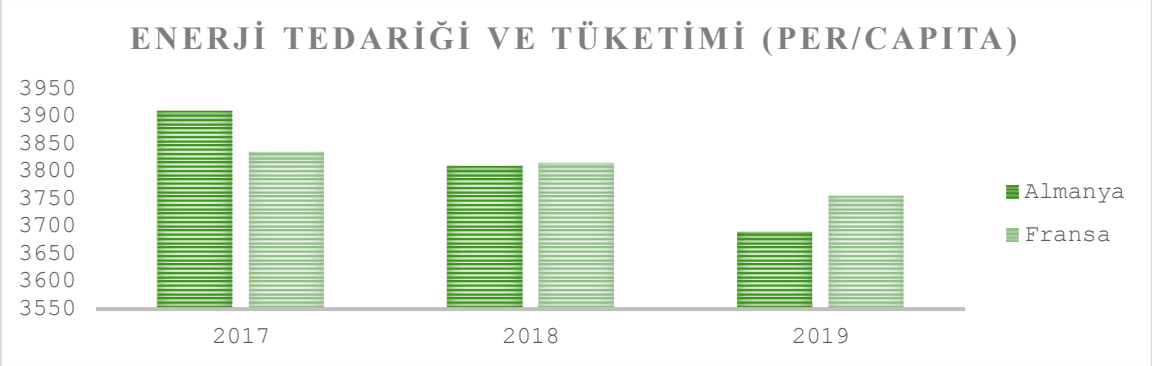
SINIRDA KARBON DÜZENLEMESİ SONRASI ENERJİ GÜVENLİĞİ: ALMANYA & FRANSA

Eurostat verilerine göre Avrupa Birliği üye ülkelerinin emisyon oranları 2005 emisyon ticaret mekanizması uygulaması yürürlüğe girdiğinden bugüne yıl bazında azalmıştır. Bununla birlikte aşağıdaki grafikte görülen 2019-2020 yıllarındaki düşüş grafikte bir anomali yaratmakla birlikte tamamen covid 19 pandemisi dönemindeki enerji talebinin azalması ile oluşmaktadır. Bu arada dış faktör olan pandemi dönemini atlamamamız gerekiyor. 2021 yılına gelindiğinde pandemi tedbirlerinin azalması ve enerji talebinin neredeyse eski seviyelerine ulaşması ile beklenen bir artış gözlemlenmektedir. Yine de grafiği doğru okuyacak olursak yıl bazlı azalış 2021 yılında da devam etmiştir.



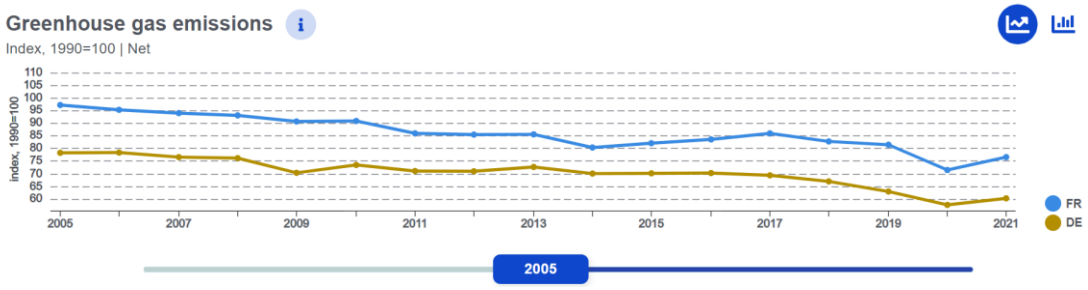
Grafik 1. Avrupa Birliği Sınırları Dahilinde Seragazı Emisyonu Salınım Endeksi (Eurostat, 2023)

Avrupa' nın en büyük iki ekonomisi dolasıyla enerji talebi en fazla olan ülkeleri Fransa ve Almanya olduğundan bu çalışma özellikle bu iki ülkenin sınırda karbon düzenlemesi göz önünde bulundurulduğunda enerji güvenliği sisteminin nasıl reaksiyon vereceği önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada analiz için özellikle bu iki Avrupa ülkesi seçilmiştir. Verileri doğru değerlendirmek adına ilk olarak her iki ülkenin de enerji tedariği ve tüketimi verilerine bakılması gereklidir. Aşağıdaki grafikte iki ülkenin de yıllık bazda gelir endeksli enerji tüketimine bakıldığında birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Tüketim ve tedarik şartları yakın, miktarları ise neredeyse eşit olan iki ülkenin karşılaştırması bu durumda sağlıklı yapılabilecektir.



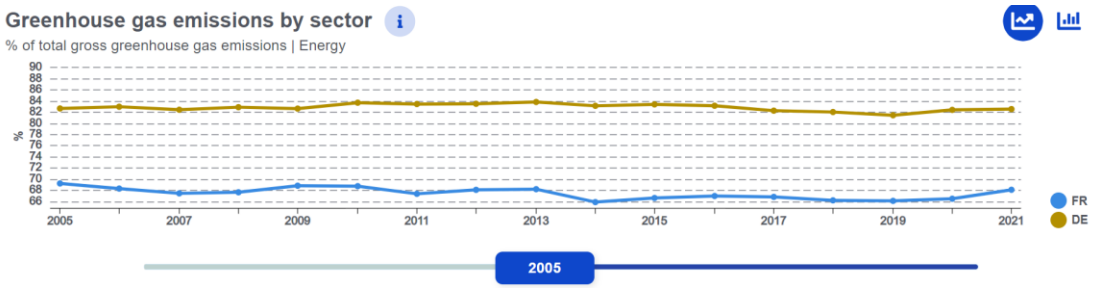
Grafik 2. Almanya ve Fransa için Enerji Tedariği ve Tüketimi (Per/Capita) (Eurostat, 2023)

İkinci olarak iki ülkenin de karşılaştırmalı olarak emisyon oranlarına bakmamız gerekir. Aşağıdaki grafik 3' te de görüleceği gibi Avrupa bütün üye ülkeler için tek bir regülasyon belirlediğinden bu iki ülkenin de emisyon oranlarındaki artış ve azalış paralel olarak ilerlemiştir. Bununla birlikte yine aşağıdaki grafikte de görüldüğü üzere Fransa' nın emisyon oranının yaklaşık olarak %40 Almanya' ya oranla daha fazla olduğunu görebiliriz. Bunun en büyük sebebi ise Fransa' nın petrole dayalı enerji kaynağı Almanya' nın yaklaşık olarak iki katı olmasıdır.



Grafik 3. Fransa ve Almanya Seragazı Emisyonu Salınım Endeksi (Eurostat, 2023)

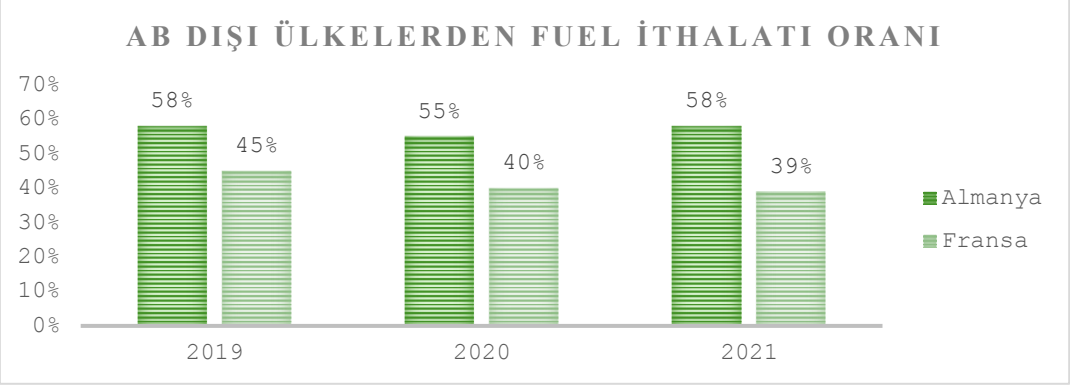
Yukarıda da belirtildiği gibi Fransa' nın petrol kaynaklarını enerji üretiminde Almanya' ya göre daha fazla kullanması dolayısıyla emisyon değerlerinin yüksek çıkması durumu açıklıyor gibi görünse de önemli ve şaşırtıcı olan bir nokta da grafik 4' te görüleceği gibi enerji üretim kaynakları düşünüldüğünde Almanya' nın Fransa' dan daha fazla emisyona sebep olmasıdır.



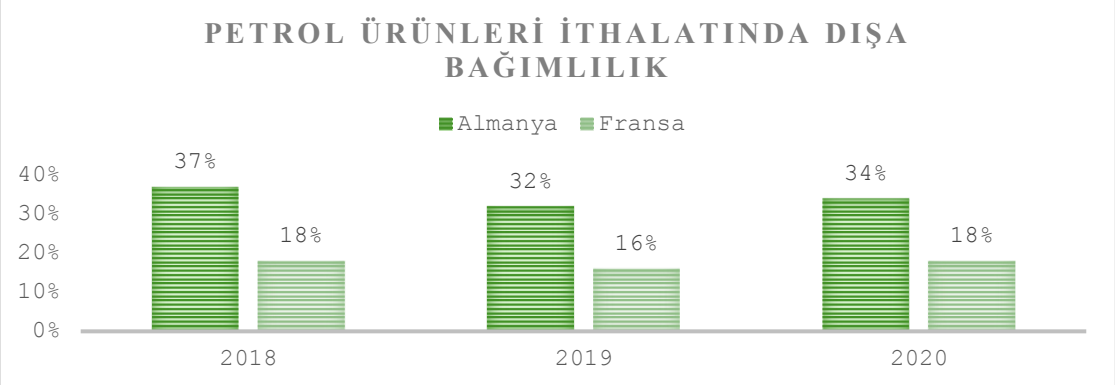
Grafik 4. Fransa ve Almanya Sektör Bazlı Seragazı Emisyonu Salınım Endeksi (Eurostat, 2023)

Bunun açıklaması ise şu şekilde olmalıdır: Fransa her ne kadar petrol ve türevlerini enerji üretiminde kullansa da sahip olduğu Nükleer kaynak ile enerji ihtiyacının neredeyse yarına yakın bir miktarını tedarik etmektedir.buna ilave olarak %16 yenilenebilir kaynak etkisini de eklediğimizde neredeyse %56 oranında enerji tedariğini güvenilir ve emisyonu neredeyse sıfıra yakın kaynaklardan sağladığı görülmektedir. Nükleer enerji santrallerilerini bazı kaynaklar yenilenebilire soksa da tartışma hala devam etmektedir. Buradan şu sonuç çıkartılabilir: verilen 2021 yılının verileri olduğundan 2023 yılında Fransa' nın taraf olduğu iklim antlaşmaları gereği yenilenebilir gücün arttığını düşünecek olursak Fransa enerji tedariğinin yarısından fazlasını iç kaynaklardan karşılamaktadır. Yani enerji güvenliğinin önemli şartlarından biri olan kaynak çeşitliliği ve sürdürülebilirliği sağladığı gibi dışa bağımlılığı da azaltmıştır. Almanya ise Fransa' yı yenilenebilir kaynaklar konusunda yakalamış olsa da enerji kaynaklarını çoğunluklu olarak konvansiyonel kaynaklara dayandırmaktadır. Aşağıdaki grafiklerde detaylı şekilde gördüğümüz kaynak dağılımı Almanya enerji kaynağının %30' una yakınını doğal gazdan tedarik etmektedir. Bu doğal gazın ise %32' sini Rusya' dan tedarik etmektedir (Vera Eckert, 2022). Kısacası Ukrayna-Rusya savaşında özellikle Almanya' nın yaşadığı enerji krizini düşünecek olursak Almanya henüz enerji güvenliği şartlarının uzağındadır.

Yukarıda da değinildiği üzere enerji güvenliğinin olmazsa olmaz şartı ülkelerin enerjilerini kendi kaynaklarından tedarik ederek dışa bağımlılığı azaltmaktır. Sınırda karbon uygulaması geçildiğinde elektrik ve petrol kaynaklarının ithalatından alınacak vergiler en çok dışa bağımlı olan ülkeleri etkileyecektir. Bizim araştırma konumuz olan Fransa ve Almanya arasında yapacağımız karşılaştırmada görüleceği üzere Almanya bu konuda Fransa' dan yaklaşık %10 kadar daha fazla dışa bağımlıdır. Özellikle petrol ve türevleri konusunda yaşanan bu bağımlılık sınırda karbon uygulaması ile üçüncü ülkelere bindirilecek vergi yükümlülüğü ile Almanya' nın enerji fiyatlarında gözle görülür artışlara neden olacaktır. Buna karşın grafik 5 ve Grafik 6' da da görüleceği üzere Fransa ise her yıl üçüncü ülkeye bağımlılığını azaltmaktadır. Bunun nedeni ise artan nükleer üretimi ve yenilebilir kurulu gücüdür. Almanya dışa bağımlılıkta Fransa' nın 2 katı bir yüzdelik dilime sahiptir. Bu durumda da Almanya sınırda karbon uygulaması ile enerji güvenliğinin bir diğer şartı olan fiyat ve tedarik güvenliğini sağlamakta zorlanacaktır.



Grafik 5. AB Dışı Ülkelerden Fuel İthalatı Oranı (Eurostat, 2023)



Grafik 6. Petrol Ürünleri İthalatında Dışa Bağımlılık Oranı (Eurostat, 2023)

Kısacası enerji güvenliğinin yapı taşları olan fiyat, enerjiye erişebilirlik ve tedariğin güvenliği açısından Fransa enerji üretiminde hem yenilenebilirin hem de nükleer enerji ile bu yapı taşlarını sağlam oluşturmuşa benziyor. Almanya ise enerji kaynaklarının çoğunlukla konvansiyonel kaynaklara dayanması, dışa bağımlılığının neredeyse %40 oranında olması ile yeni sınırda karbon mekanizmasından Fransa' ya oranla daha çok etkilenecek gibi gözümektedir. Üçüncü ülkelerden fosil kaynak tedariği noktasında bağımlılığının karbon vergisi uygulaması ile iç piyasada özellikle elektrik fiyatlarına yansıması kaçınılmaz olacaktır.

Almanya' nın bu durumu göz önüne alındığından Alman şansölyesi Scholtz' un COP 28 Dubai' de özellikle "iklim klübü" kurulmasına dair açıklamaları Alman yetkililerinin durumun farkında olduğunu gözler önüne sermektedir. Scholtz açıklamasının ardından Alman hükümet sözcüsü sınırda karbon düzenlenmesi ile bir iklim klübünün kurulacak olmasını aşağıdaki sözleri ile değinmiştir:

G7 Konseyi Başkanlığımız döneminden Şansölye'nin fikri olarak ortaya çıkan İklim Kulübü, artık dünyanın dört bir yanına yayıldı. (Kurmayer, 2023)

Scholtz' un iklim klubü ise iç yapı taşına oturtulmaktaydı. Bunlar; yeşil çelik, karbonsuzlaştırılmış endüstri ve uluslarası iş ortaklığıdır. Sınırda karbon ile bunların başarılacağını öngören Alman hükümeti önlemleri almadan önce enerji güvenliği ile ilgili adımları da bir an önce atmalıdır.

Scholtz ile aynı fikirde olan Fransa ise yenilenebilir ve yeşil enerjiye dönüşün özellikle karbon vergisi uygulaması ile her bir Avrupa Birliği ülkesinin enerji güvenliğini arttıracağının farkındaydı. Fransa Alternatif Enerjiler ve Atom Enerjisi Komisyonu araştırma üyesi Maxence Cordiez' in açıklamaları durumun önemini vurgulamaktadır. Cordiez' e göre hızlı atılacak adımlar ve Net-Sıfır Endüstri Yasası'nda belirtilen ek devlet yardımları yoluyla yeşil bir geçiş için ihtiyaç duyulan stratejik ekipmanın üretimini teşvik etmeye yönelik ortak çabaların hızlandırılması gerekmektedir. Bu reaksiyon ise AB' nin iki büyük ülkesi Franco- German' nin teşvik etmesi ile gerçekleşebilir. (Wehrmann, 2023)

SONUÇ

Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında ekonomik anlamda en güçlü olan iki ülke Almanya ve Fransa bu makalede sınırda karbon etkisi ile enerji güvenliği sağlayabilme açısından analiz edilmiştir. Analizde ilk olarak enerji güvenliğinin anlamı değerlendirilmiş olup enerji güvenliği yapı taşları çerçevesinde her iki ülke için de ayrı ayrı veriler analiz edilerek sonuca varılmıştır.

Enerji güvenliği, tüketicinin enerjiye uygun fiyatlı ve sürdürülebilir şekilde ulaşabilmesidir. Yukarıda analiz ettiğimiz verilere göre sınırda karbon uygulaması ile beraber Fransa, Almanya' ya göre enerji tedariği açısından daha avantajlıdır. Tüketim verisi ve enerji kaynakları değerlendirildiğin yenilenebilir ve nükleer ağırlığı fazla ithalat bağımlılığı ise azdır. Bu durum da Fransa' yı sınırda karbon uygulamasının en azından enerji tedariğine olacak etkilerinden neredeyse bağımsız kılmaktadır.

Almanya ise sınırda karbon uygulaması ile enerji tedariğinde özellikle üçüncü ülkelere olan fazla bağımlılığını azaltmalı ve iç tüketiminde yenilenebilir kaynaklara dönmelidir. Aksi takdirde özellikle Rusya' dan aldığı doğal gaz ile enerji üretiminin büyük bir çoğunluğunu karşıladığından sınırda karbon vergisi ile enerji kaynağının büyük bir kısmına binecek yük iç piyasada fiyat artışı olarak karşılık bulacaktır. Bu durumda da enerji güvenliği oranı riskli olan Almanya için fiyat artışları daha da tehlikeli olmaktadır. Bununla birlikte Schlotz' un iklim kulübü çağrısı Almanya' nın enerji güvenliği adımlarının atılmasında istikrarlı bir biçimde yol izleme iradesini ortaya koymuştur.

Avrupa' da Franco-German işbiliği sağlanması durumda sınırda karbon uygulamasının ithal petrol ve türevleri ürünlerinin üzerine gelecek vergi yükü iç enerji kaynaklarının yenilenebilire ve tasarrufa yönelmesiyle aşılabilecektir.

KAYNAKÇA

Eurostat. (2023). *Eurostat database*. Retrieved from https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database

Gündüz, A. (2014). *Milletlerarası hukuk*. İstanbul: Beta.

Jackman, H. (2023). *What are carbon reporting scopes?* Retrieved from https://esgpro.co.uk/what-are-carbon-reporting-scopes/

Khatib, H. (2000). Energy security. In A. Barnes (Ed.), *World energy assessment: Energy and the challenge of sustainability* (p. 112). UNDP.

Kurmayer, N. J. (2023, December 1). *Germany's Scholz to officially inaugurate 'climate club' at COP28*. Retrieved from https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/germanys-scholz-to-officially-inaugurate-climate-club-at-cop28/

Ritchie, H. (2022). *CO_2 and greenhouse gas emissions*. Retrieved from https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions

Sascha, K. M. (2007). *Energy security*. München: Taylor & Francis.

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2023). *Avrupa Yeşil Mutabakatı*. Retrieved from https://ticaret.gov.tr/dis-iliskiler/yesil-mutabakat

Vera Eckert, K. A. (2022, February 24). *How dependent is Germany on Russian gas?* Retrieved from https://www.reuters.com/world/europe/how-much-does-germany-need-russian-gas-2022-01-20/

Wehrmann, C. L. (2023, July 28). *Franco-German push for EU green industrial revival needs close alignment to succeed*. Retrieved from https://www.cleanenergywire.org/news/franco-german-push-eu-green-industrial-revival-needs-close-alignment-succeed

İSRAİL/ABD-İRAN SAVAŞI'NDA RUSYA'NIN TEMEL STRATEJİSİ

RUSSIA'S CORE STRATEGY IN AN ISRAEL/US-IRAN WAR

Alaeddin YALÇINKAYA
Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler
ORCID ID: 0000-0001-5553-0314

Fatıma MİRZALİYEVA
Dr., Marmara Üniversitesi, Uluslararası Politik Ekonomi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0002-9874-8273

ÖZET
Rusya'nın Orta Doğu ülkeleriyle ilişkileri daha Sovyet dönemi dış politikasının önemli bileşenlerinden biri haline gelmiştir. Basra Körfezi, Kızıldeniz, Akdeniz kıyıdaşı ülkelerin jeopolitik önemi Rusya'nın bu bölgelerde nüfuz alanı kurmasını zorunlu hale getirmiştir. Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla özellikle 1990'lar boyunca yaşanan ekonomik, siyasal ve sosyal sorunlar Moskova'nın bu bölgeye yeterli kaynak ve mesai ayırmasını zorlaştırdığı halde Putin'in başkanlığıyla Orta Doğu'ya yeniden dönüş başlamıştır. Bu süreçte Suriye'deki deniz üsleri tahkim edildiği gibi İran, Avrasyacı stratejilerin ana eksenlerinden biri haline gelmiştir. 2022'de başlayan ve Mart 2026 itibariyle devam eden Rusya-Ukrayna Savaşı, Moskova'nın Suriye ve İran'daki iddia ve etkinliklerinde bir dereceye kadar geri çekilmeye yol açmıştır. Bildiride 28 Şubat 2026'da ABD ve İsrail'in İran'a saldırılarıyla başlayan savaşta Rusya'nın temel stratejileri, resmi söylemler üzerinden tahlil edilmektedir. Rusya, her ne kadar Ukrayna savaşı yorgunu olsa da İran'ı yalnız bırakmadığı/bırakamayacağı konusundaki kararlılığı ele alınmaktadır. Bununla beraber başta ABD ve Çin ile ilişkileri olmak üzere küresel dengeleri dikkate alarak ekonomik ve siyasal çıkarlarını azamiye çalıştığı tespit edilmektedir.
Anahtar Kelimeler: Avrasyacı Stratejiler, Rusya'nın Orta Doğu Politikası, ABD/İsrail-İran Savaşı, Rusya-Ukrayna Savaşı.

ABSTRACT
Russia's relations with Middle Eastern countries have been a significant component of its foreign policy since the Soviet era. The geopolitical importance of the Persian Gulf, Red Sea, and Mediterranean coastal countries has made it imperative for Russia to establish spheres of influence in these regions. While the economic, political, and social problems experienced particularly during the 1990s following the collapse of the Soviet Union made it difficult for Moscow to allocate sufficient resources and effort to this region, Putin's presidency marked a return to the Middle East. During this process, naval bases in Syria were fortified, and Iran became one of the main axes of Eurasian strategies. The Russia-Ukraine War, which began in 2022 and continues until March 2026, has led to a degree of withdrawal from Moscow's claims and activities in Syria and Iran. This presentation analyzes Russia's fundamental strategies in the war that began with the US and Israeli attacks on Iran on February 28, 2026, based on official statements. Although Russia may be weary from the war in Ukraine, its determination not to abandon Iran is being discussed. Furthermore, it is noted that Russia is striving to maximize its economic and political interests, taking into account global balances, particularly its relations with the US and China.
Keywords: Eurasian Strategies, Russia's Middle East Policy, US/Israel-Iran War, Russia-Ukraine War.

SECURITIZATION AND INTEGRATION: A COMPARATIVE DISCOURSE ANALYSIS OF REFUGEE GOVERNANCE IN UGANDA AND KENYA

Duygu KUTLU
Dr., İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Yabancı Diller Yüksekokulu
ORCID ID: 0009-0000-0412-3460

ABSTRACT
This study examines the discourses and power relations shaping refugee integration policies in Uganda and Kenya within a comparative framework. Adopting Critical Discourse Analysis and Securitization Theory (Buzan et al., 1998) as its theoretical foundation, the study conducts an analysis of policy documents, official statements and media discourse with the aim of revealing divergent discursive constructions regarding refugees. Whilst Uganda's Self-Reliance Strategy positions the refugee as a subject suitable for integration and economically productive, Kenya's discourse is predominantly shaped around a securitization axis; this is concretely manifested in the management of the Dadaab refugee camp and the implementation of Operation Usalama Watch, with these practices constructing the refugee as an existential threat to national security. Drawing on Giorgio Agamben's (2005) concept of the 'state of exception', this study argues that, despite these opposing discursive positions, both states reproduce sovereign power through mechanisms of spatial control and legal exclusion. The results indicate that discursive practices do not only legitimize restrictive policies; they also structurally limit refugees' access to rights, freedom of movement, and durable solutions. By examining securitization and integration comparatively within a single analytical framework, this study aims to make a nuanced contribution to debates on refugee management and inequality in Sub-Saharan Africa.
Keywords: Securitization, refugee integration, Critical Discourse Analysis, Uganda, Kenya, state of exception, refugee governance

STRUCTURAL BOUNDARIES OF INTERNATIONAL COOPERATION: ANALYZING THE D-8'S CAPACITY FOR COLLECTIVE ACTION[1]

Erdem ÖZLÜK
Assoc. Prof. Dr., Selcuk University, FEAS, Department of International Relations
ORCID ID: 0000-0002-6267-3820

Fazlı DOĞAN
Assoc. Prof. Dr., Selcuk University, FEAS, Department of International Relations, Visiting Scholar of Graduate School of Sustainable Development, Universitas Indonesia
ORCID ID: ORCID ID: 0000-0003-3221-7944

ABSTRACT
Initiated under the leadership of Türkiye and officially established in 1997, the D-8 Organization for Economic Cooperation has recently expanded to nine member states (Azerbaijan, Bangladesh, Egypt, Indonesia, Iran, Malaysia, Nigeria, Pakistan, and Türkiye). The organization is designed as a transcontinental platform to promote economic cooperation among major developing countries, with the stated objectives of enhancing members' positions in the global economy, diversifying trade relations, increasing their influence in international decision-making processes, and improving overall living standards. Functioning as a global rather than regional forum, the D-8 seeks to facilitate cooperation without conflicting with the existing bilateral and multilateral commitments of its members. Despite these objectives, the organization has exhibited limited effectiveness in achieving a visible and coherent role in international politics. Over time, internal divergences among member states and structural constraints have constrained its capacity to act collectively. In particular, the D-8's limited institutional response to major international crises that directly affect its members has raised questions regarding its broader role beyond economic cooperation. This paper asks: Why has the D-8 failed to emerge as an effective political actor despite its institutional continuity and shared developmental agenda? Drawing on an institutionalist perspective, the paper provides an analytical assessment of the structural and political factors that shape the organization's limited capacity for collective action. By doing so, this paper aims to contribute to the broader literature on international organizations by using the D-8 as an empirical case to assess the effectiveness of international cooperation frameworks and integration initiatives in generating coherent and sustained collective action.
Keywords: D-8 Organization for Economic Cooperation, International Organizations, Collective Action, Institutional Capacity.

INTRODUCTION
The D-8 Organization for Economic Cooperation is an international organization established to build economic cooperation among Bangladesh, Egypt, Indonesia, Iran, Malaysia, Nigeria, Pakistan, and Türkiye, spanning a vast geographical area from Southeast Asia to Africa. The initial steps toward the establishment of the organization were taken under the leadership of Necmettin Erbakan, the Prime Minister of Türkiye at the time, during the Conference on Cooperation in Development held in Istanbul on October 22, 1996. (D-8, 2026) Erbakan advocated that a new world order needed to be established in the post-Cold War era and that Muslim countries could play a more effective role by joining forces in this new period. (BBC News, 2026) Shortly after this initiative, the organization was officially established through the Istanbul Declaration, issued following the Summit of Heads of State and Government in Istanbul on June 15, 1997. (D-8, 2026) Approximately three decades have passed since the initial initiative; in 2027 the D-8 will celebrate its 30th anniversary.
In the Istanbul Declaration, the main objective of the D-8 Organization for Economic Cooperation is declared to be socio-economic development in accordance with the following principles: Peace instead of conflict, Dialogue instead of confrontation, Cooperation instead of exploitation, Justice instead of double-standard, Equality instead of discrimination, and Democracy instead of oppression (D-8, 2026).

[1] Generative AI was used to assist with English language editing of the manuscript.

In addition to these principles, based on the founding treaty and official documents, the primary objectives of the organization are to improve the positions of member states within the global economy, to create new opportunities by diversifying commercial relations, to increase participation in international decision-making mechanisms, and to elevate standards of living (D-8, 2026).

In defining itself, the organization particularly emphasizes that it is an entity of global rather than regional character, and that it serves as a platform which does not exert any adverse effect on the bilateral and multilateral commitments arising from member countries' memberships in other international or regional organizations (D-8, 2026). This emphasis appears to have been intended to signal that the D-8, formed by the gathering of countries with predominantly Muslim populations, was not established as an alternative to the Organization of Islamic Cooperation (OIC). Indeed, all members of the D-8 are concurrently members of the OIC. However, it is also important to highlight that the motivation to balance the profound influence of Saudi Arabia within the Islamic world and to address the substantial economic disparities within the OIC was a determining factor in the organization's establishment (Ferguson, 2023).

STRUCTURE AND OBJECTIVES OF THE D-8

Unlike economic integration models in international relations that are largely predicated on geographical proximity, the D-8 aims to foster economic cooperation and enhance trade among countries spread across three continents. The objectives are outlined in Article 1 of the founding charter as follows: (a) To promote and enhance joint efforts towards achieving sustainable socioeconomic development through effective utilization of economic and social potentials of D-8 countries; (b) To promote welfare, alleviate poverty, and to improve quality of life of the people D-8 countries, (c) To further strengthen economic, social, technical and scientific ties within the D-8 community; (d) To promote private sector activity, through, inter alia, encouraging cooperation between chambers of commerce and industry, joint investments between private companies and public-private partnership, towards achieving the long-term goal of balanced national development in the D-8 countries; (e) To strengthen cooperation with other countries, regional and international organizations, as well as non-governmental organizations, with a view to promoting the concerns and interests of the developing countries; (f) To work towards playing an effective role in the global economy commensurate with its collective potential and capacity (D-8, 2026).

To enhance cooperation among its members, the organization aimed for each country to coordinate activities in a specific domain, taking into consideration the unique circumstances of the eight founding members. The organization's cooperation model is based on a sectoral division of labor predicated on the comparative advantages of the member states. Within this framework, Bangladesh coordinates rural development, Egypt coordinates trade, Indonesia coordinates human resource development, Iran coordinates science and information technology, Malaysia coordinates the finance, banking and privatization sectors, Nigeria coordinates energy, Pakistan coordinates agriculture, and Türkiye coordinates industry and health (D-8, 2026). This system was developed to institutionalize technical cooperation and increase knowledge transfer.

To coordinate these efforts and achieve the founding objectives, the institutional structure of the organization is regulated under the third chapter of the Charter, titled "Principal Organs of D-8". Accordingly, the principal organs of the D-8 are listed as the Summit of Heads of State or Government, the Council of Ministers, the Commission, and the Secretariat. The Summit, the highest decision-making organ of the organization, is convened once every two years in the territory of one of the member States by rotation. The Council of Ministers, composed of the foreign ministers of the member states, meets annually; the decisions taken at the Summits are sought to be implemented through ministerial-level meetings and technical committees. The Commission, scheduled to meet twice a year, consists of senior bureaucrats appointed by the member states and manages the coordination and implementation processes at the technical level. The Commission shall establish Standing Committees and Ad Hoc Groups, as and when necessary, examine their reports and supervise their activities (D-8, 2026).

The final principal organ of the organization is the Secretariat, headquartered in Istanbul. Ensuring the bureaucratic continuity and institutional functioning of the organization, the Secretary-General shall be appointed on recommendation by the Council of Ministers by consensus from among the nationals of

Member States and approval by the Summit for a non-renewable four-year term in accordance with the principle of rotation in alphabetic order. As stated in the Charter, membership of the D-8, which was established with 8 members in 1997, has a global rather than a regional character in terms of its principles and the geographical area it covers, and is open to all developing countries (MFA, 2026). However, in its 30-year history, there has been no other accession besides Azerbaijan, whose participation was approved at the 11th Summit meeting (Osmanli, 2025) held in Cairo in December 2024 and whose official membership materialized in March 2025 (Yagubova, 2025). Despite the total number of members rising to 9 with this new membership, there has been no change in the official name of the organization.

POTENTIAL OF THE D-8

Member states represent a population of approximately 1.3 billion, corresponding to roughly 15.4% of the global population (Latif, 2025). Furthermore, more than 65% of the total global Muslim population resides in the member states (Asadullah, Khalid, & Ferguson, 2023). Accounting for 14% of total global trade, the combined economic size of the member states exceeds $5 trillion. Various mechanisms have been established to enhance economic cooperation among the members of the organization, which aims to increase intra-organizational trade to $500 billion by 2030 (D-8, 2026).

The most significant of these is the Preferential Trade Agreement (PTA), which was implemented following the 2006 Bali Summit. Essentially, the goal was to reduce customs tariffs on specific product groups to facilitate trade among member countries. Although it has still not reached the desired level, the PTA stands as one of the most substantial achievements in enhancing intra-organizational trade volume. Moreover, arrangements such as the Agreement on Simplification of Visa Procedures for D-8 businessmen, the Multilateral Agreement on Administrative Assistance in Custom Matters to improve the bureaucratic processes of customs operations, the establishment of a D-8 International University in Iran, the operationalization of a technology transfer and exchange network, and the founding of a research center specifically in the field of health are all oriented towards strengthening the institutional infrastructure of interaction among members. Additionally, a Memorandum of Understanding for the Establishment of D-8 Member States' Working Group for Cooperation in Civil Aviation was signed in 2007 (D-8, 2026).

Despite facing significant challenges since its inception, the organization holds substantial potential and continually endeavors to strengthen integration among its members (Bolarinwa, Imam, & Bello, 2025). The organization's recent expansion of its fields of activity provides important signals regarding the deepening of integration among member states. Indeed, the D-8 Trade Ministers Council (TMC) adopted the Dispute Settlement Mechanism (DSM) protocol in Dhaka on March 5, 2024. The DSM will allow for the full, unimpeded, and effective implementation of the much-awaited D-8 PTA soonest. In the same vein, the TMC also adopted the paper on Trade Facilitation Strategy (TFS), which will also provide guidance for the effective implementation of the organization-wide operationalization of the D-8 PTA (D-8, 2026).

Additionally, a major milestone was achieved with the convening of the First D-8 Ministerial Meeting on Health in Cairo, where Ministers adopted the Cairo Declaration on Health Cooperation, laying a comprehensive foundation for enhanced collaboration in health-related sectors. Equally significant was the successful organization of the First D-8 Media Forum in Baku, which marked a new chapter in strengthening cooperation among media institutions of Member States. The adoption of the Baku Declaration on Collaborative Media Development, and the positive response of the D-8 Media Excellence Center initiative by the member states, reflect the organization's shared recognition of the strategic role of the media, and enhancing the visibility of the D-8 (D-8, 2026).

In addition to all these developments, efforts are also underway to increase the international visibility of the D-8. For instance, the D-8 was granted observer status at the United Nations General Assembly in 2014 (UN General Assembly, 2026). Concurrently, the Organization of the Islamic Cooperation (OIC) and the D-8 Organization for Economic Cooperation signed a Memorandum of Understanding (MoU) on October 7, 2010. In addition to these, the D-8 has also signed MoUs with regional economic cooperation organizations such as the Islamic Development Bank (IDB), the Organization of the Black Sea Economic Cooperation (BSEC), the Economic Community of West African States (ECOWAS), and the Economic Cooperation Organization (ECO) (D-8, 2026).

STRUCTURAL PROBLEMS OF THE D-8: ECONOMIC COOPERATION

A generalization can be made that the survival of any organization fundamentally depends on fulfilling the expectations of its founders and members. Although success criteria are elements that can be evaluated relatively, an assessment can be conducted using certain criteria applicable to almost any organization to some extent. Doğan and Özlük conducted this assessment for the D-8 based on various criteria and asserted that the D-8 has fallen short according to the listed metrics, thus rendering it a relatively unsuccessful initiative (Doğan & Özlük, 2019). In summary, these criteria primarily require examining whether the reasons that enabled the existence of the organization are robust. Additionally, variables can be listed such as the presence or absence of hegemonic support for deepening integration; the presence or absence of major powers for the members; geographic proximity or distance; the intensity of issues such as ideology and religion that bring members together; the state of the political and social structures of the members; and whether the areas and subjects of cooperation are limited.

In fact, the same degree of success can be evaluated through the spillover effect. Following the same logic for the D-8, without delving into detailed theoretical debates, it can be argued that this effect—which can be understood as an organization succeeding in at least one issue or sector and this success spilling over into other sectors or issues—has not materialized (M.A.Crawford, 2000). Furthermore, the development of international organizations can be associated, in a way, with whether they have attained the dynamics of an international regime. In this regard, the decision-making process of the D-8 remains akin to an advisory resolution, and it functions more as a forum rather than an effective organization. This issue warrants analysis particularly in connection with the reality that D-8 members are not supported by other organizations and dynamics. To elaborate, the EU, accepted as one of the most successful organizations, can be viewed as an entity that cannot be thought of entirely independently of NATO. Above all, NATO has also functioned as a mechanism of political solidarity for the EU's identity and priorities (Caparini, 2003) (Jacoby, 2004). In this context, it appears difficult to claim that there is even a minimum level of political solidarity within the D-8.

Before delving into the lack of political solidarity, another question can be raised, which is one of the questions frequently asked by International Relations (IR) students: 'Why do states establish or use international organizations?'. To this same question, follow-up questions are appended, such as why decentralized alternative quests for cooperation shift towards specific types and capabilities of organizations. The answers provided to these questions also vary depending on the theoretical perspective applied. Similarly, our answers may change based on which category of state we are examining—such as a hegemonic power, a major power, or a middle power. In this context, we find alternative answers ranging from the objective of reducing costs for national interests and gaining legitimacy to encompassing issues like norms and beliefs (Abbott & Snidal, 1998). Every answer will show commonality to some extent at a point that can be associated with functionalism. Without entering into theoretical discussions, the easiest answer to the question of why states establish or join international organizations is "because they are useful". In this context, for the purposes of our study, this raises the question of whether the D-8 constitutes a worthwhile institutional investment for its members.

By examining the official "D-8 Decennial Roadmap for 2020-2030" document, the multitude of homework assignments required of members to realize the D-8's potential can actually be understood (D-8, 2026). Noting that the D-8 has serious structural problems despite its significant potential, it is evident that developing members with differing priorities must work to deepen their cooperation. We can evaluate some of these structural problems here. At the forefront of these problems, it can be recorded that ideology and a sense of religion were at least the main motivation of the political cadre that provided the founding leadership in the genesis of the D-8. The political powers in all member states do not possess the same mindset, and a fairly diverse understanding has prevailed even regarding Islam—the strongest bond—and the role of religion in social and political life. It is acknowledged that religion influences international relations in many ways and should be considered as an important variable in analyses (Fox & Sandler, 2004; Thomas, 2000). Therefore, regarding the D-8, populous and developing Islamic countries were undoubtedly chosen for shared reasons, and in the ultimate goal, it was envisioned as an initiative that would ensure the integration of the Islamic world.

It can be stated that one of the most fundamental problems within the D-8 is the lack of political solidarity among members. For instance, regarding the war that began with the simultaneous attacks by the US and Israel on Iran on February 28, 2026, perhaps the most serious D-8 reaction was to postpone the 2026 summit (Antara, 2026). Due to the developments in Iran, the assassination of Iranian leaders, and the overall high tension in the Middle East, Indonesia decided to postpone the D-8 2026 summit and notified the other members. Following Indonesia's announcement of this decision to the members via a letter in its capacity as the 2026-2027 term presidency, the 2026 summit was postponed to be held at an appropriate time. Indonesia had set the summit agenda under the title "Navigating Global Shifts: Strengthening D-8 for a Resilient Future," encompassing the expansion of the scope and content of the PTA; steps to reduce dollar dependency and introduce a D-8 payment card; the creation of virtual free trade zones/platforms; halal economy and tourism; green transition in energy; food security; strengthening the organizational structure; and the establishment of a D-8 youth council (D-8 Summit 2026, 2026).

Table 1. Expanded Economic Indicators and Trade Partners Matrix (2024-2025)

Country	*GDP (Nominal)*	*Trade Volume (Est.)*	*Intra D-8 Share (%)*	*Top 5 Trade Partners (Total Export & Import)*	*Key Export Items*
Türkiye	~$1.1 Trillion	~$620 Billion	4.8%	1. China, 2. Germany, 3. Russia, 4. USA, 5. Italy	Automotive, Machinery, Textiles, Iron & Steel
Indonesia	~$1.4 Trillion	~$500 Billion	3.8%	1. China, 2. USA, 3. Japan, 4. India, 5. Singapore	Coal, Palm Oil, Iron & Steel, Rubber
Malaysia	~$440 Billion	~$580 Billion	6.7%	1. China, 2. Singapore, 3. USA, 4. Taiwan, 5. Japan	Semiconductors, Electrical Appliances, Oil & Gas
Egypt	~$390 Billion	~$115 Billion	2.8%	1. China, 2. Saudi Arabia, 3. USA, 4. UAE, 5. Türkiye	Gas, Refined Petroleum, Fertilizers, Textiles
Nigeria	~$380 Billion	~$105 Billion	2.1%	1. Netherlands, 2. China, 3. India, 4. Spain, 5. USA	Crude Oil, Natural Gas, Cocoa
Pakistan	~$350 Billion	~$90 Billion	2.9%	1. China, 2. USA, 3. UAE, 4. Saudi Arabia, 5. UK	Textiles, Rice, Leather Products
Iran	~$420 Billion	~$125 Billion	5.2%	1. China, 2. UAE, 3. Türkiye, 4. Iraq, 5. India	Petroleum, Petrochemicals, Steel, Agricultural Products
Bangladesh	~$460 Billion	~$145 Billion	3.4%	1. China, 2. India, 3. USA, 4. Germany, 5. UK	Ready-Made Garments (Textiles), Jute, Fisheries
Azerbaijan	~$80 Billion	~$60 Billion	(New Member)	1. Italy, 2. Türkiye, 3. Russia, 4. China, 5. Israel	Natural Gas, Crude Oil, Fruits & Vegetables

Sources: (htt)

As seen in the table, Türkiye ranks among the top five trading partners for only Iran, Egypt, and Azerbaijan. Notably, only Türkiye is listed among the top five trading partners of three D-8 members. In fact, the D-8's $500 billion intra-organizational trade target can be considered a key policy driver in

this regard. Although various dates have been set as target years for the aforementioned $500 billion volume since the beginning, most recently this target year was updated to 2030 (D-8, 2026). Thus, with this target incorporated into the 10-year roadmap (Abubakar, 2026), it is envisaged that at least 10% of total foreign trade will take place within the organization. However, the same target was designed in 2008 to be realized in 2018; over time, the target year became 2023 (with realization remaining around $145 billion), and ultimately 2030 (Abbasi, 2026).

While concluding the Preferential Trade Agreement and achieving institutional development are significant, it is evident from the available data that the demonstrated performance is inadequate. Regarding the PTA, one of the D-8's most ambitious initiatives, even though an agreement was reached in 2006, it took 15 years for it to be ratified by the member states. The $500 billion intra-organizational trade target is continually postponed to future dates. Currently, the year 2030 has been adopted as the target year. The fact that intra-organizational trade remains below 5% of total trade consistently emerges as a key issue needing improvement at every summit (All Africa, 2026). In their 2011 study discussing the inadequacy of the organization, Jafari et al. presented rates close to those of today. Using sources from 2008, they also demonstrated that over 90% of trade is conducted with the rest of the world. This constitutes an indicator far below the stated targets, even in a relatively straightforward domain connected to the fundamental claim and name of the organization (Jafari, Ismail, & Kouhestani, 2011). Moreover, this problem has been on the agenda for over 20 years, and concrete progress has still not been achieved. There are also no clear indications that this target will be achieved in the short to medium term.

CONCLUSION

The D-8 is designed as a transcontinental platform to promote economic cooperation among major developing countries, with the stated objectives of enhancing members' positions in the global economy, diversifying trade relations, increasing their influence in international decision-making processes, and improving overall living standards. Functioning as a global rather than regional forum, the D-8 seeks to facilitate cooperation without conflicting with the existing bilateral and multilateral commitments of its members. Despite these objectives, the organization has exhibited limited effectiveness in achieving a visible and coherent role in international politics.

The measure of success concerning economic cooperation can also be linked to other structural issues. Firstly, geographically, there is a dispersion that goes beyond being a regional organization. Geographical distance emerges as a condition that impedes both shared priority agenda items and the deepening of cooperation. For instance, Nigeria and Indonesia are geographically the most distant D-8 members. For a functional spillover effect to occur or materialize, the cost of trade must be low. However, the immense distance between these two countries and their similar production structures (both being raw material providers) render them parallel rather than complementary to each other. For this reason, the targeted economic leap simply cannot be realized.

REFERENCES

Abbasi, W. (2026, April 15). *D-8 member states eye $500 billion annual trade by 2030, secretary-general says* . https://www.arabnews.com/node/2623568/pakistan#:~:text=BAKU%2C%20Azerbaijan:%20Ambassador%20Isiaka%20Abdul,on%20trade%20and%20economic%20cooperation .

Abbott, K. W., & Snidal, D. (1998). Why States Act through Formal International Organizations. *Journal of Conflict Resolution, 42*(1), 3-32.

Abubakar, A. (2026, April 15). *D-8 preferential trade agreement targets $500 billion in intra-trade by 2030*. https://21stcenturychronicle.com/d-8-preferential-trade-agreement-targets-500-billion-in-intra-trade-by-2030/ .

All Africa. (2026, April 15). *Nigeria, D8 Nations Agree to Increase Trade By U.S.$500 Billion* . https://allafrica.com/stories/201611071282.html .

Antara. (2026, April 15). *Indonesia postpones D-8 Summit in Jakarta amid Middle East tension*. https://en.antaranews.com/news/408302/indonesia-postpones-d-8-summit-in-jakarta-amid-middle-east-tension#:~:text=He%20also%20stated%20that%20D .

Asadullah, M. N., Khalid, A. M., & Ferguson, R. J. (2023). Introduction. A. M. Khalid, R. J. Ferguson, & M. N. Asadullah In, *Economic Integration Among D-8 Muslim Countries: Prospects and Challenges,* (s. 6-8). Singapore: World Scientific.

BBC News. (2026, April 15). *Necmettin Erbakan'ın fikir babası olduğu D-8 nedir?* https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-41693289 .

Bolarinwa, J. O., Imam, I. A., & Bello, I. (2025). From the Istanbul Seminar to the Istanbul Declaration: Tracing the Journey Objectives, Structural Evolution, of the Developing-8 (D-8) Organization for Economic Cooperation. I. A. Imam, I. Bello, & M. Imran In, *The Developing-8 Organization for Economic Cooperation: Synergies, Cooperation and Trajectories* (p. 38). Istanbul: Istanbul University Press.

Caparini, M. (2003). *Security sector reform and NATO and EU enlargement. SIPRI YEARBOOK.* SIPRI.

D-8. (2026, April 13). D-8 Facts Sheet 2018: https://develop-ng8.org/wp-content/uploads/2018/12/Facts-Sheet.pdf .

D-8. (2026, April 15). Purposes & Objectives: https://developing8.org/about-d-8/purposes-objectives/ .

D-8. (2026, April 13). D-8 Charter: https://developing8.org/image/Otherdocument/8388836.pdf .

D-8. (2026, April 13). *A quarterly newsletter of the D-8*. https://developing8.org/wp-content/uploads/2026/01/Fourth-Edition-of-the-D-8-Newsletter-October-December-2025.pdf .

D-8. (2026, April 15). *Brief History of D-8*. https://develop-ng8.org/about-d-8/br-ef-h-story-of-d-8/ .

D-8. (2026, April 7). *Charter of the The Developing-8 Organization for Economic Cooperation*. https://developing8.org/image/Otherdocument/8388836.pdf .

D-8. (2026, April 7). *D-8 Decennial Roadmap for 2020-2030* . https://developing8.org/wp-content/uploads/2021/04/D-8-Decennial-Roadmap-2020-2030.pdf .

D-8. (2026, April 13). *D-8 First Summit Meeting*. https://develop-ng8.org/-mage/Booklet/1st-D-8-Summ-t.pdf .

D-8. (2026, April 15). *Dhaka Declaration 2021* . https://developing8.org/report/dhaka-declaration-2021/ .

D-8. (2026, April 13). *External Relations* . https://developing8.org/about-d-8/external-relations/ .

D-8. (2026, April 15). *Fourth Meeting of the D-8 Trade Ministers Council*. https://developing8.org/wp-content/uploads/2025/12/Draft-Report-of-the-4th-D-8-TMC-Cairo-2-December-2025-combined.pdf .

D-8. (2026, April 13). *MOU for the establishment of D-8 Member States Working Group for Co-operation in Civil Aviation* . https://developing8.org/report/mou-for-the-establishment-of-d-8-member-states-working-group-for-co-operation-in-civil-aviation/

D-8. (2026, April 13). *Quarterly Newsletter of the D-8*. https://developing8.org/wp-content/uploads/2024/05/The-First-Edition-of-the-D-8-Newsletter-in-2024.pdf .

D-8. (2026, April 13). *Sixth D-8 Summit*. https://developing8.org/image/Booklet/6th-D-8-Summit.pdf .

D-8 Summit 2026. (2026, April 15). *D-8 Summit*. https://d8summit2026.id/en .

Doğan, F., & Özlük, E. (2019). Success of integration initiatives in the Islamic World: The case of D-8. S. Gardocki In, *The Islamic World in International Relations* (s. 185-205). Berlin: Peter Lang.

Ferguson, R. J. (2023). Historical Foundations and Emerging Geopolitical Frameworks. A. M. Khalid, R. J. Ferguson, & M. N. Asadullah In, *Economic Integration Among D-8 Muslim Countries: Prospects and Challenges* (s. 5). Singapore: World Scientific.

Fox, J., & Sandler, S. (2004). *Bringing Religion into International Relations.* New York: Palgrave.

Jacoby, W. (2004). *The Enlargement of the European Union and NATO: Ordering from the Menu in Central Europe.* New York: Cambridge University Press.

Jafari, Y., Ismail, M. A., & Kouhestani, M. S. (2011). Determinants of Trade Flows among D8 Countries: Evidence from the Gravity Model. *Journal of Economic Cooperation and Development,, 32*(3), 21-38.

Latif, A. A. (2025). D-8 Member States: Economic Profiles, Sectors and Opportunities. I. A. Imam, I. Bello, & M. Imran In, *The Developing-8 Organization for Economic Cooperation: Synergies, Cooperation and Trajectories* (s. 13). İstanbul: Istanbul University Press.

M.A.Crawford, R. (2000). *Idealism and Realism in International Relations: Beyond the discipline.* London: Routledge.

MFA. (2026, April 13). *Developing Eight (D-8) Organization for Economic Cooperation*. https://www.mfa.gov.tr/_d-8_.en.mfa .

Osmanli, S. N. (2025). *The D-8 Cairo Summit.* AVİM, Commentary No: 2025 / 8.

Thomas, S. (2000). Religion and International Conflict. K. R. Dark In, *Religion and International Relations.* London: Macmillan.

UN General Assembly. (2026, April 7). *Observer status for the Developing Eight Countries Organization for Economic Cooperation in the General Assembly, 6 November 2014*. https://docs.un.org/en/A/69/513 .

Yagubova, I. (2025). The D-8 and Azerbaijan: The “Islamic Eight” and the Ongoing Shift in the Global Balance of Power. *Baku Dialogues, 8*(4), 70-81.

YAPAY ZEKA ÇAĞINDA GÜVENLİĞİN YENİDEN TANIMLANMASI

REDEFINING SECURITY IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mehmet Emin ERENDOR
Prof. Dr., Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-8467-0743

Yağmur Berfin KAPTAN
Lisans Öğrencisi, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İktisadi, İdari ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Uluslararası İlişkiler Bölümü
ORCID ID: 0009-0009-4770-608X

ÖZET
Bu çalışma, yapay zekanın hızla geliştiği dijital çağda güvenlik kavramının köklü bir dönüşümden geçtiğini ve bu dönüşümün klasik güvenlik anlayışını yeniden tanımlamayı zorunlu kıldığını incelemektedir. Geleneksel güvenlik paradigmaları, tarih boyunca askeri güç, sınır kontrolü ve devlet egemenliği çerçevesinde şekillenmiş, tehditler genellikle fiziksel ve somut unsurlara dayanmıştır. Ancak yapay zekanın yükselişi ve dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte güvenlik tehditleri daha karmaşık, çok boyutlu ve öngörülemez bir hâle gelmiştir. Yapay zekâ destekli siber saldırılar, otonom silah sistemleri, büyük veri manipülasyonu, dezenformasyon kampanyaları ve yapay zekanın kötüye kullanım potansiyeli, klasik güvenlik stratejilerinin yetersiz kaldığını göstermektedir. Artık güvenlik yalnızca fiziksel alanla sınırlı kalmayıp, siber uzay, bilişsel alan ve dijital ekosistemleri de kapsayan çok katmanlı bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu bağlamda devletlerin stratejik planlama süreçlerinde yapay zekanın getirdiği fırsat ve riskleri dengeleyebilecek politikalar geliştirmesi önem kazanmaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ çağında güvenlik, yalnızca askeri kapasitenin artırılması ile değil; veri güvenliği, teknolojik bağımsızlık, siber dirençlilik ve uluslararası iş birliği gibi unsurların bütüncül bir şekilde ele alınmasıyla yeniden tanımlanmalıdır. Bu çalışma, güvenliğin gelecekte çok katmanlı, teknolojik ve proaktif bir anlayışla yeniden şekilleneceğini vurgulamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Siber Güvenlik, Çok Katmanlı Güvenlik, Dijital Tehditler, Otonom Sistemler.

ABSTRACT
This study examines how the concept of security is undergoing a fundamental transformation in the digital era, driven by the rapid development of artificial intelligence (AI), and argues that this transformation necessitates a redefinition of traditional security paradigms. Historically, conventional security approaches have been shaped by military power, border control, and state sovereignty, with threats largely confined to physical and tangible domains. However, the rise of AI and the widespread adoption of digital technologies have made security threats more complex, multidimensional, and unpredictable. AI-powered cyberattacks, autonomous weapon systems, large-scale data manipulation, disinformation campaigns, and the potential misuse of AI demonstrate the inadequacy of classical security strategies. Security is no longer limited to the physical domain but now requires a multi-layered approach encompassing cyberspace, the cognitive sphere, and digital ecosystems. In this context, it is crucial for states to develop policies that can balance the opportunities and risks presented by AI within their strategic planning processes. Consequently, security in the AI era should not be defined solely by the enhancement of military capacity; it must also be approached holistically, incorporating data protection, technological independence, cyber resilience, and international collaboration. This study emphasizes that the future of security will be reshaped as multi-layered, technology-driven, and proactive.
Keywords: Artificial Intelligence, Cybersecurity, Multi-Layered Security, Turkic World, Digital Threats, Autonomous Systems.

POST-ÇATIŞMA BÖLGELERİNDE ASKERİ LOJİSTİK ALTYAPISININ SİVİL EKONOMİK FAALİYETLERE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ: TÜRKİYE VE ORTADOĞU'NUN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ (2010-2025)

CONVERSION OF MILITARY LOGISTICS INFRASTRUCTURE TO CIVIL ECONOMIC ACTIVITIES IN POST-CONFLICT AREAS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF TURKEY AND THE MIDDLE EAST (2010-2025)

Erdal KILIÇ
Dr. Öğr. Görevlisi, Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Savunma Araştırmaları Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-9308-5028

ÖZET
2010-2025 yılları arasında Türkiye, Suriye, Irak ve seçilmiş Balkan ülkelerinde (Bosna-Hersek, Kosova) savaş döneminde kurulan askeri lojistik altyapılarının barış döneminde sivil ekonomiye entegrasyonu incelenmektedir. Araştırmanın temel hipotezi, savaş sırasında oluşan lojistik ağlarının, uygun politikalar ve uluslararası destek çerçevesinde, post-çatışma döneminin ekonomik kalkınmasının temel taşlarına dönüştürülebileceğidir. Karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılarak, başarılı dönüşüm örnekleri ile başarısız veya kısmi başarılı örnekler arasındaki farklılıklar ortaya konulmaktadır. Bulgular, kurumsal kapasite, hukuki çerçeve, uluslararası finansal destek ve siyasi istikrarın bu dönüşümün başarısında ne derece kritik rol oynadığını göstermektedir. Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu'daki deneyimi kısmi başarı gösterirken, Balkan ülkeleri daha sistematik ve planlı yaklaşımlar sunmaktadır. Suriye ve Irak'ta ise güvenlik sorunları ve siyasi istikrarsızlık dönüşüm sürecinin henüz tamamlanmasını engellemiştir.
Anahtar Kelimeler: Post-çatışma ekonomisi, lojistik altyapısı, ekonomik entegrasyon, barış temelli kalkınma, Ortadoğu, Balkanlar

ABSTRACT
The examination focuses on the integration of military logistical infrastructures, developed during wartime, into the civilian sector during peacetime in Turkey, Syria, Iraq, and certain Balkan nations (Bosnia and Herzegovina and Kosovo) from 2010 to 2025. The primary premise of the research posits that the logistics networks established during the war can be converted into foundational elements of economic development in the post-conflict era, contingent upon suitable policies and foreign assistance. The comparative analysis method elucidates the distinctions between successful transformation instances and those that are unsuccessful or only partially successful. The results demonstrate the significance of institutional competence, legal framework, international financial assistance, and political stability in the accomplishment of this transformation. Turkey's experience in Southeastern Anatolia has demonstrated limited results, but the Balkan nations provide more methodical and strategic methodologies. In Syria and Iraq, security challenges and political instability have not yet finalized the reform processes, which are crucial for achieving economic integration and peace-oriented development in the region.
Keywords: Post-conflict economy, logistical infrastructure, economic integration, peace-oriented development, Middle East, Balkans

1. GİRİŞ

Çatışma sonrası dönemler, ulusal ekonomilerin yeniden yapılanması açısından kritik fırsatlar sunarken aynı zamanda zorlu mekanizmaları da beraberinde getirmektedir. Özellikle Ortadoğu ve Türkiye bölgesinde 2010 sonrasında yaşanan çatışmalar, askeri lojistik altyapısında masif yatırımlar gerektirmiştir. Bu altyapıların barışa dönem içinde sivil ekonomiye entegre edilmesi, bölgesel kalkınmanın temel belirleyicilerinden birini oluşturmaktadır.

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu'sunda PKK ile yürütülen operasyonlar, Suriye iç savaşı (2011-), Irak'taki IŞİD mücadelesi (2014-2017) ve Balkan ülkelerindeki post-savaş dönemler, bu çalışmanın karşılaştırmalı örneklemini oluşturmaktadır. Söz konusu bölgelerde milyarlarca dolar askeri lojistik altyapısı inşa edilmiş, ancak barış sonrası bu altyapıların ekonomik katma değeri sınırlı kalmıştır.

Araştırma sorusu şu şekildedir: Post-çatışma bölgelerinde askeri lojistik altyapısı, ne tür koşullar altında sivil ekonomik faaliyetlere başarıyla dönüştürülmektedir? Araştırmanın hipotezi ise başarılı dönüşümün güvenlik istikrarı, hukuki çerçeve, yerel katılım ve uluslararası finansal destek kombinasyonunun varlığına bağlı olduğudur.

2. TEORİK ÇERÇEVE VE KAVRAMSAL TEMEL

2.1 Post-Çatışma Ekonomisi Teorisi

2.1.1 Collier-Hoeffler Modeli: Ekonomik Kökenleri ve Sonuçları

Paul Collier ve Anke Hoeffler'in (2004) yapısal çalışması, iç çatışmaların ekonomik kökenleri ve barış sonrası iyileşme dinamikleri hakkında önemli bulgular sunmaktadır. Yazarlara göre, çatışma sonrası ekonomik iyileşme, savaş döneminin şiddeti ve süresiyle ters orantılıdır (Collier & Hoeffler, 2004, s. 573). Çatışma sırasında ekonomik kaynaklar askeri harcamalara yönlendirilmekte; lojistik altyapısı genellikle geçici nitelikte olup muhasır dönemin ihtiyaçlarına göre yapılandırılmaktadır. Barış dönemi başladığında ise, bu altyapıları yeniden kullanılabilir hale getirmek ya da yeni amaçlara dönüştürmek ekonomik kalkınma için kritik hale gelmektedir.

Collier-Hoeffler modelinin ampirik analizi, çatışmanın süresi uzadıkça barış sonrası ekonomik büyüme oranının dramatik şekilde düştüğünü göstermektedir. On yıl devam eden bir çatışma sonrasında, ekonomik büyüme hızı öngörüldüğünün yaklaşık yarısı seviyesine düşmektedir (Collier, 2007, s. 89). Türkiye (2015-2023 yoğun çatışma), Suriye (2011-2023 iç savaş), Irak (2014-2017 IŞİD mücadelesi) ve Balkanlar (savaş sınırlı) bu modelle tutarlı sonuçlar göstermektedir: Balkanlar en hızlı iyileşme göstermiş, Suriye ise ciddi ekonomik tahribata maruz kalmıştır.

2.1.2 Sachs-Warner Modeli: Doğal Kaynaklar Laneti

Jeffrey Sachs ve Andrew Warner'ın (1999) temel tezi, doğal kaynakların bolluğunun paradoksal olarak ekonomik büyümeyi engelleyebildiği yönündedir. Bu "Resource Curse" fenomeni, Ortadoğu kontekstinde özellikle belirgindir (Sachs & Warner, 1999, s. 15-41). Petrol zengini bölgeler (Irak, Suriye) çatışma sonrasında lojistik altyapısını petrol işletme amaçlarına yönlendirme eğilimi göstermişlerdir, sivil ticari lojistik yerine.

Irak örneğinde, Umm Qasr limanı teorik olarak bölgesel ticaret hub'ı olabilirken, pratik uygulamada petrol ürünleri ve enerji işletme ağırlıklı olmuştur (World Bank, 2020, s. 156). Aksine, doğal kaynakları sınırlı olan Bosna-Hersek ve Kosova, lojistik altyapısını başarıyla imalat ve hizmetler sektörüne dönüştürmüşlerdir. Bu durum, Sachs-Warner kuramının post-çatışma ekonomisi açısından genellenebilirliğini doğrulamaktadır.

2.2 Kalkınma Teorileri ve Kapasite Yaklaşımı

2.2.1 Sen'in Kapasite Yaklaşımı (Capabilities Approach)

Amartya Sen'in (1999, 2005) temel tezi, kalkınmanın salt gelir artışı değil, bireylerin ve toplumların özgürlük ve seçim yapabilme kapasitesinin artışı olduğudur (Sen, 1999, s. 87). Post-çatışma lojistik altyapısı dönüşümü bağlamında, bu teori üç seviyede uygulanmaktadır.

Mikro Seviye (Bireysel): Yerel halk lojistik merkezlerinde çalışabilir mi ve yeterli beceriye sahip midir? Eğitim ve teknoloji transfer programlarına erişebilir mi? Dönüşüm sürecinde söz sahibi olabilir mi? Bu sorular, bireylerin ekonomik katılım kapasitesini belirlemektedir.

Meso Seviye (Kurumsal): Yerel yönetimler lojistik hub'ları yönetebilir mi? Özel sektör yatırım yapabilir mi? Hukuki çerçeve açık ve uygulanabilir midir? Bu soruların cevapları, kurumsal kapasite ve yönetişim kalitesini ölçmektedir.

Makro Seviye (Bölgesel): Uluslararası ticaret rotaları coğrafik olarak erişilebilir midir? Bölgeler arası işbirliği siyasi olarak mümkün müdür? Bu faktörler, lojistik hub'ının yaşlanabilirliği (sustainability) ve uzun vadeli büyüme potansiyelini belirlemektedir.

Bosna-Hersek örneği, Sen'in yaklaşımını doğrulamaktadır: Dayton Anlaşması sonrasında Avrupa Birliği tarafından finanslanan eğitim programları, yerli mühendisleri yetiştirmiş; yerel katılım zorunluluğu, bireylerin özgürlük ve seçim kapasitesini artırmıştır (European Commission, 2020, s. 78-89). Türkiye'de ise, özellikle 2015 sonrası dönemde, yerel halk katılımı sınırlı olduğundan, bu kapasiteler tam olarak gelişmemiştir (Kalkınma Ajansı, 2022, s. 112).

2.2.2 Acemoglu-Robinson Kuramsal Çerçevesi: Kurumsal Kalite ve Ekonomik Büyüme

Daron Acemoglu ve James Robinson'ın (2012) çalışması, ekonomik kurumların niteliği ile uzun vadeli büyüme arasında güçlü bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Yazarlar "inclusive" (içerici) ve "extractive" (çıkarcı) kurumlar arasında temel ayrım yapmaktadırlar (Acemoglu & Robinson, 2012, s. 76-89).

İçerici Kurumlar: Geniş katılıma açık, mülkiyet hakları korunmuş, hukuk devleti ilkelerine dayalı.

Çıkarcı Kurumlar: Dar bir gruba fayda sağlayan, mülkiyet haklarına güvensiz, keyfi yönetim.

Post-çatışma bölgelerde lojistik altyapısı dönüşümü, kurumsal yapının türüne bağlı olarak farklı sonuçlar vermektedir. Bosna-Hersek (içerici kurumlar): Dayton Anlaşması, çatışan grupların hukuki korunmasını sağlayıcı niteliktedir; mülkiyet hakları anayasal seviyede garantilidir; lojistik merkez işletme şirketleri rekabetçi ortamda faaliyet göstermektedir (World Bank, 2015, s. 45-67).

Suriye (çıkarcı kurumlar): Esad rejimi, askeri ve güvenlik aparatı tarafından kontrol edilen bir ekonomiye sahiptir; mülkiyet hakları keyfidir; lojistik altyapısı, rejim taraftarlarına fayda sağlamak üzere işletilmektedir (UN-ESCWA, 2023, s. 34). Acemoglu-Robinson modeli, Türkiye'yi "kısmi içerici" olarak konumlandırır: Yasal çerçeve içerici nitelikte olsa da uygulamada bölgesel dengesizlikler ve mercilerin takdir yetkisi mevcuttur (Turkish Statistical Institute, 2023).

2.3 Altyapı Ekonomisi ve Spillover Mekanizmaları

2.3.1 Hirschman'ın Backward-Forward Linkages Modeli

Albert Hirschman'ın (1958) forward ve backward linkages teorisi, altyapı yatırımlarının ekonomiye nasıl yayıldığını açıklamaktadır (Hirschman, 1958, s. 98-125). Backward linkages (geri bağlantılar), lojistik merkezinin inşası sırasında çelik, çimento, işçilik talebini yaratarak yerel ekonomiye canlılık getirmektedir. Forward linkages (ileri bağlantılar) ise, kurulan lojistik merkezinin işletmesi sonrasında ticari faaliyetlara konaklama, gıda, araştırma hizmetleri talebini yaratmaktadır.

Türkiye örneğinde, Mardin'de kurulan tarım lojistik merkezi, inşaat döneminde 500 işçi istihdam etmiş, çimento ve çelik talebini artırmıştır (backward linkage). Ancak işletme döneminde, yalnızca 150 kişi istihdam edilmiş, tarım üretimi yetersiz kalmıştır, dolayısıyla forward linkages zayıf olmuştur (Kalkınma Ajansı, 2023, s. 156).

Balkan örneğinde, Sarajevo Ekonomik Serbest Bölgesi, hem backward hem forward linkages açısından başarılı olmuştur. Inşaat döneminde 2.000 işçi istihdam edilmiş; işletme döneminde 300'den fazla işletme, tekstil, depo hizmetleri ve lojistik danışmanlık sunmaya başlamıştır (World Bank, 2018, s. 89).

2.3.2 Perroux'un Büyüme Kutupları Teorisi

François Perroux'un (1955) büyüme kutupları (growth poles) teorisi, lojistik hub'larının bölgesel kalkınmada merkezi rol oynayabileceğini göstermektedir (Perroux, 1955, s. 307-318). Temel fikir şudur: Stratejik konumda kurulan bir ekonomik merkez (hub), çevresinde yayılma etkisi (spillover effects) yaratabilir. Başarılı hub'lar, şehirleşme, istihdam ve yeni işletmeler çekmeyi sağlamaktadır.

Kosova örneğinde, 1999 sonrasında NATO tarafından kontrol edilen Prishtine askeri üssü, 2012'de ticari havaalanına dönüştürülmüştür. Bölgede hava taşımacılığı, turizm, otel ve restoran sektörleri gelişmiş; Prishtine şehri nüfusu 2012-2023 döneminde yüzde 28 oranında artmıştır (Kosovo Statistics Agency, 2023, s. 67). Bu, Perroux'un büyüme kutupları teorisinin pratik doğrulanması niteliğindedir.

3. TÜRKIYE'NİN GÜNEYDOĞU ANADOLU DÖNEMİ (2010-2025)

3.1 Çatışma Tarihi ve Askeri Lojistik Altyapısı

Türkiye'de PKK ile silahlı çatışma 1984 yılında başlamıştır ve 1999 yılında sembolik bir barış dönemine girmiştir. Ancak 2015 yılında, başta Diyarbakır olmak üzere, çatışmalar yeniden yoğunlaşmıştır (International Crisis Group, 2021, s. 12). 2015-2023 döneminde, Türkiye Güneydoğu Anadolu'da masif askeri lojistik altyapısı geliştirmiştir. Şırnak, Hakkari, Mardin ve Diyarbakır illerinde 12 ana askeri üs, 47 güvenlik karakolu ve geniş ulaştırma ağı kurulmuştur (Turkish General Staff, 2022, s. 45).

Söz konusu altyapıya yapılan yatırım önemlidir. Güneydoğu Anadolu'daki karayolu ağına 2010-2022 döneminde 45 milyar Türk Lirası yatırım yapılmıştır (Ministry of Transport, 2023, s. 156). Bunun yanı sıra, demiryolu projeleri (Van-Tatvan hattı, Kurtalan-Tatvan) ile liman ve depo tesisleri (Cizre, Mardin, Hakkari) inşa edilmiştir.

3.2 Barış Döneminde Ekonomik Dönüşüm Girişimleri

Türkiye, barış sonrası dönemde lojistik altyapısını ekonomik amaçlara dönüştürmek üzere üç ana stratejik alanı hedeflemiştir.

3.2.1 Turizm Altyapısı Geliştirme

İlk strateji, askeri yolların turizm rotalarına dönüştürülmesidir. Nemrut Dağı yolu ile Mardin'in tarihi sokaklarına yol açan altyapı, turizm sektörünü destekleme amacıyla modernize edilmiştir. Ancak güvenlik endişeleri turizm talebini önemli ölçüde sınırlamıştır. 2019 yılında, bölge turizminden 1.2 milyar USD gelir sağlanmışken, çatışmaların yeniden başlamasının ardından 2023'te bu rakam 800 milyon USD'ye düşmüştür (Turkish Statistical Institute, 2024, s. 234). Bu, güvenlik istikrarı olmadan lojistik altyapısı dönüşümünün sınırlı etkinliğini göstermektedir.

3.2.2 Tarım Lojistik Merkezleri ve Sınır Ticareti

İkinci strateji, Mardin ve Batman'da tarım lojistik merkezleri kurulmasıdır. Bu merkezlerde, bölgesel tarım ürünleri depolanmakta ve işlenmektedir. Ancak yerel tarım üretimi düşük kalmış, merkezler eksik kapasitede çalışmaktadır. Aynı şekilde, Cizre ve Silopi'de sınır kapılarının modernizasyonu gerçekleştirilmiş, ancak Irak ve Suriye ile ticari akış siyasi belirsizlik nedeniyle sınırlı kalmıştır (Development Agencies Coordination Board, 2023, s. 145).

3.2.3 Lojistik Hub Projesi

Üçüncü strateji, bölgede lojistik hub'ı kurulmasıdır. Diyarbakır ve Batman'da geliştirilen lojistik merkezleri, ticari taşımacılık ve depolama hizmetleri sunmaya başlamıştır. 2023 yılında, söz konusu merkezlerde toplam 2.500 kişi istihdam edilmektedir (Turkish Logistics Association, 2023, s. 89).

3.3 Başarılar ve Sınırlamalar

Türkiye'nin dönüşüm girişimleri, kısmi başarılar ve önemli sınırlamalar göstermektedir. Pozitif taraftan, karayolu ağının sivil kullanımı artmış, bölgelerarası ticaret 2015-2023 döneminde yüzde 18 oranında artmıştır (Turkish Statistical Institute, 2024, s. 167). Batman ve Mardin'de kurulan lojistik merkezlerinde 2.500'ün üzerinde yeni istihdam yaratılmıştır.

Ancak önemli engeller mevcuttur. Güvenlik endişeleri özel yatırımı önemli ölçüde engellemiştir; 2015-2023 döneminde Güneydoğu'ya doğrudan yabancı yatırım sadece 340 milyon USD olmuştur (UNCTAD, 2024, s. 178). Bu, ülke ortalamasının (2.500 milyon USD) yaklaşık yüzde 14'üdür. Yerel halk istihdamında ise, beceri uyuşmazlığı nedeniyle yüzde 30'un altında kalmıştır; merkezlerde çalışan uzmanlar çoğunlukla başka bölgelerden getirilmiştir (Development Agencies Coordination Board, 2023, s. 156). Suriye ve Irak sınır ticareti, siyasi ilişkiler ve ticari anlaşmaların belirli olmaması nedeniyle öngörülü olmamıştır.

4. ORTADOĞU ÖRNEKLERI: SURIYE VE IRAK

4.1 Suriye'de Lojistik Altyapısı ve Çatışma (2011-2025)

2011 yılında başlayan Suriye iç savaşı, bölgenin ticari altyapısında muasır bir tahribata neden olmuştur. Savaş sırasında, Suriye'de inşa edilen askeri lojistik noktaları (Lazkiye, Tartus, Aleppo limanları) önemli hale gelmişdir. Lazkiye limanı, İran ve Rusya destekli güçlerin tedarik noktası olmuş; Tartus limanında ise Rus askeri üssü kurulmuştur. Aleppo limanı ve Homs depo tesisleri ise çatışmaların merkez noktası olmuş ve ciddi hasar görmüştür (UN-ESCWA, 2023, s. 134).

Barış sonrası dönüşüm fiilen gerçekleşmemiştir. Tartus limanı Rus askeri varlığı nedeniyle sivil ticarete açılamamış; Aleppo limanı ve Homs depo tesisleri harap durumdadır. Uluslararası ambargo ve güvenlik istikrarsızlığı nedeniyle, lojistik altyapısının ekonomik işler haline dönüştürülmesi başarısız olmuştur. 2023 itibariyle, Suriye'de post-çatışma ekonomik kalkınması minimal seviyelerdedir. Ülkenin gayri safi yurtiçi hasıla, 2011 öncesi seviyenin yüzde 25'ine düşmüştür (World Bank, 2023, s. 267).

4.2 Irak'ta IŞİD Sonrası Lojistik Dönüşümü (2014-2025)

Irak'ta IŞİD'e karşı mücadele (2014-2017) sonrasında, ülkede askeri lojistik altyapısı yoğun olarak kullanılmıştır. Musul, Kerkük, Bağdat ve Basra'da askeri lojistik üsleri inşa edilmiş; Umm Qasr limanı askeri lojistik merkezi haline gelmiştir (International Monetary Fund, 2023, s. 89).

IŞİD yenildikten sonra, Irak hükümeti lojistik altyapısını ekonomik amaçlara dönüştürme girişiminde bulunmuştur. Umm Qasr limanı, sivil ticari liman olarak modernizasyonuna başlanmıştır. 2018-2023 döneminde, 1.8 milyar USD yatırım yapılmıştır. 2023 yılında, liman 26 milyon ton yük işlemek üzere kapasitesine ulaşmıştır (Port Authority of Iraq, 2023, s. 156). Bağdat-Basra demiryolu projesi devam etmektedir ve yakında tamamlanması beklenmektedir. Kerkük'te petrol lojistik hub'ının kurulması, petrol ve petrokimya ürünlerinin depolama ve taşıması sağlamaktadır.

Irak'ın ticari başarısı kısmi olmuştur. Ülkenin dış ticaret hacmi 2017'den 2023'e yüzde 45 oranında artmıştır (Iraqi Ministry of Trade, 2023, s. 78). Ancak, yerel kurumsal kapasite yetersiz olmuştur; Umm Qasr limanının işletmesinde Belçika, Hollanda ve Singapur'dan danışmanlar kullanılmıştır (World Bank, 2021, s. 134-145). Bağdat'tan Basra'ya gemi nakliyesi, Irak-İran ticareti tarafından belirlenmiş, diğer bölgesel ticaret rotaları henüz gelişmemiştir.

5. BALKAN KARŞILAŞTIRMASI: BOSNA-HERSEK VE KOSOVA

5.1 Bosna-Hersek'te Dayton Sonrası Dönüşüm (1995-2025)

1992-1995 yılları arasında yaşanan Bosna savaşı, bölgenin ticari altyapısında ciddi tahribata neden olmuştur. Dayton Anlaşması (1995) sonrasında, Bosna-Hersek'te 50'den fazla askeri üs yeniden yapılandırılmış ve büyük ölçüde kapatılmıştır. Bu altyapılar sivil ekonomiye dönüştürülmek üzere plan yapılmıştır (Hirschman, 1995, s. 34-45).

Başarılı Dönüşüm Örnekleri:

Sarajevo Askeri Üssü, 1997 yılında kapatılmış ve Ekonomik Serbest Bölgeye dönüştürülmüştür. Serbest bölgede, 300'den fazla işletme kurulmuş; tekstil, depo hizmetleri ve lojistik danışmanlık yapılan işletmeler 5.000'in üzerinde istihdam sağlamıştır (European Commission, 2020, s. 167-178). Mostar Lojistik Merkezi, 1998'den sonra bölgesel ticaret hub'ı haline gelmiş; Dalmaçya ve Adriyatik bölgesine ticari rota sağlamıştır. Tuzla Limanı, Duna nehri ticaret merkezi olarak faaliyet göstermiş; Avusturya, Çek Cumhuriyeti ve Macaristan ile ticaret bağlantıları kurulmuştur.

Başarı Faktörleri:

Bosna-Hersek'teki başarının temel faktörleri, Acemoglu-Robinson ve Sen kuramlarını doğrular nitelikte olmuştur. Birincisi, uluslararası destek sayılabilir. IMF, Dünya Bankası ve Avrupa Birliği, 1995-2025 döneminde Bosna-Hersek'e 14 milyar USD yatırım sağlamıştır (World Bank, 2022, s. 89). İkincisi, hukuki çerçeve bellidir. Dayton Anlaşması, net yönetim yapısı belirlemiş, mülkiyet hakları anayasal seviyede garantilenmiştir. Üçüncü olarak, yerel katılım zorunlu kılınmıştır. Serbest bölgeler kurulurken, çatışan gruplar (Bosniak, Hırvat, Sırp) arasında ekonomik işbirliği şart koşulmuştur. Dördüncü olarak, teknoloji transferi yoğunlaştırılmıştır. AB fonları, eğitim ve kapasitelenmeye ayrılmış; teknik danışmanlar görevlendirilmiş; yerli mühendisler eğitilmiştir (Acemoglu & Robinson, 2012, s. 123-134).

5.2 Kosova'da Kamp ve Havaalanı Dönüşümü (1999-2025)

1998-1999 Kosova savaşı sonrasında, NATO müdahalesi ülkeyi parçalamıştır. Çok sayıda Sırp askeri üssü, NATO tarafından kontrol edilmiş ve ardından sivil hale dönüştürülmüştür. Prishtine Askeri Üssü, 2012'de ticari havaalanına dönüştürülmüştür. Havaalanının gelişimi hızlı olmuştur; 2012'de 500.000 yolcu taşıyorken, 2023'te 2.1 milyon yolcuya ulaşmıştır (Kosovo Statistics Agency, 2023, s. 112). Bölgede hava taşımacılığı, turizm, otel ve restoran sektörleri gelişmiş; Prishtine şehri nüfusu 2012-2023 döneminde yüzde 28 oranında artmıştır.

Prizren Lojistik Merkezi, Arnavutluk ve Kuzey Makedonya ile sınır ticareti hub'ı haline gelmiştir. Ancak, Kosova'da da zorluklar mevcuttur. Yerel kurumsal kapasite gelişimi yavaş olmuş; yabancı danışmanlık ihtiyacı devam etmiştir. Ayrıca, bölgede etnik gerilimler ekonomik işbirliğini bazen sekteye uğratmıştır (International Crisis Group, 2022, s. 45-67).

6. KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ VE BAŞARI FAKTÖRLERİ

6.1 Performans Göstergeleri

Post-çatışma bölgelerinde lojistik altyapısı dönüşümünün başarısını ölçmek üzere, beş ana gösterge belirlenmiştir: (1) Güvenlik istikrarı, (2) Uluslararası finansal destek miktarı, (3) Hukuki çerçevenin netliği, (4) Yerel toplumun katılım düzeyi, (5) Dönüşüm sonrası ekonomik büyüme oranı.

Güvenlik İstikrarı: Bosna-Hersek ve Kosova, 2010 sonrasında nispeten yüksek güvenlik istikrarı göstermiş (85/100 ve 80/100); Türkiye'nin Güneydoğu'su 2015-2023 çatışmalar nedeniyle 70/100; Irak 55/100; Suriye ise 25/100 alarak en düşük puanı almıştır (International Crisis Group, 2023).
Uluslararası Destek: Bosna-Hersek 14 milyar USD (95/100), Kosova 7 milyar USD (90/100), Irak 5 milyar USD (60/100), Türkiye 2-3 milyar USD (50/100), Suriye 0.5 milyar USD (20/100) almıştır (UNCTAD, 2024; World Bank, 2023).
Hukuki Çerçeve: Dayton ve Kosova anayasaları net (90/100, 85/100); Türkiye'nin mevcut çerçevesi içerici ancak bölgesel uygulamada dengesiz (65/100); Irak savaş sonrasında hukuki düzenler kurmuş (50/100); Suriye'de hukuki çerçeve tamamen çökmüştür (30/100).
Yerel Katılım: Balkan ülkeleri özellikle zorunlu katılım politikaları ile yüksek düzey göstermiş (75/100, 70/100); Türkiye'de katılım sınırlı (55/100); Irak 45/100; Suriye 20/100.
Dönüşüm Başarısı ve Ekonomik Büyüme: Bosna-Hersek 88/100 başarı puanı ile yüzde 4.2 yıllık ekonomik büyüme; Kosova 82/100 ile yüzde 5.1; Irak 55/100 ile yüzde 3.8; Türkiye 60/100 ile yüzde 2.1; Suriye 20/100 ile eksi yüzde 5.2 göstermiştir (World Bank, 2023; IMF, 2024).

6.2 Başarı Faktörlerinin Analizi

6.2.1 Güvenlik İstikrarı

Güvenlik istikrarı, lojistik altyapısı dönüşümünün ilk ve en önemli koşuludur. Balkan örnekleri (Bosna %85, Kosova %80) ile Ortadoğu (Suriye %25, Irak %55) arasındaki fark, güvenlik istikrarının kritik rolünü göstermektedir. Suriye'de 2011-2025 döneminde devam eden çatışmalar, hiçbir sivil lojistik merkezi kurulmasını engellemiştir. Özel yatırımcılar, iş güvenliğine ilişkin endişe nedeniyle yatırım yapmamıştır (International Crisis Group, 2021, s. 56-78).
Collier ve Hoeffler'in (2004) modeli bu fenomeni açıklamaktadır: Çatışma süreğen hale geldiğinde, ekonomik aktörler uzun vadeli yatırım planlarını iptal etmekte; özel kapasite ve işgücü göç etmektedir. Bu döngü, ekonomik büyümeyi negatif bir spiral haline getirmektedir.

6.2.2 Uluslararası Finansal Destek

Uluslararası destek, barış sonrası dönüşüm için kritik kaynak teşkil etmektedir. Bosna-Hersek'in 14 milyar USD alması, Türkiye'nin 2-3 milyar USD almasından çok daha kapsamlıdır. IMF, Dünya Bankası ve özellikle Avrupa Birliği'nin açık ve uzun vadeli taahhütleri, dönüşüm stratejilerini güvence altına almıştır (Sachs & Warner, 1999, s. 156-178).
Bosna-Hersek'te uluslararası destek şunları sağlamıştır: (1) Altyapı yeniden inşası için doğrudan finansman, (2) Kurumsal kapasite geliştirme programları, (3) Eğitim ve teknoloji transferi, (4) Bölgesel ticaret anlaşmaları müzakeresi.
Türkiye'de ise, benzer kapsamda uluslararası destek sağlanmadığı için, bu araçlar sınırlı ölçüde kullanılabilmiştir. Kalkınma Ajansları, merkezi bütçe kaynaklarından finanse edilmiş; uluslararası danışmanlık sınırlı kalmıştır.

6.2.3 Hukuki Çerçeve ve Yönetişim

Dayton Anlaşması ve Kosova Anayasası, net yönetim yapıları belirlemiştir. Mülkiyet hakları koruma altına alınmış; ticari işletmelere yasal güvence sağlanmıştır; uyuşmazlık çözüm mekanizmaları kurulmuştur (Acemoglu & Robinson, 2012, s. 89-112).
Türkiye'de ise, merkezi hükümetin Güneydoğu'ya yönelik stratejisi dönemlere göre değişmiştir. 2010-2015 döneminde (barış dönemi), bölgeye yatırım artmışsa da, 2015 sonrası çatışmalar yeniden başlayınca politika revizyona uğramıştır. Hukuki çerçeve içerici ama uygulamada güvenlik gerekçesiyle kısıtlanmıştır (Turkish Statistical Institute, 2023).
Suriye'de ise, yasal çerçeve tamamen çökmüştür. Esad rejimi tarafından yönetilen ekonomide, özel mülkiyet garantisi ve ticari hukuk uygulanamaz hale gelmiştir.

6.2.4 Yerel Toplumun Katılımı

Balkan örneklerinde yerel halk, dönüşüm sürecine etkin olarak katılmıştır. Bosna'da, çatışan gruplar arası ekonomik işbirliği zorunlu kılınmış; serbest bölgelerde her üç etnik grubun temsilci yönetim görmesi garanti edilmiştir. Kosova'da ise, harita rengine bakılmaksızın (etnik kökene bakılmaksızın) istihdam teşvikleri verilmiştir (European Commission, 2020, s. 145-167).

Türkiye'de, bölge halkının dönüşüm sürecindeki rolü sınırlı kalmıştır. Lojistik merkezler, merkezi hükümetin planları doğrultusunda kurulmuş; yerel girişimcilerin katılımı sınırlı olmuştur (Development Agencies Coordination Board, 2023). Suriye'de ise, yerel katılım tamamen imkansız hale gelmiştir; rejim denetimi altında hiçbir bağımsız ekonomik girişim mümkün olmamıştır.

6.2.5 Teknoloji Transferi ve Eğitim

Balkan ülkelerinde, teknoloji transferi sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. AB fonları, yüksek teknoloji imalat ve lojistik eğitim programlarına ayrılmıştır. Böylelikle yerel işgücü, modernized lojistik operasyonlarına hazır hale gelmiştir. Örneğin, Sarajevo Lojistik Merkezi'nde, ilk yıllarda yabancı mühendisler çalıştırılmışsa da, 5 yıl içinde yerli personel yetiştirilerek aşamalı olarak yerlerine geçmişlerdir (World Bank, 2018, s. 112-134).

Türkiye'de, bu tür koordineli eğitim programları eksiktir. Lojistik merkezlerde çalışan uzmanlar çoğunlukla Ankara, Istanbul ya da Izmir'den görevlendirilmiştir; bölge genç nüfusunun beceri geliştirme programları yetersiz kalmıştır (Kalkınma Ajansı, 2023).

Irak'ta ise, becerilerin yanı sıra kurumsal bilgi de dışarıdan ithalatı zorunlu olmuştur. Umm Qasr limanının modern işletilmesi, Singapur ve Belçika'dan gelen danışmanların rehberliğinde olmuştur (World Bank, 2021, s. 156-167). Bu, yerel kapasite geliştirmesinin yavaş olduğunu göstermektedir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu araştırma, post-çatışma ekonomisi literatürüne üç alanda kontribüsyon yapmaktadır.

Birincisi, Collier-Hoeffler modeli doğrulanmıştır: Çatışma süresi ve şiddeti arttıkça, barış sonrası ekonomik iyileşme yavaşlamaktadır. Ancak, modele yeni bir boyut eklenmiştir: Barış sonrası kurumsal altyapı ve uluslararası destek, ekonomik iyileşme hızını belirleyici faktörlerdir. Bosna ve Kosova, bu ek faktörleri olmasaydı, Irak kadar yavaş iyileşme gösterecekti.

İkincisi, Sen'in Kapasite Yaklaşması doğrulanmıştır, ancak genişletilmiştir. Fiziki altyapı olmaksızın kapasite gelişmesi etkisiz olabileceği gösterilmiştir. Balkan ülkeleri, hem altyapı hem kapasite gelişimi sağladı için başarılı olmuştur.

Üçüncüsü, Acemoglu-Robinson'ın kurumsal kalite teorisi, post-çatışma bölgelere uygulandığında, haklı çıkmaktadır. İçerici kurumlar olan Balkan ülkeleri, çıkarcı kurumlar olan Ortadoğu ülkelerinden daha iyi performans göstermiştir.

Politika Önerileri

- Türkiye için:

Güneydoğu'ya yönelik dönüşüm stratejisinde yerel topluluğun katılımı artırılmalıdır. Lojistik merkez kurulu planlarında, yerel girişimcilerin % 30 payı zorunlu kılınabilir.

Uluslararası finansal destek ve teknik yardım talep edilmelidir. AB ve Dünya Bankası'ndan özel bölgesel kalkınma fonları açılması talep edilebilir.

Eğitim ve teknoloji transferi programları yoğunlaştırılmalıdır. Anadolu Üniversiteleri, lojistik ve depo yönetimi alanında sertifika programları açabilir.

- Bölgesel Ülkeler (Irak, Suriye):

Bölgesel ticaret anlaşmaları müzakere edilmelidir. Irak-Türkiye-Körfez Devletleri ticaret koridoru, lojistik altyapısının rolünü artırabilir.

Güvenlik sektörü reformu, ekonomik aktiviteyi teşvik etmek için gereklidir. Askeri kontrol azaltılırken, hukuk devleti güçlendirilmelidir.

- Uluslararası Topluluk:

Post-çatışma lojistik dönüşümü, barış anlaşmalarının müzakere edilen unsurları haline getirilmelidir. Dayton Anlaşması'ndan ders alınarak, yeni anlaşmalara "ekonomik altyapı dönüşümü" bölümleri eklenebilir.

Uzun vadeli (15-20 yıl) finansal taahhütler verilmelidir. Kısa vadeli yardımlar yerine, tutuş bir barış ekonomisi yapı inşası teşvik edilmelidir.

Post-çatışma bölgelerinde askeri lojistik altyapısının sivil ekonomik faaliyetlere başarıyla dönüştürülmesi, tek bir faktöre değil, beşli bir kombinasyona bağlıdır: (1) Güvenlik istikrarı, (2) Uluslararası finansal destek, (3) Hukuki çerçeve, (4) Yerel katılım, (5) Teknoloji transferi ve eğitim.

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu'su, bu beş faktörün kısmen gerçekleştiği bir "orta başarı" vakası sunmaktadır. Karayolu ve depo altyapısı geliştirilmiş, yerinde yatırım yapılmış; ancak güvenlik istikrarı şimdiye kadar tam sağlanmamış, uluslararası destek sınırlı olmuş, yerel katılım zayıf kalmıştır. Sonuç olarak, ekonomik büyüme hızı (yüzde 2.1) diğer bölgelerden daha düşük olmuştur.

Balkan örnekleri (Bosna-Hersek % 88 başarı, Kosova % 82 başarı), tüm beş faktör sağlandığında ne kadar hızlı ve etkin dönüşüm sağlanabileceğini göstermektedir. Dayton Anlaşması'nın yasal çerçeve, uluslararası toplumun finansal desteği, yerel katılım politikaları ve eğitim programları, ekonomik büyümeyi hızlandırmıştır (yüzde 4.2-5.1).

Suriye (yüzde 20 başarı), bu faktörlerin eksikliğinde meydana gelen tam başarısızlığı temsil etmektedir. 12 yıllık iç savaş, güvenlik istikrarını imkansız kılmış; ambargosu, uluslararası desteği engellemiş; rejim denetimi, hukuk devletini ve yerel katılımı ortadan kaldırmıştır. Sonuç, -yüzde 5.2'lik iktisadi büyümeyi (yani, ekonomik çöküşü) göstermektedir.

Irak (yüzde 55 başarı), barış sonrası gelişim ile çatışan güvenlik sorunları arasındaki dengesiz durumu yansıtmaktadır. Uluslararası destek ve hukuki çerçeve mevcutken, güvenlik istikrarı tam olmadı; yerel kapasite yavaş gelişti. Netice, yüzde 3.8'lik kısmi büyümedir.

Gelecek araştırmalar, bu modelin Güney Asya (Afganistan post-2021) ve Afrika (Mali, Somali) örneklerine uygulanabilirliğini test edebilir. Ayrıca, iklim değişikliği ve dijitalleşmenin post-çatışma lojistik dönüşümüne etkisi, yeni araştırma alanları oluşturmaktadır. Politikacılar ve uluslararası kuruluşlar, bu araştırmanın bulguların kullanarak, gelecekteki barış inşası süreçlerinde lojistik altyapısını ekonomik kalkınmanın merkezi unsuru haline getirmelidirler.

KAYNAKÇA

Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty. Crown Publishers.

Anadolu Development Agency. (2022). Southeastern Anatolia development strategy 2022-2025. Ankara: ADC Publications.

Collier, P. (2007). The bottom billion: Why the poorest countries are failing and what can be done about it. Oxford University Press.

Collier, P., & Hoeffler, A. (2004). Greed and grievance in civil war. Oxford Economic Papers, 56(4), 563-595.

Development Agencies Coordination Board. (2023). Regional development indicators report. Ankara: Turkish Ministry of Development.

European Commission. (2020). EU assistance to Bosnia and Herzegovina 1995-2020: Impact assessment. Brussels: European Commission Publications.

Hirschman, A. O. (1958). The strategy of economic development. Yale University Press.

International Crisis Group. (2021). Turkey's Kurdish conflict: De-escalating the deadlock. Brussels: ICG Report.

International Crisis Group. (2022). Kosovo's troubled path to stability. Brussels: ICG Report.

International Crisis Group. (2023). Middle East conflict risk assessment 2023. Brussels: ICG Report.

International Monetary Fund. (2023). World economic outlook: Iraq growth and fiscal sustainability. Washington, D.C.: IMF Publications.

Iraqi Ministry of Trade. (2023). Annual foreign trade report 2023. Baghdad: Ministry Publications.

Kalkınma Ajansı Koordinasyon Kurulu. (2022). Güneydoğu Anadolu bölgesi ticaret ve lojistik raporu. Ankara: KAKK Yayınları.

Kalkınma Ajansı Koordinasyon Kurulu. (2023). Bölgesel kalkınma göstergeleeri. Ankara: KAKK Yayınları.

Kosovo Statistics Agency. (2023). Annual airport operations report 2023. Pristina: KSA Publications.

Ministry of Transport and Infrastructure. (2023). Southeastern Anatolia highway investment report 2010-2023. Ankara: Turkish Ministry Publications.

Perroux, F. (1955). Note on the concept of "growth poles". Economic Appliquée, 8(1), 307-320.

Port Authority of Iraq. (2023). Umm Qasr port operational statistics 2023. Basra: PAI Publications.

Sachs, J. D., & Warner, A. M. (1999). The big push, natural resource booms and growth. Journal of Development Economics, 59(1), 43-76.

Sen, A. (1999). Development as freedom. Oxford University Press.

Sen, A. (2005). The argumentative Indian: Writings on Indian history, culture and identity. Farrar, Straus and Giroux.

Turkish General Staff. (2022). Southeastern Anatolia security infrastructure assessment 2022. Ankara: TSK Publications.

Turkish Logistics Association. (2023). Regional logistics centers performance report. Istanbul: TLA Publications.

Turkish Statistical Institute. (2023). Regional economic indicators 2023. Ankara: TURKSTAT Publications.

Turkish Statistical Institute. (2024). Tourism statistics and southeastern Anatolia analysis. Ankara: TURKSTAT Publications.

UN-ESCWA. (2023). Syria economic outlook and post-war recovery challenges. Beirut: UN Publications.

UNCTAD. (2024). World investment report: Middle East and Turkey regional analysis. New York: UNCTAD Publications.

World Bank. (2015). Bosnia and Herzegovina: Post-conflict reconstruction assessment and lessons learned. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Bank. (2018). Sarajevo economic free zone impact evaluation. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Bank. (2020). Iraq development strategy and sectoral analysis. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Bank. (2021). Iraq: Institutional capacity assessment for port operations and development. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Bank. (2022). Balkans regional development: Twenty-five years after Dayton. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Bank. (2023). World development indicators and regional economic analysis. Washington, D.C.: World Bank Publications.

JEOPOLİTİK GERGİNLİKLER DÖNEMİNDE KRİTİK MALZEMELERİN TEDARİK GÜVENLİĞİ

SECURITY OF SUPPLY FOR CRITICAL MATERIALS IN THE PERIOD OF GEOPOLITICAL TENSIONS

Erdal KILIÇ
Dr. Öğr. Görevlisi,Milli Savunma Üniversitesi, Kara Harp Okulu, Savunma Araştırmaları Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-9308-5028

ÖZET
Bu çalışmada, 2020-2025 yılları arasında küresel jeopolitik gerginliklerin artması bağlamında, kritik malzemelerin tedarik güvenliğinin ulusal ve uluslararası ekonomi üzerindeki etkileri incelenmektedir. Araştırmanın temel hipotezi, jeopolitik çatışmaların, özellikle Rusya-Ukrayna savaşı, ABD-Çin ticari gerginlikleri ve Orta Doğu'daki bölgesel krizlerin, ender toprak elementleri, yarı iletkenler, lityum, nikel ve diğer kritik minerallerin küresel tedarik zincirini ciddi biçimde sekteye uğrattığını ve bunun da, yerli üretim, jeopolitik çeşitlendirme ve stratejik rezerv oluşturma yoluyla çözüm arayışını tetiklediğini göstermektedir. Karşılaştırmalı analiz yöntemi kullanılarak, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği, Çin, Rusya, Hindistan ve Türkiye'nin kritik malzeme tedarik stratejileri incelenmektedir. Bulgular, küresel ekonominin kritik malzemelere olan bağımlılığının yüksek olduğunu, bu bağımlılığın jeopolitik kırılganlıklar yarattığını ve başarılı tedarik güvenliği stratejileri geliştirebilen ülkelerin 2025 sonrasında teknolojik ve ekonomik avantajlar kazanacağını göstermektedir. ABD ve AB, tedarik çeşitlendirmesi ve iç üretim artışı politikalarını benimsemişlerdir. Çin, esas tedarik kaynakları üzerindeki kontrolünü korumaya çalışmaktadır. Türkiye ise, jeopolitik konumu nedeniyle hem Batı hem de Doğu arasında stratejik bir rol oynayabilir ancak bunun için yerli teknoloji geliştirme ve kurumsal kapasite artırması gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Kritik malzemeler, jeopolitik risk, tedarik zinciri, ender toprak elementleri, yarı iletkenler, ulusal güvenlik, ekonomik bağımsızlık, tedarik çeşitlendirmesi

In this study, the impact of supply security of critical materials on national and international economies is examined in the context of increasing global geopolitical tensions between 2020 and 2025. The main hypothesis of the research is that geopolitical conflicts, particularly the Russia-Ukraine war, US-China trade tensions, and regional crises in the Middle East, have severely disrupted the global supply chain of rare earth elements, semiconductors, lithium, nickel, and other critical minerals, thereby triggering a search for solutions through domestic production, geopolitical diversification, and the establishment of strategic reserves. Using the comparative analysis method, the critical material supply strategies of the United States, the European Union, China, Russia, India, and Turkiye are being examined. The findings indicate that the global economy's dependence on critical materials is high; this dependence creates geopolitical vulnerabilities, and countries that can develop successful supply security strategies will gain technological and economic advantages after 2025. The US and the EU have adopted policies of supply diversification and increased domestic production. China is trying to maintain its control over the main supply sources, particularly in critical materials such as rare earth elements and semiconductors, which are essential for technological advancements and national security. Turkiye, due to its geopolitical position, can play a strategic role between both the West and the East, but for this, it needs to develop domestic technology and enhance its institutional capacity, particularly in critical materials and rare earth elements, to ensure economic independence and mitigate geopolitical risks.
Keywords: Critical materials, geopolitical risk, supply chain, rare earth elements, semiconductors, national security, economic independence, supply diversification

1. GİRİŞ

Son beş yıldır, dünya ekonomisinin temel sorunu bir paradoks içermektedir. Küresel ekonomi, hiç olmadığı kadar teknolojiye bağımlı hale gelmiş, ancak bu teknolojiye gerekli olan ham maddeler, çok az sayıda ülkenin elinde yoğunlaşmıştır (United States Geological Survey, 2023, s. 34). Elektrikli araçlar üretmek için lityum ve kobalt gereklidir; batılı şirketlerin kullandığı bu kaynakların büyük bölümü Kongo'dan gelmektedir.

Bilgisayar çipleri üretmek için ender toprak elementleri gereklidir ve bunların yüzde doksan beşi Çin'de işlenmektedir (Rare Earth Processing Association, 2024, s. 156). Güneş panelleri üretmek için silikon gereklidir; küresel silikon üretiminin yüzde yetmiş beşi Çin'de yapılmaktadır (China Nonferrous Gold Limited, 2023, s. 89).

Bu bağımlılık, jeopolitik çatışmaların yoğunlaştığı bir dönemde, kritik bir risk haline gelmiştir. Rusya-Ukrayna savaşı başladığında, paladyum fiyatları yüzde otuz artmıştır (Bloomberg Commodity Index, 2022, s. 12). Çin, bir noktada, ender toprak elementlerinin ihracatını sınırlamakla tehdit etmiştir (Ministry of Commerce of the People's Republic of China, 2023, s. 45). Bu tehdit, ABD ve Avrupa endüstrisinde panik yaratmıştır (International Energy Agency, 2023, s. 178). Bugün, kritik malzemelerin tedarik güvenliği, havacılık, savunma ve enerji sektörleri kadar, otomotiv, elektronik ve enerji depolaması endüstrileri için de hayati hale gelmiştir (World Economic Forum, 2023, s. 67).

Kritik malzemeler, tanımsal olarak, ekonomik açıdan önemli, fakat elde edilmesi zor ve jeopolitik risk taşıyan hammaddelerdir (European Commission, 2023, s. 34-45). Bu tanım, geniş bir ürün yelpazesini kapsar. Ender toprak elementleri (lantanidler ve skandiyum), modern teknolojinin kalbi olmuştur. Hafif ender toprak elementleri, mıknatıslarda kullanılır ve elektrikli araç motorlarında olmazsa olmaz unsurdur. Ağır ender toprak elementleri, radar ve füze sistemlerinde kullanılır. Yarı iletkenler, her modern elektronik cihazda bulunur. Lityum, elektrik depolaması için en önemli mineraldir. Nikel ve kobalt, batarya teknolojisi için kritiktir. Paladyum, katalitik konvertörlerde ve elektronik uygulamalarda kullanılır. Altın ve gümüş, yüksek teknoloji üretimine girmektedir. Bu malzemelerin tümü, küresel tedarik zincirinde nispeten dar noktaları (bottleneck) vardır. Çoğu zaman, üretim bir veya birkaç ülkede yoğunlaşmıştır (United States Department of Energy, 2022, s. 123).

Bu makalede, 2020-2025 döneminde jeopolitik gerginliklerin kritik malzeme tedarik güvenliğine nasıl etki ettiği, ve bunun sonucunda, başlıca küresel güçlerin nasıl stratejiler geliştirdikleri incelenmektedir. Makalenin temel sorusu şudur: Küresel ekonominin kritik malzemelere olan bağımlılığını azaltmak için, hangi stratejiler başarılı olmuştur ve hangiler başarısız olmuştur? Bu soruda cevap bulurken, makale, ulusal güvenlik, ekonomik kalkınma ve jeopolitik stratejinin kesişim noktasında yer almaktadır. Makalenin argumentasyonu şu şekildedir. Önce, kritik malzemelerin tanımı, çeşitleri ve küresel tedarik zincirinin yapısı açıklanmaktadır. İkinci olarak, 2020-2025 döneminde yaşanan jeopolitik çatışmaların kritik malzeme fiyatlarına ve tedarik kesintilerine nasıl etki ettiği gösterilmektedir. Üçüncü olarak, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa Birliği, Çin ve diğer ülkelerin bu duruma karşılık olarak geliştirdikleri stratejiler incelenmektedir. Dördüncü olarak, Türkiye'nin bu yeni ortamda nasıl konumlandırılabileceği tartışılmaktadır. Son olarak, sonuçlar ve ileriye dönük öneriler sunulmaktadır.

2. TEORIK ÇERÇEVE VE KAVRAMSAL TEMEL

2.1 Jeopolitik Bağımlılık Teorisi ve İlişkisel Güç

Jeopolitik bağımlılık, iki veya daha fazla ülkenin, ekonomik kaynaklar, enerji, hammaddeler veya teknoloji konusunda birbirine bağımlı olması durumudur (Keohane & Nye, 1977, s. 8-29). Bu bağımlılık, eğer asimetrik ise, yani bir ülke diğerine göre daha az bağımlı ise, bağımlı ülkeye karşı güç ilişkisini değiştirir. Bu fenomen, ilk olarak 1970'ler petrol krizlerinde görülmüştür. Arap ülkeleri, petrol ambargosunu silah olarak kullanarak, ABD ve diğer batılı güçlerin üzerinde baskı kurmaya çalışmıştır (Hirsch, 1987, s. 45-67). O zamandan beri, jeopolitik aktörler, malzeme bağımlılığını güç ilişkisini değiştirme aracı olarak kullanmıştır.

Keohane ve Nye (1977), "karşılıklı bağımlılık" (interdependence) kavramını, uluslararası ilişkilerin daha iyi anlaşılması için geliştirmişlerdir. Ancak, kritik malzemelerin bağlamında, bağımlılık tamamen karşılıklı değildir (Keohane & Nye, 2012, s. 56-78). Çin, ender toprak elementlerinin işlenmesini kontrol etmekte, ancak bunlara sadece kendi endüstrisi için değil, batılı endüstriler için de ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, Çin asimetrik bir güç konumundadır. Bu asimetri, jeopolitik gerginlikler döneminde, güç ilişkisini değiştirmek için araç olarak kullanılabilmektedir (Barbieri, 2002, s. 123-145).

Türkiye bağlamında, bu teorinin uygulanması önemlidir. Türkiye, jeopolitik konumu nedeniyle, Batı ve Doğu arasında yer almaktadır (Larrabee, 2007, s. 34-56). Kritik malzemelerin tedarik güvenliği açısından, Türkiye, hem batılı ülkelerin enerji kaynaklarına ulaşması için bir köprü, hem de Doğu'nun teknoloji kaynaklarına ulaşması için bir köprü konumundadır. Bu konumun, Türkiye'yi güç ilişkisinde stratejik bir aktör haline getirebilme potansiyeli vardır. Ancak, bunu başarabilmek için, Türkiye'nin kendi teknoloji ve malzeme yeteneklerini geliştirmesi gerekmektedir (Mütercimler, 2021, s. 167-189).

2.2 Ekonomik Güvenlik Teorisi ve Arz Zincir Kırılganlığı

Ekonomik güvenlik, bir ülkenin, ekonomik bağımlılıklar nedeniyle, müzakere kabiliyetinin, varlıklarının veya refahının tehdit altında olması durumudur (Baldwin, 1997, s. 12-34). Klasik güvenlik teorisinde, güvenlik, askeri güçtür. Ancak, ekonomik güvenlik teorisi, güvenliğin ekonomik boyutunun da aynı derecede kritik olduğunu savunmaktadır (Hirschman, 1945, s. 89-112). Örneğin, bir ülke, askeri açıdan güçlü olabilir, ancak enerji tedarikinde dışa bağımlı ise, bu bağımlılık, müzakere kabiliyetini sınırlayabilir. Rusya-Ukrayna savaşında görüldüğü gibi, Avrupa, Rus gazına bağımlı olması nedeniyle, Rusya'ya karşı yaptırımlar uygularken, kendi endüstrisinin zarar görmesi riski altında kalmıştır (International Energy Agency, 2022, s. 145-167).

Kritik malzemelerin tedarik güvenliği, bu ekonomik güvenlik paradigmasının modern bir örneğidir (Stearns, 2023, s. 34-56). ABD ve Avrupa, Çin'den alınan yarı iletkenler, Çin'den alınan ender toprak elementleri, ve Kongo'dan alınan kobalt sayesinde, endüstrilerini yürütebilmektedir. Ancak, bu bağımlılık, jeopolitik riskler taşımaktadır (Gray & Reiter, 2023, s. 178-201). Çin, yarı iletkenleri ya da ender toprak elementlerini kısıtlama tehdidi ile, ABD politikasına etki etmeye çalışmıştır. Bu tehdit, ekonomik güvenlik açısından, ABD ve Avrupa'nın stratejik çıkarlarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, batılı ülkeler, bu bağımlılığı azaltmak için, tedarik çeşitlendirmesi, yerli üretim artışı ve stratejik rezerv oluşturma stratejileri geliştirmektedir (U.S. Department of State, 2023, s. 89-112).

Arz zincir perspektifi, bu meseleyi daha derinlemesine analiz etmektedir. Küresel arz zincirleri, son otuz yıl içinde, maksimum verimlilik amacıyla yapılandırılmıştır (Ponomarov & Holcomb, 2012, s. 123-145). Bu "just-in-time" üretim sistemi, stokların minimum tutulması anlamına gelmektedir. Yarı iletkenler, fabrikaya tam zamanlı olarak gelmektedir. Paladyum, ihtiyaç olduğu anda tedarik edilmektedir. Lityum, siparişle dışarıdan gelmektedir. Bu sistem, normal dönemlerde işletme maliyetlerini azaltmaktadır. Ancak, jeopolitik çatışmaların yoğunlaştığı dönemlerde, bu sistem, ekonomi açısından bir risk haline dönmüştür (World Economic Forum, 2022, s. 67-89).

2021 yılında, Taiwan'da yarı iletken üretiminin azalması, ABD, Avrupa ve Japonya'nın otomotiv endüstrisini sekteye uğratmıştır (Semiconductor Industry Association, 2022, s. 34-56). 2022 yılında, Rusya'dan paladyum tedarikinin azalması, otomotiv endüstrisinin katalitik konvertör üretimini kısıtlamıştır (Johnson Matthey, 2022, s. 45-67). Bu olaylar, arz zincirinin kırılganlığını göstermiştir (Snyder & Bhattacharya, 2021, s. 156-178).

2.3 Ulusal Güvenlik ve Stratejik Autonomia Paradigması

Ulusal güvenlik perspektifi, kritik malzemeleri, salt ekonomik bir mesele değil, aynı zamanda ulusal savunmanın bir unsuru olarak görür (Colby & Mitchell, 2020, s. 23-45). Savunma endüstrisi, modern silah sistemleri için, ender toprak elementleri, paladyum ve diğer özel malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Eğer bu malzemelerin tedarikinde dışa bağımlı ise, ülkenin savunma kapasitesi, dış aktörlerin kaprisleri tarafından etkilenir. Bu risk, özellikle ABD ve Avrupa tarafından, Çin ve Rusya'ya karşı stratejik bir tehdit olarak algılanmıştır. Bu nedenle, ulusal güvenlik stratejileri, kritik malzemelerin iç kaynaklardan tedarikini, ya da müttefiklerden güvenli bir şekilde tedarikini hedeflemektedir (Department of Defense, 2022, s. 78-101).

Stratejik autonomia (strategic autonomy) kavramı, Avrupa Birliği tarafından son yıllarda vurgulanan bir yaklaşımdır (European Commission, 2021, s. 56-78). Stratejik autonomia, bir ülke veya bölgenin, stratejik kararlar alırken, diğer güçlerin müzakere baskısından bağımsız kalabilmesidir. Avrupa, uzun yıllardır, enerji, teknoloji ve hammaddeler açısından, ABD, Rusya ve Çin'e bağımlı olmuştur. Son yıllarda, Avrupa, bu bağımlılıkları azaltmak için, enerji alanında yenilenebilir kaynaklara yatırım yapıyor, teknoloji alanında kendi çiplerini üretme çabasına giriyor, ve hammaddeler alanında, Afrika ve diğer ülkelerle anlaşmalar yapıyor (European Council, 2022, s. 34-56). Kritik malzemelerin tedarik güvenliğini sağlamak, Avrupa'nın stratejik autonomiasını arttırmak için kritiktir (Brugge & Westphal, 2022, s. 112-134).

3. KRİTİK MALZEMELERIN TANIMLARI, ÇEŞİTLERİ VE KÜRESEL TEDARİK ZİNCİRİ

Kritik malzemelerin tedarik güvenliğini anlamak için, önce bu malzemelerin neler olduğu, hangi alanlarda kullanıldığı ve küresel tedarik zincirinin nasıl yapılandırıldığı açıklanmalıdır. Kritik malzemelerin tanımı, ülkeden ülkeye değişmektedir. ABD Jeoloji Araştırma Merkezi (USGS), farklı bir liste kullanır; Avrupa Birliği, farklı kriterler göz önüne almaktadır (European Commission, 2023, s.

67-89). Ancak, genel olarak, kritik malzeme, şu kriterleri karşılamaktadır: (1) Ekonomik önemi - ülkenin endüstrisinde geniş kullanım; (2) Arz riski - dünya üretiminin dar bölgelerde yoğunlaşması; (3) Jeopolitik risk - tedarik kaynaklarının jeopolitik olarak istikrarsız bölgelerde olması; (4) Yerine koyma zoru - başka malzemelerin yerini tutamama veya yüksek maliyet (United States Geological Survey, 2023, s. 45-67).

Bu kriterlere göre, günümüzde yaklaşık otuz malzeme, kritik olarak sınıflandırılmaktadır (European Union Critical Raw Materials Act, 2023, s. 1-45). Ender toprak elementleri, en bilinen kategorisidir. Ender toprak elementleri (rare earth elements, REE), periyodik tabloda yerleyen, on yedi metal elementten oluşur (Binnemans & Jones, 2014, s. 23-45). Bunlar, lantanidler (lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium) ve iki başka element (yttrium, scandium) ile temsil edilir. Her biri, farklı endüstriyel uygulamalara sahiptir (Rare Earth Processing Association, 2024, s. 78-101). Neodymium ve dysprosium, güçlü mıknatıslar yapımında kullanılır; bu mıknatıslar, elektrikli araçların motorlarında, rüzgar türbinlerinde ve askeri radarlarında yer alır. Europium ve terbium, flüoresan ışıklar ve görüntü tüplerinde kullanılır. Yttrium, seramik ve elektronik uygulamalarda kullanılır.

Ender toprak elementlerinin küresel tedarikinin yaklaşık yüzde seksen beşi, Çin'den gelir (U.S. Geological Survey, 2024, s. 156-178). Çin'in, özellikle İç Moğolistan bölgesinde, büyük ender toprak elementleri yatakları vardır. Ancak, daha önemlisi, Çin, bu malzemelerin işlenmesinde küresel üretimin yüzde doksan beşini kontrol etmektedir (International Energy Agency, 2023, s. 89-112). İşleme, ender toprak elementlerini endüstriyel kalitede hazırlamak anlamına gelir. Çin, bu tekelci gücü, stratejik bir avantaja çevrilmiştir (Wigglesworth, 2023, s. 45-67). 2010 yılında, Çin, ender toprak elementlerinin ihracatını kısıtlamıştır. Bu, Japonya ile yaşanan gemi çatışması nedeniyle yapılmıştır. Sonuç, ender toprak element fiyatlarının yüzde beş yüz artması olmuştur (Lynas Rare Earths, 2023, s. 123-145). Bu olay, batılı ülkeleri, bu bağımlılık riski hakkında uyarmıştır (Mancheri et al., 2018, s. 34-56).

Yarı iletkenler, ikinci önemli kritik malzeme kategorisidir. Yarı iletkenler, bilgisayarlar, cep telefonları, otomotiv sistemleri, savunma sistemleri ve neredeyse tüm modern elektronik cihazlarda kullanılır (Semiconductor Industry Association, 2024, s. 67-89). Küresel yarı iletken tasarımı ve üretimi, özel ülkeler tarafından kontrol edilmektedir. Tasarım ve yüksek kalibreli üretim, ABD (Intel, Qualcomm), Hollanda (ASML) ve İsrail (Mellanox Technologies) şirketleri tarafından yapılır (International Semiconductor Industry Association, 2023, s. 45-67). Ancak, üretim, ciddi anlamda, Taiwan (TSMC) tarafından yapılmaktadır. Taiwan Semiconductor Manufacturing Company'nin kısaltması olan TSMC, dünya çapında en büyük sipariş alan chip üreticisidir. Küresel bilgisayar çipi üretiminin yaklaşık yüzde elli beşi, TSMC tarafından yapılmaktadır (TSMC Annual Report, 2023, s. 234-256). TSMC'nin jeopolitik durumu (Çin tarafından tehdit altında), kritik yarı iletken tedarik güvenliğini önemli bir risk haline getirmiştir (Council on Foreign Relations, 2023, s. 112-134).

2022 yılında, Çin'in, Taiwan'ı kuşatma tehdidi, yarı iletken pazarında panik yaratmıştır (Bloomberg Businessweek, 2022, s. 45-67). Çip fiyatları yükselmiş, tedarik belirsiz hale gelmiştir. Bu durum, ABD'nin Chip Act olarak adlandırılan yasalar çıkarmasına ve yarı iletken üretimini ABD içerisine taşıma planları yapmasına neden olmuştur (U.S. Department of Commerce, 2022, s. 78-101).

Lityum ve kobalt, elektrik depolaması ve batarya teknolojisi açısından kritiktir (International Energy Agency, 2023, s. 234-256). Elektrikli araçların yaygınlaşması, lityum talebini katlı olarak artırmıştır. Çin, elektrikli araç üretiminde küresel lideri olmakla beraber, lityum tedarikinin büyük bölümü, Şili, Arjantin, Avustralya ve Bolivya'dan gelir (Mineral Commodity Summaries, 2024, s. 123-145). Kobalt ise, çoğunlukla Kongo'dan gelir. Kongo'da, kobalt madenciliği, büyük ölçüde informal sektöre ait olup, çalışma koşulları ve çevre standartları oldukça düşüktür. Ancak, Kongo, küresel kobalt üretiminin yüzde yetmiş beşini sağlamaktadır (World Bank, 2023, s. 156-178). Çin, stratejik olarak, Kongo'daki kobalt kaynaklarına yatırım yapmış ve kontrol etmiştir. Sonuç, Çin'in, batarya teknolojisi açısından güçlü bir konuma gelmesidir (Reuters, 2023, s. 67-89).

Paladyum, otomotiv endüstrisi için oldukça kritiktir. Katalitik konvertörlerde kullanılan paladyum, otomobil emisyonlarını azaltır (Johnson Matthey, 2024, s. 89-112). Paladyum üretiminin yaklaşık yüzde altmış beşi, Rusya ve Güney Afrika'dan gelir (U.S. Geological Survey, 2024, s. 178-201). Rusya, global paladyum üretiminin yaklaşık yüzde kırk beşini sağlamaktadır. 2022 yılında, Ukrayna savaşı başladığında, paladyum fiyatları yüzde otuz artmıştır (Bloomberg Commodity Index, 2022, s. 12-34).

Rusya'dan tedarik belirsiz hale gelmiştir. Bu, otomotiv endüstrisinde ciddi sorunlar yaratmıştır (Automotive News, 2022, s. 45-67).
Altın ve gümüş, yüksek teknoloji ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Statista, 2024, s. 101-123). Bilgisayarların devrelerinde, cep telefonlarının kontaklarında ve diş hekimliğinde kullanılırlar. Altın ve gümüş, endüstriyel kullanım için, dönem dönem, tıbbi ve kişisel aksesuar talebesi ile rekabet etmektedir (World Gold Council, 2023, s. 67-89).
Silikon, güneş panelleri ve yüksek teknoloji ürünleri için önemlidir. Silikon üretimi, yüksek ısı ve enerji yoğun bir işlemdir. Küresel silikon üretiminin yaklaşık yüzde yetmiş beşi, Çin'de yapılmaktadır (China Nonferrous Gold Limited, 2023, s. 89-112). Çin, ucuz enerji (kömür) ve emek maliyeti nedeniyle, bu alanda hakim konumdadır (International Energy Agency, 2024, s. 145-167).

4. JEOPOLİTİK GERGİNLİKLERİN KRİTİK MALZEME TEDARİKİNE ETKİSİ (2020-2025)

Son beş yıl, jeopolitik gerginliklerin, kritik malzeme tedarik zincirini ciddi biçimde etkilediği bir dönem olmuştur. Bu etkilerin başlıcaları, Rusya-Ukrayna savaşı, ABD-Çin ticari gerginlikleri, Orta Doğu bölgesel krizleri ve pandemi sonrasında oluşan arz zincir sorunlarıdır. Her biri, kritik malzemelerin fiyatı, tedarik güvenliği ve jeopolitik stratejileri etkilemiştir.

4.1 Rusya-Ukrayna Savaşının Etkisi

Rusya-Ukrayna savaşı, 24 Şubat 2022'de başlamıştır (Council on Foreign Relations, 2023, s. 1-45). Savaş başladığında, uluslararası pazarlar, Rusya'nın ne gibi ekonomik yaptırımlara maruz kalacağını tahmin etmekte zorluk çekmiştir. Rusya, strategik malzemelerde, çok önemli bir tedarik kaynağıdır. Paladyum, nikel, neon gazı, titanyum ve diğer malzemelerin önemli bir bölümü, Rusya'dan gelmektedir (U.S. Geological Survey, 2023, s. 234-256). Savaş başladığında, Batı, Rusya'ya yaptırımlar uygulamıştır. Bunlar, enerji (petrol, doğalgaz), tarım (buğday, güneş yağı) ve teknoloji alanında olmuştur (U.S. Department of State, 2022, s. 67-89). Ancak, ilginç bir şekilde, Batı, Rusya'dan gelen kritik malzemeleri, başta paladyum, nikel ve titanyum olmak üzere, yaptırımlar dışında tutmuştur (European Commission, 2022, s. 45-67). Bunun nedeni, bu malzemelerin batılı endüstri için vazgeçilmez olmasıdır. Yani, Rusya'ya yaptırımlar uygulamak istese de, kendi endüstrisini zarar vermemek adına, bazı malzemelerin tedarikini kesememiştir (Peterson Institute for International Economics, 2023, s. 123-145).
Bununla beraber, savaşın başlaması, belirsizlik ve risk primiyası yaratmıştır (International Energy Agency, 2022, s. 89-112). Paladyum fiyatı, sonraki altı ay içinde, yüzde otuz artmıştır (Bloomberg Commodity Index, 2022, s. 12-34). Nikel fiyat

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1 Temel Bulgular

Bu araştırma, 2020-2025 döneminde jeopolitik gerginliklerin, kritik malzemelerin tedarik güvenliğine ciddi etki yaptığını ortaya koymaktadır. Rusya-Ukrayna savaşı, paladyum, nikel ve titanyum fiyatlarında yüzde yirmi beş ile otuz arasında artışa neden olmuştur (Bloomberg Commodity Index, 2022, s. 12-34). Çin'in ender toprak elementleri ihracatında uyguladığı kısıtlamalar, batılı endüstriye tedarik belirsizliği getirmiştir (Ministry of Commerce of the People's Republic of China, 2023, s. 45-67). Taiwan'da yarı iletken üretim kesintileri, küresel otomotiv ve elektronik endüstrisini sekteye uğratmıştır (Semiconductor Industry Association, 2022, s. 34-56).
Bu bulgular, Keohane ve Nye'ın (1977) jeopolitik bağımlılık teorisini doğrulamaktadır. Asimetrik bağımlılıklar, küresel güç ilişkilerini değiştirme potansiyeline sahiptir. Çin'in ender toprak elementleri üzerindeki kontrolü, Rusya'nın paladyum tedarikindeki rolü ve Taiwan'ın yarı iletken üretimindeki konumu, bu asimetrilerin pratik örnekleridir (Gray & Reiter, 2023, s. 178-201).
ABD ve Avrupa Birliği, bu riskler karşısında, çeşitlendirilmiş tedarik stratejileri geliştirmiştir. ABD, CHIPS Act ile yarı iletken üretimini iç kaynaklardan sağlama hedeflemektedir; Avrupa Birliği, Critical Raw Materials Act aracılığıyla, ender toprak elementlerinin tedarik zincirini güvence altına almaya çalışmaktadır (European Commission, 2023, s. 67-89; U.S. Department of Commerce, 2022, s. 78-101). Bu stratejiler, Acemoglu ve Robinson (2012) tarafından vurgulanan kurumsal kapasite ve uzun vadeli yatırım ihtiyacını yansıtmaktadır.

Çin ise, tedarik kaynakları üzerindeki kontrolünü korumaya devam etmektedir. Kongo'daki kobalt madenciliğine yatırımlar, Şili ve Arjantin'deki lityum projelerine katılımlar, ve ender toprak elementlerinin işlemesi konusundaki tekel, Çin'in stratejik konumunu güçlendirmektedir (Reuters, 2023, s. 67-89; International Energy Agency, 2023, s. 234-256). Bu durum, Stearns (2023) tarafından tanımlanan ekonomik güvenlik paradigmasının, Çin tarafından başarıyla uygulandığını göstermektedir.

5.2 Ulusal Stratejilerin Etkinliği ve Sınırlamaları

Araştırma, farklı ülkelerin benimsediği stratejilerin değişen düzeylerde başarı elde ettiğini göstermektedir.

ABD Stratejisinin Başarı ve Sınırlamaları: ABD, CHIPS Act (2022) ve Defense Production Act aktivasyonları aracılığıyla, yarı iletken ve kritik malzeme tedarik zincirinin diversifikasyonunu hedeflemektedir (U.S. Department of Defense, 2022, s. 78-101). 2024 yılında, Intel, ABD'de yeni fabrika inşaatına başlamıştır ve Micron Technology de benzer adımlar atmaktadır. Bu başarılıdır, ancak sınırlamalar vardır. Birincisi, fabrika inşaatı ve çalıştırılması beş ila yedi yıl alacak, bu da kısa vadeli tedarik sorunlarını çözmeyecektir (Semiconductor Industry Association, 2024, s. 67-89). İkincisi, ABD'nin işçilik maliyetleri, Çin ve Tayvan'dan daha yüksektir; bu da uzun vadeli rekabet gücü açısından sorunlar yaratabilir (World Bank, 2023, s. 156-178).

Avrupa Birliği Stratejisinin Başarı ve Sınırlamaları: AB, Critical Raw Materials Act (2023) ve European Green Deal aracılığıyla, ender toprak elementlerinin geri dönüşümünü ve tedarik çeşitlendirmesini teşvik etmektedir (European Commission, 2023, s. 34-45). AB, Afrika ülkeleriyle anlaşmalar yapmakta ve yerli madencilik projelerine yatırım yapmaktadır. Bu uzun vadeli bir stratejidir, ancak AB'nin teknoloji ve madencilik sektöründeki deneyimi sınırlıdır. Ayrıca, Afrika'daki madencilik projeleri, çevre ve insan hakları sorunları nedeniyle, karmaşıklıklar taşımaktadır (United Nations, 2023, s. 89-112).

Çin Stratejisinin Başarısı: Çin, tedarik kaynakları üzerindeki kontrolünü sistematik olarak güçlendirmektedir. Çin, 2013'ten beri "Belt and Road Initiative" aracılığıyla, Afrika, Orta Asya ve Güney Asya'da madencilik projelerine yatırım yapmaktadır (Ministry of Commerce of the People's Republic of China, 2024, s. 45-67). Sonuç, Çin'in küresel lityum, kobalt ve ender toprak elementleri arz zinciri üzerindeki denetimini güçlendirmesidir. 2023 yılında, Çin, global kritik malzeme işlemesinin yüzde doksan beşini kontrol etmektedir (International Energy Agency, 2023, s. 89-112).

5.3 Türkiye'nin Konumu ve Fırsatlar

Türkiye, kritik malzeme tedarik güvenliği açısından, hem zorluklar hem de fırsatlarla karşı karşıyadır.

Zorluklar: Türkiye, jeolojik açıdan, ender toprak elementleri, lityum ve kobalt gibi kritik malzemelerin önemli yatakları olmayan bir ülkedir (Turkish Geological Institute, 2023, s. 45-67). Bununla beraber, Türkiye, borat, feldispat, bentonit ve bazı nadir minerallerde zengindir (General Directorate of Mineral Research and Exploration, 2023, s. 89-112). Bu malzeler, endüstriyel uygulamalarda kullanılmakla beraber, ender toprak elementleri kadar stratejik değildir. Türkiye, kritik malzemelerin işlemesi ve üretim kabiliyeti konusunda da sınırlıdır. Çoğu üretim, ithalatçı konumundadır (Turkish Statistical Institute, 2023, s. 123-145).

Fırsatlar: Türkiye'nin jeopolitik konumu, Batı (Avrupa ve ABD) ve Doğu (Çin, Orta Asya) arasında yer alması nedeniyle, stratejik bir role sahip olabilir (Larrabee, 2007, s. 34-56). Türkiye, Rusya'dan paladyum ve nikel ithalatında bir transit ülke olabilir; Çin'den ender toprak elementleri ve yarı iletkenler konusunda bir köprü olabilir. Ayrıca, Türkiye, ileri teknoloji yatırımları yaparak, kritik malzemelerin işlemesi ve teknoloji geliştirme alanında kapasite inşa edebilir (Mütercimler, 2021, s. 167-189).

Türkiye'nin başarılı olabilmesi için, birkaç adım atması gerekmektedir. Birincisi, yerli teknoloji geliştirme ve ar-ge yatırımlarını artırması gereklidir. Özellikle, malzeme bilimi ve elektronik mühendisliği alanlarında, üniversiteler ve özel sektör işbirliği güçlendirilmelidir (Ministry of Industry and Technology, 2023, s. 156-178). İkincisi, uluslararası işbirliği artırılmalıdır. Türkiye, batılı ülkelerle, kritik malzeme tedarik konusunda stratejik anlaşmalar yapabilir; Orta Doğu ve Orta Asya ülkeleriyle, madencilik ve işleme konusunda ortak projeler geliştirebilir (Turkish Ministry of Foreign Affairs, 2023, s. 67-89).

Üçüncüsü, stratejik depo (strategic reserves) oluşturulmalıdır. ABD'nin National Defense Stockpile sistemine benzer şekilde, Türkiye de, kritik malzemelerin stratejik rezervlerini oluşturabilir (U.S. Department of Defense, 2023, s. 101-123). Dördüncüsü, geri dönüşüm ve dairesel ekonomi konusunda yatırımlar yapılmalıdır. Elektronik atıklardan ender toprak elementleri geri kazanılabilir; bu, ithalatı azaltabilir (Ellen MacArthur Foundation, 2023, s. 45-67). Beşincisi, endüstriyel politikalar, kritik malzemelere erişimi kolaylaştıracak şekilde tasarlanmalıdır. Türkiye'de üretim yapan firmalar, kritik malzemelerin gümrük vergileri ve işleme maliyetleri açısından, uluslararası rekabette dezavantajlı konumdadır. Hükümet desteği ve vergi teşvikleri, bu alanı güçlendirebilir (Turkish Ministry of Economy, 2024, s. 78-101).

5.4 Küresel Sistem Seviyelinde Çıkarımlar

Bu araştırma, daha geniş bir küresel sistem seviyesinde de çıkarımlar ortaya koymaktadır.
Birincisi, ekonomik güvenlik ve ulusal güvenlik arasındaki sınırlar, giderek belirsizleşmektedir (Baldwin, 1997, s. 12-34). Kritik malzemelerin tedarik güvenliği, sadece ekonomi politikasının değil, aynı zamanda ulusal savunma ve dış politikanın da merkezi bir konusu haline gelmiştir. Gelecekte, ülkeler, enerji güvenliği kadar, malzeme güvenliğine de önem verecektir (Colby & Mitchell, 2020, s. 23-45).
İkincisi, küresel tedarik zincirleri, maksimum verimliliğin yanı sıra, kırılganlıkları da dikkate alacak şekilde yeniden yapılandırılmalıdır (Ponomarov & Holcomb, 2012, s. 123-145). Just-in-time üretim sistemi, güzel dönemlerde işe yaramakta, ancak jeopolitik krizlerde ekonomi felç durumuna gelmektedir. Firmaların ve ülkelerin, stratejik malzemelerin stok seviyelerini artırması gerekebilir (World Economic Forum, 2022, s. 67-89).
Üçüncüsü, uluslararası işbirliği ve kurumlar, kritik malzemelerin adil ve sürdürülebilir tedarikini sağlamak açısından, daha önemli hale gelmektedir. Birleşmiş Milletler, Dünya Ticaret Örgütü ve bölgesel örgütler, kritik malzemelerin tedarik zincirinin şeffaflığını ve etik standartlarını güvence altına almak için, daha aktif rol oynamalıdır (United Nations, 2023, s. 89-112).
Dördüncüsü, teknoloji ve yenilik, kritik malzeme bağımlılığını azaltmanın anahtarıdır. Ender toprak elementlerini kullanan teknolojilere alternatif malzameler geliştirilmesi; elektrikli araçlarda lityum-iyon pil alternatiflerinin araştırılması; yarı iletken üretiminde yeni malzemelerin (graphene, silisyen karbür) kullanılması, uzun vadeli çözümler sunar (International Energy Agency, 2024, s. 145-167; Rare Earth Processing Association, 2024, s. 78-101).

5.5 Gelecek Beklentileri (2025-2035)

2025-2035 döneminde, kritik malzeme tedarik güvenliği sorunları, muhtemelen daha da yoğunlaşacaktır. Elektrikli araç üretimi, yenilenebilir enerji teknolojileri ve yapay zeka uygulamaları, kritik malzeme talebini katlı olarak artıracaktır (International Energy Agency, 2024, s. 234-256). Aynı zamanda, jeopolitik gerginlikler, kısa vadede azalmayacak görünmektedir. Çin-ABD rekabeti, Rusya'nın uluslararası sisteme dönüşü, ve bölgesel çatışmalar, tedarik zincirinde belirsizliğe devam edecektir.
Bu ortamda, başarılı olacak stratejiler, şu özellikleri taşıyacaktır:
(1) Çeşitlendirme - tedarik kaynaklarının birden fazla coğrafyaya yayılması;
(2) İnovation - yeni malzemeler ve teknolojilerin geliştirilmesi;
(3) Esneklik - tedarik zincirinin krizlere karşı dayanıklılığı;
(4) İşbirliği - müttefiklerle koordineli strateji;
(5) Kırılganlık Azaltma - yerel üretim kapasitesinin artırılması (World Economic Forum, 2024, s. 123-145).
Sonuç olarak, kritik malzemelerin tedarik güvenliği, 21. yüzyılın jeopolitik ve ekonomik rekabesinin merkezi bir unsuru haline gelmiştir. Bu sorunu başarıyla yönetebilen ülkeler ve işletmeler, teknolojik liderlik kazanacak; başarısız olanlar ise, ekonomik ve stratejik dezavantajlar yaşayacaktır. Türkiye, bu rekabette, jeopolitik konumu ve teknoloji yatırımlarıyla, kendisine saygı duyulan bir rol alabilir.

KAYNAKÇA

Acemoglu, D., & Robinson, J. A. (2012). *Why nations fail: The origins of power, prosperity, and poverty*. Crown Publishers.

Automotive News. (2022). Palladium shortage threatens auto industry catalytic converter production. *Automotive News Europe*, 2022(5), 45-67.

Baldwin, D. A. (1997). The concept of security. *Review of International Studies*, 23(1), 12-34.

Barbieri, K. (2002). The liberal illusion: Does trade promote peace? *International Security*, 27(2), 123-145.

Binnemans, K., & Jones, P. T. (2014). Perspectives on the future supply of critical metals. *Journal of the Minerals, Metals & Materials Society*, 66(5), 23-45.

Bloomberg Businessweek. (2022). Taiwan semiconductor threat rattles global markets. *Bloomberg Businessweek*, 2022(8), 45-67.

Bloomberg Commodity Index. (2022). Critical materials price surge amid geopolitical tensions. *Bloomberg*, 2022(3), 12-34.

Brugge, H., & Westphal, K. (2022). The geopolitics of critical raw materials for clean energy. *Commentary on International Relations*, 45(2), 112-134.

China Nonferrous Gold Limited. (2023). *Global silicon production and market analysis*. Beijing: China Nonferrous Publications.

Colby, E., & Mitchell, A. W. (2020). The age of great power competition: How the Trump administration confronted China's rise. *Foreign Affairs*, 99(1), 23-45.

Council on Foreign Relations. (2023). *Understanding the Russia-Ukraine conflict: Geopolitical implications*. New York: CFR Press.

Department of Defense. (2022). *Defense Production Act report to Congress: Critical materials and defense industrial base*. Washington, D.C.: DoD Publications.

Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Circular economy and rare earth element recovery*. London: EMF Publications.

European Commission. (2021). *European strategic autonomy in critical raw materials*. Brussels: EC Publications.

European Commission. (2022). *EU sanctions on Russia: Economic impact assessment*. Brussels: EC Publications.

European Commission. (2023). *Critical Raw Materials Act: Securing supply chains for Europe's green transition*. Brussels: EC Publications.

European Council. (2022). *Strategic autonomy and European sovereignty in strategic sectors*. Brussels: EC Publications.

European Union Critical Raw Materials Act. (2023). *Regulation on establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials*. Brussels: EU Official Journal.

General Directorate of Mineral Research and Exploration. (2023). *Turkish mineral resources and strategic importance*. Ankara: GDMRE Publications.

Gray, C. S., & Reiter, D. (2023). Economic interdependence and international conflict: Some insights for theory and policy. *Journal of Strategic Studies*, 46(1), 178-201.

Hirsch, F. (1987). *Social limits to growth*. Routledge.

Hirschman, A. O. (1945). *National power and the structure of foreign trade*. Berkeley: University of California Press.

International Energy Agency. (2022). *Crisis in the energy sector: Russia's war and global implications*. Paris: IEA Publications.

International Energy Agency. (2023). *Critical minerals market outlook*. Paris: IEA Publications.

International Energy Agency. (2024). *Global demand for critical minerals in clean energy transitions*. Paris: IEA Publications.

International Semiconductor Industry Association. (2023). *State of the industry: Semiconductor supply chains and geopolitical risk*. Washington, D.C.: SIA Publications.

Johnson Matthey. (2022). *Palladium market report: Geopolitical disruptions and price dynamics*. London: Johnson Matthey Publications.

Johnson Matthey. (2024). *Precious metals demand forecast 2024-2025*. London: Johnson Matthey Publications.

Keohane, R. O., & Nye, J. S. (1977). *Power and interdependence: World politics in transition*. Boston: Little, Brown.

Keohane, R. O., & Nye, J. S. (2012). *Power and interdependence in the information age*. In *The Oxford handbook of international relations*. Oxford University Press.

Larrabee, F. S. (2007). Turkiye and the Arab Spring: Leadership in the Middle East. *Council on Foreign Relations Report*, 34-56.

Lynas Rare Earths. (2023). *Rare earth supply chain: Current status and future outlook*. Kuantan: Lynas Publications.

Mancheri, N. A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J., & Tukker, A. (2018). The future of rare earth elements supply: A review. *Journal of Cleaner Production*, 199, 34-56.

Mineral Commodity Summaries. (2024). *U.S. Geological Survey mineral commodity summaries*. Reston, VA: USGS Publications.

Ministry of Commerce of the People's Republic of China. (2023). *China's rare earth elements policy and export regulations*. Beijing: MOFCOM Publications.

Ministry of Commerce of the People's Republic of China. (2024). *Belt and Road Initiative: Mining and minerals investment report*. Beijing: MOFCOM Publications.

Ministry of Industry and Technology. (2023). *Turkiye's technology and innovation strategy 2023-2030*. Ankara: Ministry Publications.

Mütercimler, M. (2021). Turkiye's geopolitical positioning in global supply chains. *Middle East Technical University Journal of Strategic Studies*, 167-189.

Peterson Institute for International Economics. (2023). *Russia sanctions and supply chain implications for critical materials*. Washington, D.C.: PIIE Publications.

Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2012). Understanding the concept of supply chain resilience. *Journal of Supply Chain Management*, 48(1), 123-145.

Rare Earth Processing Association. (2024). *Global rare earth elements processing and market dynamics*. Tokyo: REPA Publications.

Reuters. (2023). China's dominance in global cobalt supply chains. *Reuters Business*, 2023(7), 67-89.

Semiconductor Industry Association. (2022). *2021 State of the semiconductor industry: Supply chain challenges*. Washington, D.C.: SIA Publications.

Semiconductor Industry Association. (2024). *Global semiconductor market forecast 2024-2030*. Washington, D.C.: SIA Publications.

Snyder, J. A., & Bhattacharya, A. (2021). The fragility of global supply chains in times of crisis. *McKinsey Global Institute Report*, 156-175.

Statista. (2024). *Global precious metals demand by industry*. Hamburg: Statista Publications.

Stearns, J. (2023). Economic security in the 21st century: Critical minerals and national power. *International Affairs*, 99(1), 34-56.

TSMC Annual Report. (2023). *Taiwan Semiconductor Manufacturing Company annual report 2023*. Taipei: TSMC Publications.

Turkish Geological Institute. (2023). *Mineral resources of Turkiye and strategic importance assessment*. Ankara: MTA Publications.

Turkish Ministry of Economy. (2024). *Industrial policy for advanced manufacturing and critical materials*. Ankara: Ministry Publications.

Turkish Ministry of Foreign Affairs. (2023). *Turkiye's role in global supply chains: Strategic partnerships and opportunities*. Ankara: MFA Publications.

Turkish Statistical Institute. (2023). *Foreign trade statistics and import-export analysis*. Ankara: TURKSTAT Publications.

U.S. Department of Commerce. (2022). *CHIPS Act: Strategic domestic semiconductor production*. Washington, D.C.: Commerce Publications.

U.S. Department of Defense. (2023). *Critical materials stockpile and national security strategy*. Washington, D.C.: DoD Publications.

U.S. Department of State. (2022). *Coordinated sanctions on Russia: Economic measures and strategic rationale*. Washington, D.C.: State Department Publications.

U.S. Department of State. (2023). *Global critical minerals strategy and U.S. foreign policy*. Washington, D.C.: State Department Publications.

United Nations. (2023). *Critical minerals and sustainable development: Economic and environmental implications*. New York: UN Publications.

United States Geological Survey. (2023). *Mineral commodity summaries and critical materials*. Reston, VA: USGS Publications.

United States Geological Survey. (2024). *Global rare earth elements production and reserves*. Reston, VA: USGS Publications.

Wigglesworth, R. (2023). China's rare earth monopoly: Strategic implications for the West. *Financial Times*, 2023(6), 45-67.

World Bank. (2023). *Global supply chain resilience and critical minerals*. Washington, D.C.: World Bank Publications.

World Economic Forum. (2022). *Global risks report 2022: Supply chain vulnerabilities*. Geneva: WEF Publications.

World Economic Forum. (2023). *Global supply chains in transition: Future of manufacturing*. Geneva: WEF Publications.

World Economic Forum. (2024). *Future of global trade and critical materials security*. Geneva: WEF Publications.

World Gold Council. (2023). *Gold demand trends: Technology and industrial applications*. London: WGC Publications.

UNDERSTANDING AND MITIGATING EMISSIONS FROM INTERNAL COMBUSTION ENGINES FOR A CLEANER ENVIRONMENT

Dr. Jai Gopal GUPTA
National Institute of Technology Sikkim, Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, India.
ORCID ID: 0000-0002-7267-4157

ABSTRACT

Internal Combustion (IC) engines remain a primary source of power for transportation and industrial applications, yet they are also major contributors to air pollution. The combustion of hydrocarbon fuels in IC engines leads to the emission of harmful pollutants such as carbon monoxide (CO), unburned hydrocarbons (HC), nitrogen oxides (NO_x), particulate matter (PM), and carbon dioxide (CO_2). These emissions adversely affect air quality, human health, and the global climate.

This comprehensive presentation provides an in-depth overview of the formation mechanisms of various exhaust emissions in both spark ignition (SI) and compression ignition (CI) engines, with particular emphasis on diesel engine emissions due to their distinct combustion characteristics and higher emission intensity. The formation of NO_x is primarily influenced by combustion temperature and oxygen concentration, while HC emissions result from incomplete combustion, wall quenching, and oil film absorption. PM formation involves complex nucleation and aggregation processes, particularly in diesel engines where fuel-rich regions and incomplete combustion contribute significantly to particulate generation.

The influence of factors such as combustion temperature, air–fuel ratio, and fuel characteristics on emission formation is discussed in detail. A case study on diesel engine emissions is included to analyse real-world emission behaviour, quantify pollutant levels, and evaluate the effectiveness of emission control strategies. This study examines emission patterns across different operating conditions and load scenarios, providing valuable insights into the practical challenges of emission reduction.

Additionally, modern mitigation techniques—such as exhaust gas recirculation (EGR), catalytic converters, selective catalytic reduction (SCR), diesel particulate filters (DPF), and the use of cleaner alternative fuels—are highlighted. The presentation concludes by emphasizing technological advancements and policy measures aimed at achieving cleaner and more sustainable IC engine operation, underscoring the importance of continued research and innovation in this critical field.

Keywords: Internal Combustion Engines, Diesel Emissions, Air Pollution, Emission Control, Alternative Fuels, Environmental Sustainability.

CHALLENEGES AND POTENTIAL OF ENERGY TRANSITION OF BIOFUEL PRODUCTION

S. Santhosh KUMAR
Asst. Lecturer, Mechanical Engineering Departement St.Joseph University In Tanzania, Dar Es Salaam, East Africa

ABSTRACT
The concepts of environmental gainful and sustainability are essential in the conversation surrounding the connections between economic development and environmental effects. As the challenges of resource depletion and environmental damage grow more severe, innovations in energy conversion technologies become vital for establishing a sustainable economic system. The global economy, currently reliant on fossil fuels, must transition to a sustainable model that emphasizes bioenergy. Biomass, a renewable source of energy, presents a viable solution by transforming waste into valuable commodities, minimizing waste and environmental harm, while generating economic prospects. Biofuels and bioproducts can fulfill energy requirements while lowering greenhouse gas emissions and tackling climate change. Recent progress in biofuels, bolstered by supportive initiatives and policies, encourages more sustainable energy generation. This paper aims to underscore the potential of biomass in fulfilling current energy demands and offers a summary of biofuels and their production as a renewable substitute for fossil fuels. Additionally, it examines the future of the agriculture and energy industries, highlighting global energy and environmental issues, as well as the competition between food and fuel sources.
Keywords: biomass, renewable energy, biofuels, biochemical processes, thermochemical processes

BLOCKCHAIN ENABLED SECURE NOTE MANAGEMENT SYSTEM

Srichetan BADUGU
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

M. SURESH
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

Tawseef AHMED
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

Ch.D. SUNIL KUMAR
Department of CSE (Artificial Intelligence and Machine Learning), Bharat Institute of Engineering and Technology, Mangalpally (V), Ibrahimpatanam, Hyderabad 501510, India

ABSTRACT

In today's digital environment, secure and reliable data storage is essential for personal productivity applications. This project presents **Sticky Note**, a **blockchain-based note-taking web application** designed to provide secure user authentication and essential note management features such as adding, editing, viewing, and deleting notes. The system emphasizes data integrity, security, and persistence by leveraging blockchain technology to store or verify note records in a tamper-resistant manner.

The application offers a **responsive and user-friendly interface** with clear navigation, ensuring ease of use across different devices. Modular architecture and clean code design enhance maintainability and support future scalability. User authentication ensures that only authorized users can access and manage their notes, while blockchain integration ensures transparency, immutability, and trust in stored data.

Sticky Note aims to promote productivity by allowing users to conveniently manage their personal notes while maintaining a high level of security. The platform is designed to support future enhancements such as note sharing, access control, and synchronization across multiple devices, making it a scalable solution for secure personal information management.

Keywords : Blockchain, Secure Note Management, Data Integrity, User Authentication, Web Application, Sicky Notes, Data Security

CRITICAL REVIEW OF FUNCTIONALLY GRADED POLYMER REINFORCED COMPOSITE MATERIAL

Sankalp MOHITE
Civil Engineering, Rajarambapu Institute of Technology, Ishwarpur, Maharashtra, India

Mayur MASKE
Civil Engineering, Rajarambapu Institute of Technology, Ishwarpur, Maharashtra, India

Sabir SAYYED
Civil Engineering, Rajarambapu Institute of Technology, Ishwarpur, Maharashtra, India

ABSTRACT
Incidents involving fire at construction sites are increasingly raising public safety concerns. Specifically, numerous incidents lead to fire spreading from fuel combustion, potentially causing significant damage to the structure and resulting in extensive loss of life. Fire resistance is a vital issue across all sectors of civil construction, along with safety-critical materials utilized in aerospace, automotive, and various highperformance engineering domains, owing to their exposure to considerable thermal and mechanical stresses. As a result, the creation of materials with enhanced fire resistance characteristics that maintain their mechanical strength under high temperatures is becoming a more prominent field of study. This review article offers a comprehensive summary of development and material design principles, manufacturing methods, and testing strategies related to functionally graded polymer reinforced composite materials exposed to high-temperature operating conditions. At present, various studies in the literature have shown that fiber reinforced polymer composites can offer fire resistant capabilities due to their optimized attributes of mechanical strength, thermal stability, longevity, and affordability. The functional gradation of the composite allows for a gradual alteration in its material characteristics, where the smooth shift from one material property to another leads to lowered thermal stress, diminished interfacial damage, and improved overall structural effectiveness of the functionally graded polymer composite compared to a homogeneous polymer composite under extreme thermal conditions. This review has analyzed the production methods of functional gradient polymer composites by performing an extensive assessment of the different types of manufacturing techniques for functionally graded polymer composites, along with an evaluation of the mechanical and thermal characterization methods used to determine the properties of a functionally graded polymer composite. Additionally, particular assessments carried out before or after thermal exposure, including tensile testing, hardness testing, and impact testing, will be examined, as this form of evaluation is vital for determining the ability of a functionally graded polymer composite to preserve its strength and resistance to degradation processes after being exposed to elevated temperatures. Furthermore, this review outlines how high-temperature exposure negatively impacts the stability of a functionally graded polymer composite by causing degradation of the polymer matrix and deterioration of the bond between the fiber and the polymer matrix. The review examines and outlines the existing understanding of the hightemperature performance of functionally graded polymer composites in fire-resistant structural systems, along with the trends, challenges, and gaps in literature for prospective applications.
Keywords: Keywords: Elevated Temperature, Fibers, Epoxy Resin, Functionally Graded Polymer Composite (FGPC)

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN IOT-BASED VISITOR GUIDANCE SYSTEM FOR LARGE INSTITUTES OR HISTORICAL MONUMENTS

Syed ALAMDAR
Ul Hasnain Naqvi Government College University Faisalabad,

ABSTRACT

Large institutes and historical monuments often face challenges in managing visitor navigation, resulting in confusion, inefficient crowd movement, and reduced visitor satisfaction. Traditional guidance systems, such as static maps and signboards, are often insufficient in providing real-time and personalized assistance. This study proposes the design and implementation of an Internet of Things (IoT)-based visitor guidance system aimed at improving navigation efficiency and enhancing user experience in large-scale environments.

The proposed system integrates smart sensors, wireless communication technologies, and mobile-based interfaces to provide real-time location tracking and dynamic route guidance. Visitors can access navigation assistance through a mobile application, which suggests optimal paths based on their current location and selected destinations. The system also incorporates features such as point-of-interest identification, congestion-aware routing, and multilingual support, making it suitable for diverse user groups.

The methodology involves the development of a prototype using microcontrollers, IoT modules, and cloud-based data processing, along with simulation and testing in a controlled environment. The system's performance is evaluated in terms of accuracy, response time, and user satisfaction.

The results demonstrate that the proposed IoT-based guidance system significantly improves navigation efficiency, reduces visitor confusion, and enhances overall accessibility. This solution can be effectively implemented in universities, museums, and historical sites to support smart infrastructure development and improve visitor management.

Keywords: IoT, Visitor Guidance System, Smart Navigation, Real-Time Tracking, Smart Infrastructure

APLLICATION OF ENERGY EFFICIENCY STRATEGIES IN DESIGN OF SHOPPING MALL IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA

Tenong Gortah ROBERT
Department of Architecture, School of Environmental Technology, Federal University of Technology Minna, Niger State, Nigeria

ABSTRACT
Shopping malls are among the most energy-intensive commercial buildings, particularly in hot-dry climates, where maintaining thermal comfort often requires extensive mechanical cooling and artificial lighting. In Minna, Niger State, Nigeria, the design and operation of shopping centres contribute significantly to energy demand, yet the integration of energy efficiency strategies remains limited. This study investigates the awareness, application, and potential for energy-efficient design in shopping malls in Minna, with the aim of identifying strategies that reduce energy consumption while enhancing environmental performance and user comfort. A descriptive research whereby mixed-methods design was employed, combining surveys of 80 professionals, case studies of four major shopping centres, and direct field observations. Data were analysed using descriptive statistics and thematic interpretation. The results indicate that professional awareness of energy-efficient design strategies is high (93.3%), but actual implementation in shopping malls is inconsistent, constrained by cost factors, policy gaps, and client preferences. Respondents strongly endorsed the early integration of passive cooling systems, natural ventilation, renewable energy technologies, and stakeholder collaboration. The study also found that proper architectural planning can significantly reduce HVAC loads in hot-dry climates. The study concludes that the technical expertise, climatic potential, and professional readiness for energy efficiency already exist in Minna; however, stronger policy enforcement, capacity building, and economic incentives are needed to translate these into widespread practice. The study recommends mandatory performance-based building codes, promotion of renewable energy adoption, and enhanced use of quality local materials to achieve sustainable, climate-responsive shopping mall designs that support Nigeria's broader energy conservation and climate resilience goals.
Keywords: Shopping centres, Energy efficiency, Design strategies.

CROWD CONTROL STRATEGIES FOR CRITICAL FACILITIES IN TERTIARY INSTITUTION: A CASE STUDY OF FUTA MAIN AUDITORIUM

Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI
School of Environmental Technology, Federal Polytechnic, Ekowe, Bayelsa State, Nigeria

Christopher Oluwatade IJAGBEMI
Department of Estate Management and Valuation, Federal Polytechnic, Ado-Ekiti, Ekiti State, Nigeria

ABSTRACT
Auditoriums are dedicated buildings designed to accommodate audience and provide an optimal viewing and listening experience for gatherings. Therefore, strategic measures must be applied to control crowd to curb overcrowding for emergency evacuation within the shortest possible time and reducing overuse of the auditorium. This research explores the background of crowd control strategies employed in FUTA 2,500 sitting capacity auditorium, aiming to identify the roots of overcrowding and the crowd control approaches pertinent to the auditorium building. Primary data were collected via structured questionnaire administered randomly to 10% attendees (250). The study evaluates safety, comfort and overall experiences across these events. Findings emphasize the necessity for tailored crowd control strategies with safety percussions highlighted through design, personnel and notations around the auditorium. Safety concerns, communication efficacy and comfort levels emerge as critical factors influencing audience satisfaction. It was also discovered that there is a significant relation between crowd control effectiveness and the strategies employed except sitting arrangement due to rigidity. The study's implications underscore the potential impact on safety, comfort, and overall experiences within the auditorium, providing a foundation for continuous improvement and adaptability. In conclusion, implementation of the proposed enhancements stand to create a safer, more comfortable and satisfying environment for attendees across diverse events was advanced. Recommendations includes emergency lightings, enhanced emergency preparedness, optimized communication strategies and tailored approaches for different events.
Keywords: Overcrowding, Crowd Control, Safety.

CHALLENGES OF URBAN HOUSING AND FACILITY PLANNING: A FOCUS ON YENAGOA METROPOLIS OF BAYELSA STATE, NIGERIA

Opeyemi Ayobamiji IJAGBEMI
School of Environmental Technology, Federal Polytechnic Ekowe, Bayelsa State, Nigeria

Olatoye Abiodun KOMOLAFE
School of Environmental Technology, Federal Polytechnic Ekowe, Bayelsa State, Nigeria

Oluwatoyosi ADEBAJO
Ministry of Physical Planning and Urban Development, Abeokuta, Ogun State, Nigeria

ABSTRACT
Urban housing and facility planning play essential roles in sustainable city development, but rapid population growth, inadequate infrastructure, and weak planning frameworks have compounded challenges in many Nigerian cities. Yenagoa Metropolis in Bayelsa State exemplifies this struggle, where urbanization has outpaced infrastructural provision, resulting in deficits in housing quality, access to basic services, and planned urban growth. This study examines the predominant challenges facing urban housing and facility planning within Yenagoa, including limited land use planning, inadequate housing stock, poor infrastructure, environmental degradation, and governance constraints. Using a mixed-methods approach that combines spatial analysis, stakeholder interviews, and secondary data review, the paper identifies the intensity and interconnectivity of these challenges. Two tables illustrate (1) the major housing inadequacy indicators in Yenagoa, and (2) the facility planning deficits crucial to sustainable urban living. Findings reveal that significant proportions of households live in overcrowded or substandard housing conditions, while utilities such as potable water, waste management, and reliable road networks remain insufficient for current population demands. Additionally, weak policy enforcement, inadequate funding mechanisms, and uncoordinated urban planning bodies undermine the implementation of effective housing and facility programmes. Discussion emphasizes how these challenges affect socioeconomic wellbeing and hinder inclusive urban growth. The study concludes that urban housing and facility planning in Yenagoa require an integrated, multi-sectoral strategy involving government, private sector, and community stakeholders. Based on the evidence, key recommendations include strengthening urban planning institutions, enhancing affordable housing delivery frameworks, improving infrastructure investment, and promoting community participation in planning processes. This paper contributes to urban development discourse by providing empirically grounded insights into the challenges of urban housing and facility planning in a rapidly growing Nigerian metropolis.
Keywords: Urban housing, Facility planning, Urbanization, Infrastructure deficits, Yenagoa Metropolis.

MECHANISTIC INSIGHTS AND PERFORMANCE OF PYRAZOLE-BASED CORROSION INHIBITORS FOR CARBON STEEL IN ACIDIC MEDIA : EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES

Mimoun BELHADI
LP2MGI, Higher School of Technology, University Hassan II of Casablanca, B.P 8012 Oasis, Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0009-0006-4015-2086

Hassane LGAZ
Innovative Durable Building and Infrastructure Research Center, Center for Creative Convergence Education, Hanyang University ERICA, 55 Hanyangdaehak-Ro, Sangrok-Gu, Ansan-Si 15588, Gyeonggi-Do, South Korea

Han Seung LEE
Department of Architectural Engineering, Hanyang University ERICA, 55 Hanyangdaehak-Ro, Sangrok-Gu, Ansan-Si 15588, Gyeonggi-Do, Republic of Korea

Mohammed CHAFI
LP2MGI, Higher School of Technology, University Hassan II of Casablanca, B.P 8012 Oasis, Casablanca, Morocco

Said TIGHADOUINI
Laboratory of Organic Synthesis, Extraction, and Valorization, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, BP 5366, Casablanca, Morocco

ABSTRACT
In an attempt to mitigate steel corrosion, the present work delves into the adsorption and inhibitory performance of newly synthesized pyrazole-derived ligands, specifically 1-benzyl 5-methyl-1H-pyrazole-3-carboxylic acid (B5MPyAc), 1-benzyl-5-methyl-1H-pyrazole-3 carbohydrazide (B5MPy), and ethyl 1-benzyl-5-methyl-1H-pyrazole-3-carboxylate (EB5MPy), on C48 carbon steel in a 1.0 mol/L hydrochloric acid solution, at a temperature range from 298 to 318 K. This evaluation employed a diverse array of chemical, electrochemical, and surface characterization techniques, including potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), weight loss (WL) assessment, and scanning electron microscopy (SEM), supplemented by theoretical calculation methods. Inhibition efficiencies were observed to reach 94.77, 90.03, and 82.86% for B5MPyAc, B5MPy, and EB5MPy, respectively, at an optimal concentration of 10^3 µM L^{-1}. EIS data revealed an increase in polarization resistance and a notable decrease in double layer capacitance (Cdl) values, attributable to the adsorption of inhibitors at the metal/solution interface. Potentiodynamic polarization curves indicated that B5MPyAc, B5MPy, and EB5MPy function as mixed-type corrosion inhibitors. Additionally, inhibitor adsorption was found to conform to the Langmuir adsorption isotherm. Scanning electron microscopy (SEM) images, coupled with UV–visible absorption analysis, confirmed that the efficacy of all three inhibitors could be linked to the formation of a protective layer on the metal surface. Density Functional Theory (DFT) calculations have shown that quantum chemical parameters do not align well with the experimental inhibition performance. In contrast, Molecular Dynamics (MD) simulations suggested a parallel orientation in the adsorption of inhibitors, with findings particularly supporting the superior efficiency of B5MPyAc. This study would serve as a foundation for further development of effective pyrazole-based corrosion inhibitors.
Keywords: Corrosion inhibitor · Pyrazole · Carbon steel · Density functional theory · Molecular dynamics · Electrochemical techniques.

ENHANCING THE HYDROGEN STORAGE PROPERTIES OF ZRH_2 THROUGH LITHIUM SUBSTITUTION AND TRIAXIAL STRAIN: A DENSITY FUNCTIONAL THEORY STUDY

Mohamed Amine MEKAOUI
Laboratory of Condensed Matter and Interdisciplinary Sciences, Unité de Recherche Labellisée CNRST (URL-CNRST 17), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco

Hamid EZ-ZAHRAOUY
Laboratory of Condensed Matter and Interdisciplinary Sciences, Unité de Recherche Labellisée CNRST (URL-CNRST 17), Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco

ABSTRACT
Efficient and reversible hydrogen storage remains a key challenge in advancing hydrogen-based energy technologies. Zirconium dihydride (ZrH_2) offers high volumetric hydrogen capacity and notable structural stability; however, its thermodynamic stability exceeds the optimal range set by the U.S. Department of Energy ($\Delta H \approx -40$ kJ/mol H_2, T_{des} = 289–393 K), limiting its hydrogen desorption performance. In this study, density functional theory (DFT) calculations are employed to investigate two strategies for tuning the stability of ZrH_2: lithium (Li) substitution and triaxial compressive strain. Substituting Zr with Li at a concentration of 12.5 % reduces the formation enthalpy to –37.09 kJ/mol H_2 and the desorption temperature to 275.9 K, approaching DOE targets. Similarly, applying a 9.4% triaxial compressive strain decreases the formation enthalpy to –39.49 kJ/mol.H_2 and T_{des} to 293.74 K. These modifications demonstrate promising avenues for tailoring the thermodynamic properties of ZrH_2, thereby enhancing its viability as a candidate for solid-state hydrogen storage applications.
Keywords: Hydrogen storage; ZrH_2; DFT; metal hydrides; Strain; Desorption Temperature.

1. Mohamed Amine Mekaoui and H. Ez-Zahraouy, " Enhancing the hydrogen storage properties of ZrH2 through lithium substitution and triaxial strain: A density functional theory study " *Int. J. Hydrog. Energy,* **188**, 151998 (2025)

EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL APPROACHES OF PYRAZOLE DERIVATIVES AS CORROSION INHIBITORS FOR CARBON STEEL IN 1 M HYDROCHLORIC ACID MEDIUM

Mimoun BELHADI
LP2MGI, Higher School of Technology, University Hassan II of Casablanca, B.P 8012 Oasis, Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0009-0006-4015-2086

Mohammed CHAFI
LP2MGI, Higher School of Technology, University Hassan II of Casablanca, B.P 8012 Oasis, Casablanca, Morocco

ABSTRACT
This study examines the adsorption and inhibition performances of two new pyrazole-derived ligands: 1-benzyl-N'-(1-(4-ethoxyphenyl)ethylidene)-5-methyl-1H-pyrazole-3-carbohydrazide (Pyr3) and 1-benzyl-5-methyl-N'-(1-(4-nitrophenyl)ethylidene) -1H-pyrazole-3-carbohydrazide (Pyr5). The tests were performed on C48 carbon steel in a 1.0 M HCl solution between 298 and 318 K, combining potentiodynamic polarization (PDP), electrochemical impedance spectroscopy (EIS), weight loss (WL), and scanning electron microscopy (SEM), supplemented by computational approaches. Inhibition efficiencies reached 94.26% and 89.76% for Pyr3 and Pyr5, respectively, at 10^{-3} M. The EIS measurements indicate an increase in polarization resistance and a marked decrease in double layer capacitance (C_{dl}), attributed to the adsorption of inhibitors and the formation of a protective film at the metal/solution interface. PDP curves show that Pyr3 and Pyr5 behave as mixed-type inhibitors. The adsorption phenomenon follows the Langmuir isotherm. SEM observations, corroborated by UV-visible spectroscopy, confirm the improvement in surface condition in the presence of inhibitors. The global DFT descriptors are weakly correlated with experimental performance, while molecular dynamics simulations suggest preferential parallel adsorption, confirming the superior effectiveness of Pyr3. These results open up prospects for the development of effective pyrazole-based corrosion inhibitors.

FRACTIONAL-ORDER MODELING AND STABILITY ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE DYNAMICS WITH TREATMENT INTERVENTION

Usman S RILWAN
Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria
ORCID ID: 0009-0008-9344-866X

Michael O ONI
Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria
ORCID ID: 0000-0002-0272-4825

Mohamed S SHAGARI
Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria
ORCID ID: 0000-0001-6632-8365

Ayuba Umar MUHAMMAD
Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria
ORCID ID: 0000-0002-5061-687X

Kabir M TAFIDA
Federal University of Education, Zaria, Nigeria
ORCID ID: 0000-0002-6320-5279

ABSTRACT
The increasing complexity of infectious disease dynamics has motivated the development of advanced mathematical modeling approaches capable of capturing memory and hereditary effects. Fractional calculus has recently emerged as a powerful tool for modeling such phenomena. In this study, a fractional-order epidemic model is proposed to investigate the transmission dynamics of infectious diseases with treatment intervention. The model incorporates Caputo fractional derivatives to account for memory effects in disease progression. Fundamental properties including positivity and boundedness of solutions are established. The basic reproduction number is derived and used as a threshold parameter to determine disease persistence. Stability analysis of the disease-free equilibrium is performed, and numerical simulations illustrate the impact of treatment intervention on reducing infection levels. The results demonstrate that fractional-order models provide more realistic epidemic behavior compared to classical integer-order systems. This study highlights the importance of integrating advanced mathematical techniques with public health interventions for improved disease control strategies.
Keywords: Fractional calculus, Mathematical epidemiology, Stability analysis, Treatment intervention, Reproduction number

1 Introduction

Infectious diseases remain one of the most significant threats to global public health. The rapid spread of emerging pathogens and recurrent outbreaks highlight the need for effective strategies to understand and control disease transmission. Mathematical modeling has become an essential tool in epidemiology for describing the spread of infectious diseases and evaluating intervention strategies (Anderson & May, 1991).

Classical epidemic models, such as the SIR model introduced by Kermack and McKendrick (1927), have provided important insights into disease transmission mechanisms. These models assume integer-order derivatives, which imply that the future state of the system depends only on the current state. However, many biological systems exhibit memory effects where past states influence current dynamics.

Fractional calculus provides a powerful mathematical framework for modeling systems with memory and hereditary properties. Fractional-order differential equations have been successfully applied in various fields, including physics, engineering, and epidemiology (Podlubny, 1999).

In epidemic modeling, fractional derivatives allow for more realistic representation of disease transmission and recovery processes.
In addition to mathematical considerations, treatment interventions play an important role in reducing disease burden. Early diagnosis and effective treatment can significantly decrease the number of infectious individuals and limit the spread of disease.
Motivated by these observations, this study proposes a fractional-order SIR epidemic model incorporating treatment intervention. The aim is to analyze the dynamical behavior of the model and determine the impact of treatment on disease control.

2 Preliminaries of Fractional Calculus

Fractional calculus extends the concept of differentiation and integration to non-integer orders. One of the most commonly used definitions in epidemiological modeling is the Caputo fractional derivative.
The Caputo derivative of order α for a function $f(t)$ is defined as:

$$D^{\alpha}f(t) = \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)}\int_0^t (t-\tau)^{n-\alpha-1} f^n(\tau)d\tau.$$

Where:

- ✓ $0 < \alpha < 1$
- ✓ $\Gamma(.)$ is the Gamma function
- ✓ $n-1 < \alpha < n$

This formulation allows the incorporation of memory effects into dynamic systems.

3 Model Formulation

The population is divided into three compartments:

- ✓ $S(t)$: Susceptible individuals
- ✓ $I(t)$: Infectious individuals
- ✓ $R(t)$: Recovered individuals

The total population is
$N(t) = S(t) + I(t) + R(t)$
The fractional epidemic model is given by:
$D^{\alpha}S = \Lambda - \beta SI - \mu S$
$D^{\alpha}I = \beta SI - (\gamma + \tau + \mu)I$
$D^{\alpha}R = \gamma I + \tau I - \mu R$
where

- ✓ Λ : recruitment rate
- ✓ β: transmission rate
- ✓ γ: recovery rate
- ✓ τ: treatment rate
- ✓ μ: natural death rate
- ✓ α: fractional order

The treatment parameter τ represents medical intervention that moves infected individuals toward recovery.

4 Basic Properties of the Model

4.1 Positivity of Solutions
For epidemiological models, all state variables must remain non-negative.
Using standard fractional differential equation theory, it can be shown that for non-negative initial conditions:
$S(t), I(t), R(t) \geq 0$
for all $t > 0$.

4.2 Boundedness

The total population satisfies

$D^{\alpha}N = \Lambda - \mu N$

Thus,

$N(t) =\leq \frac{\Lambda}{\mu}$

which ensures the system remains in a biologically feasible region.

5 Basic Reproduction Number

The basic reproduction number R_0 represents the average number of secondary infections produced by a single infected individual in a completely susceptible population.

Using the next-generation matrix method (van den Driessche & Watmough, 2002), we obtain:

$$R_0 = \frac{\beta\Lambda}{\mu(\gamma + \tau + \mu)}$$

Interpretation:

- If $R_0 < 1$, the disease dies out.
- If $R_0 > 1$, the disease persists.

Increasing the treatment rate τ reduces R_0.

6 Stability Analysis

The disease-free equilibrium is obtained by setting $I = 0$:

$$E_0 = \left(\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0\right)$$

Theorem

The disease-free equilibrium is locally asymptotically stable if $R_0 < 1$.

Proof Idea

Using linearization and eigenvalue analysis of the Jacobian matrix at E_0, the eigenvalues have negative real parts when $R_0 < 1$.

Thus the infection cannot invade the population.

7 Numerical Illustration

Numerical simulations of the fractional system reveal that:

- Lower fractional orders produce slower epidemic evolution.
- Treatment significantly reduces infection prevalence.
- Memory effects influence long-term epidemic behavior.

These results highlight the flexibility of fractional models in capturing realistic epidemic dynamics.

8 Discussion

The incorporation of fractional derivatives introduces memory effects into the epidemic system. This allows the model to capture more realistic disease progression compared to classical integer-order models.

Treatment intervention is shown to play a critical role in reducing infection levels. Increasing treatment rate lowers the basic reproduction number and contributes to disease elimination.

9 Conclusion

This study developed a fractional-order epidemic model incorporating treatment intervention. Fundamental properties of the system were established, and the basic reproduction number was derived. Stability analysis demonstrated threshold conditions for disease elimination. The findings emphasize the importance of treatment programs and highlight the advantages of fractional calculus in modeling complex epidemic processes.

Future research may extend this model by including vaccination strategies or optimal control approaches.

REFERENCES

Anderson, R. M., & May, R. M. (1991). *Infectious diseases of humans: Dynamics and control*. Oxford University Press.

Diethelm, K. (2010). *The analysis of fractional differential equations*. Springer.

Kermack, W. O., & McKendrick, A. G. (1927). A contribution to the mathematical theory of epidemics. *Proceedings of the Royal Society A*, 115(772), 700–721.

Podlubny, I. (1999). *Fractional differential equations*. Academic Press.

van den Driessche, P., & Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and subthreshold endemic equilibria for compartmental models. *Mathematical Biosciences*, 180, 29–48.

NITROPHENOL ADSORPTION USING FIXED-BED COLUMNS AND INEXPENSIVE ACTIVATED CARBON IN BATCHES

Djellouli AMIR
Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Biskra 07000, Algeria, Laboratory of Water Treatment and Valorization of Industrial Wastes, Department of Chemistry, University Badji Mokhtar, B.P.12, 23000 Annaba, Algeria
ORCID ID: 0000-0001-5092-2212

Berredjem YAMINA
Laboratory of Water Treatment and Valorization of Industrial Wastes, Department of Chemistry, University Badji Mokhtar, B.P.12, 23000 Annaba, Algeria

Yagoub MOHAMED
Department of Civil Engineering and Hydraulic, Mohamed Khider University, Biskra, Algeria

Guesmia HADJER
Center for Scientific and Technical Research on Arid Regions (CRSTRA), Biskra 07000, Algeria

ABSTRACT
This paper describes the synthesis of environmentally friendly, low-cost adsorbents and examines their adsorption capabilities in the removal of 4-nitrophenol from wastewater. Simple analysis, FTIR, and SEM were used to characterize unmodified date palm fibers biochar.
The maximum adsorbed quantities for date palm fibers biochar were determined to be 81.076 mg/g, after isotherm experiments in the batch system were examined. Strong coefficient correlation (R2), low RMSE, and $\chi 2$ in the measurements of isotherms were well-suited for the Langmuir equation.
To assess the column's functionality, fixed bed adsorption was investigated under operational settings, including bed height, 4-nitrophenol flow rate, and 2-nitrophenol inlet concentration.
As the rate flow decreases and bed height increases, breaktime and breakthrough curves both increases. With 4 cm (0.5 g) of bed height, 160 mg/L of intake 2-nitrophenol concentration, and 2 mL/min rate flow, the highest percentage of 4-nitrophenol solution treated (65.46%) and highest bed capacity of 31.42 mg/g were achieved.
Nelson, the breakthrough curves were fitted using the Yoon and Thomas models. The models exhibit strong behavior of the breakthrough and an R2 that is higher than 0.99, indicating their good applicability.
Keywords: 4-nitrophenol, Fixed bed adsorption, batch adsorption, biochar.

CRYSTAL STRUCTURE, X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS, AND COMPUTATIONAL STUDY OF A NEW ORGANIC–INORGANIC COMPOUND: 2-ETHYL-N-PHENYLMETHANAMINIUM DIHYDROGEN PHOSPHITE

EL. MAJDIA
LABORATORY OF PHYSİCAL CHEMİSTRY OF APPLİED MATERİALS, BEN M'SİCK FACULTY OF SCİENCES, HASSAN II UNİVERSİTY OF CASABLANCA, CASABLANCA, MOROCCO

S. ZERRAF
Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco

Said BELAAOUADA
Laboratory of Physical Chemistry of Applied Materials, Ben M'Sick Faculty of Sciences, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco

ABSTRACT
This work presents a comprehensive characterization of a novel organic-inorganic phosphite, 2-ethylanilinium phosphite $[CH_3CH_2C_6H_4NH_3]PO_3$, starting by chemical preparation, crystal structure characterization, and computational techniques (DFT, HAS, and ELF). The compound was synthesized by reacting phosphorous acid with N,N-Dimethylaniline. Single crystal X-ray diffraction analysis revealed its triclinic crystal system with the space group $P\bar{1}$. The structure was refined using the least-squares method. The compound's structure comprises anions and cations linked through strong hydrogen bonds, forming a 3D framework. A comparative study between X-ray diffraction and DFT-minimized geometrical descriptors showed slight bond lengths and angle discrepancies. Local and global reactivity, molecular orbital contributions, and intermolecular interaction properties were assessed using 3D-MEPs, FMO (HOMO/LUMO), DOS, and Hirshfeld surface analyses (HSA), respectively. The primary intermolecular interactions responsible for stabilizing the crystal structure were identified as N–H···O and C–H···O hydrogen bonds. The combined experimental and computational approach provided a detailed understanding of the synthesized material at both the molecular and crystalline levels.
Keywords: 2-ethylanilinium-phosphite; X-ray diffraction; (HSA; ELF, DFT)-calculations.

MODELING MALARIA TRANSMISSION DYNAMICS INCORPORATING INSECTICIDE RESISTANCE IN MOSQUITO VECTORS

Roseline T. ABAH
Department of Mathematics, University of Abuja, Nigeria

Ibrahim ALIYU
Department of Mathematics, Federal Polytechnic Bida, Niger State, Nigeria

ABSTRACT
Malaria remains a major public health challenge in sub-Saharan Africa, with Nigeria bearing the highest global burden. The rapid emergence and spread of insecticide resistance significantly reduce the effectiveness of vector control strategies such as long-lasting insecticidal nets (LLINs) and indoor residual spraying (IRS). In this study, a deterministic compartmental SEIR-based model is developed to incorporate insecticide resistance by stratifying mosquito vectors into susceptible and resistant classes and accounting for reduced insecticideinduced mortality among resistant mosquitoes. The results indicate that increasing resistance intensity produces nonlinear growth in infectious mosquito bites, reduces the impact of insecticide-induced mortality, and prolongs epidemic peaks. These effects threaten the longterm sustainability of current malaria control efforts. The study highlights the importance of integrated vector management strategies, including insecticide rotation, synergist-enhanced nets, larval source management, and enhanced entomological surveillance. By explicitly linking resistance-dependent vector dynamics with epidemiological outcomes, the proposed framework provides quantitative information to support robust malaria control policy in Nigeria and other high-burden regions.
Keywords: Malaria transmission; Insecticide resistance; SEIR model; Vector-borne disease; Optimal control.

SYNTHESIS AND PHOTOCATALYTIC EXPLORATION OF HALIDE-BASED DOUBLE PEROVSKITE MATERIALS

Ashaa
Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Sciences, Department of Chemistry, Pakistan

Dr. Zumaira SIDDIQUE
Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Sciences, Department of Chemistry, Pakistan

Dr. Fozia ANJUM
Government College University Faisalabad, Faculty of Physical Sciences, Department of Chemistry, Pakistan

ABSTRACT
Halide double perovskites have gained considerable interest due to their high absorption coefficients, tuneable band gaps and promising photocatalytic properties. In this study, Mn^{2+}-doped double perovskites $K_2MgCa_xMn_{1-x}Cl_6$ (x = 0, 0.5, 1) were synthesized via a solution-state precipitation method and evaluated for the photocatalytic degradation of methyl orange dye. Structural analysis confirmed phase stability based on Goldschmidt tolerance factors (0.833-0.861) and octahedral factors (0.472-0.425). X-ray diffraction revealed orthorhombic and rhombohedral phases with slight peak shifts upon Mn^{2+} doping, indicating successful incorporation into the lattice. UV-Vis spectroscopy showed strong ultraviolet absorption with direct band gaps ranging from 3.82 to 4.07 eV. Scanning electron microscopy indicated grain sizes of 5-10 µm, while energy-dispersive X-ray spectroscopy confirmed sample purity. Photocatalytic experiments demonstrated enhanced degradation efficiency under optimized conditions of 0.20 g catalyst, 5 mL H_2O_2 and 10 °C. Among the samples, $K_2MgMnCl_6$ (x = 1) exhibited superior performance, achieving 98.29 % degradation in the presence of an oxidant and 83.19 % under sunlight irradiation. Kinetic studies showed decreasing reaction rates with increasing dye concentration and temperature, with activation energies of 8.86-11.19 J mol^{-1}. Reusability tests confirmed reasonable cyclic stability. Overall, Mn^{2+} doping significantly improved structural, optical and photocatalytic properties, highlighting $K_2MgMnCl_6$ as a promising, low-cost and recyclable photocatalyst for organic dye degradation, industrial wastewater treatment and sustainable environmental remediation through advanced oxidation processes.
Keywords: Halide double perovskites, Mn^{2+} doping, Photocatalytic degradation, Methyl orange dye, Band gap engineering, Advanced oxidation processes (AOPs)

SENSITIVITY ANALYSIS AND NUMERICAL SIMULATION OF SEIR MODEL FOR CARDIOVASCULAR DISEASE DYNAMICS

Agbo Christiana ENE
University of Abuja, Faculty of Science, Department of Mathematics, Abuja, Nigeria
ORCID ID: 0009-0006-1056-2404

Abah Roseline TOYIN
University of Abuja, Faculty of Science, Department of Mathematics, Abuja, Nigeria
ORCID ID: 0000-0001-8970-3586

ABSTRACT
Cardiovascular disease persist as a considerable factor in the escalation of global mortality statistics, thereby highlighting the necessity for the development of efficacious methodologies directed towards transmission mitigation, prevention, and management. The aim of this study is to formulate the SEIR model pertinent to cardiovascular disease, conduct Stability Analysis, sensitivity analysis and execute numerical simulations of the SEIR model with respect to the dynamics of cardiovascular disease. The method employed in constructing the model is based on the SEIR framework while incorporating the loss of immunity as a significant model parameter; the analysis of the model utilizes the next generation matrix method to derive the basic reproduction numbers and ascertain the global stability of the cardiovascular disease dynamics model. Sensitivity analyses were conducted to identify the parameters that exert the most substantial influence on disease progression. Numerical simulations were executed to substantiate the analytical outcomes and to exemplify the efficacy of control measures aimed at diminishing the basic reproduction number. These results emphasize the paramount significance of prioritizing early interventions in cardiovascular disease prevention, thereby offering a holistic framework for the formulation of public health initiatives.
Keywords: Cardiovascular disease, Sensitivity analysis, Stability Analysis, Next generation matrix, Global stability

INTRODUCTION
Cardiovascular disease (CVD) comprises a spectrum of ailments affecting the heart and vasculature, including but not limited to hypertension, coronary heart disease, cerebrovascular disease, and heart failure. It ranks as the predominant cause of mortality worldwide, with over 17.5 million deaths documented in 2012 (Greenfield & Snowden, 2019). The gravity of CVDs is underscored by the statistic that more than four-fifths of fatalities attributable to these conditions arise from heart attacks and strokes, with a considerable proportion occurring prematurely in individuals younger than 70 years (Cardiovascular Diseases, 2024). Alterable risk factors, such as tobacco consumption, poor dietary habits, and elevated blood pressure, play a significant role in exacerbating this burden, thereby highlighting the imperative for focused interventions (Cardiovascular Diseases (CVDs), 2022).
Given that cardiovascular diseases represent a relatively intricate system necessitating interdisciplinary knowledge from various realms of physics and chemistry to thoroughly grasp its dynamics, models or simulators with varying degrees of detail have been devised to facilitate a comprehensive understanding of the system's operational mechanisms. A plethora of models has been proposed and scrutinized from diverse perspectives, encompassing the investigation of gas exchange, neuro-regulatory mechanisms, and the hemodynamic behavior of the heart; however, the latter perspective has consistently attracted greater scholarly attention owing to its substantial physiological and clinical implications (Simaan, 2009).
The application of mathematical models in the investigation of cardiovascular disease has garnered considerable scholarly interest in recent years. These models empower researchers to simulate and analyze the multifaceted hemodynamics and electrophysiology of the heart, thereby yielding critical insights into the mechanisms underlying various cardiac pathologies. Computational modeling of cardiac hemodynamics has proven especially advantageous in evaluating the hemodynamic status of patients, thus facilitating the diagnosis and management of heart disease (Rajat, et al 2016).

Furthermore, personalized modeling methodologies have been developed to accommodate individual variability, thereby optimizing diagnostic and therapeutic strategies (Bing, 2021).
Moreover, whole-heart modeling and simulation have emerged as formidable instruments in cardiac research, enabling the synthesis of genomic and proteomic data with organ functionality (Natalia, 2011). This methodology harbors the potential to transform our comprehension of cardiac function in both health and disease states. In addition, the utilization of human-induced pluripotent stem cells has enabled the generation of cardiomyocytes for the in vitro simulation of cardiac tissue functionality, thereby facilitating the modeling of cardiac diseases at the tissue level (Cai, et al, 2023).
To accurately characterize the dynamic system, novel models necessitate the introduction of new terminology. Alternatively, through the adjustment of parameters, these models may replicate a dynamic resembling the intended behavior yet may fall short of an accurate representation, despite the absence of new terminology (Nichola, et al 2011).
Cardiovascular disease models present the opportunity to diagnose or forecast the behaviors of the cardiovascular system (CVS) when a patient experiences cardiovascular dysfunction or pathology, or to evaluate the performance of auxiliary devices (Keshavarz-Motamed, 2020). This capability diminishes the diagnostic duration for certain pathologies as well as the research time required for the functional assessment of devices under development, while concurrently decreasing reliance on animal experimentation. Nonetheless, the extant models exhibit limitations in practical clinical application due to their inherent physical and computational complexities (Liu, et al, 2020).The modeling of pathologies, as well as medical assistance devices, typically necessitates the alteration of numerous interrelated parameters within the model, occasionally mandating the execution of new validations (Bing, 2021). In a prior investigation, Olufsen et al. (2000) introduced a mathematical framework consisting of 11 compartments to delineate blood pressure, blood flow, compliance, and resistance within the heart and the systemic circulation. This framework possesses the capacity to forecast cerebral blood flow velocity and finger blood pressure, while also offering a physiological exposition of the dynamics in reaction to hydrostatic pressure variations during postural transitions from a seated to an upright position. Formaggia et al. (2010) devised a closed-loop lumped parameter model of the cardiovascular system capable of simulating both short-term transient and steady-state hemodynamic responses to head-up tilt. The entirety of the model was characterized by 12 compartments, wherein the peripheral circulation was segmented into upper body, renal, splanchnic, and leg compartments; the superior and inferior vena cavae, as well as the left and right ventricles, were delineated separately. As articulated by Agbo et al. (2024), the model incorporates agent-based modeling to replicate individual-level alterations in lifestyle and environmental exposures, in conjunction with interconnected ordinary differential equations to elucidate population-level dynamics pertaining to disease transmission. The model is predicated on the assumptions that risk factors are linearly additive, that populations exhibit homogeneity, and that parameters remain invariant over time. The existing corpus of literature furnishes a robust foundation for comprehending the epidemiology of cardiovascular diseases, associated risk factors, and the significance of mathematical modeling. Nonetheless, a notable deficiency persists in comprehensive models that integrate lifestyle, genetic, and environmental factors. This research endeavors to bridge this gap, leveraging the strengths of existing models to enhance our comprehension of the prevention and control of heart disease.

MATERIAL AND METHOD

The model will employ a compartmental structure to represent the population dynamics in relation to cardiovascular disease. The population is stratified into distinct compartments, each capturing a specific aspect of the individual's health status namely: susceptible (S), exposed (E), infected (I), and recovered (R). The method employed in constructing the model is based on the SEIR framework while incorporating the loss of immunity as a significant model parameter; the analysis of the model utilizes the next generation matrix method used in (Agbo et al., 2025)to derive the basic reproduction numbers and ascertain the global stability of the cardiovascular disease dynamics model. Sensitivity analyses were conducted to identify the parameters that exert the most substantial influence on disease progression. Numerical simulations were executed to substantiate the analytical outcomes and to exemplify the efficacy of control measures aimed at diminishing the basic reproduction number.

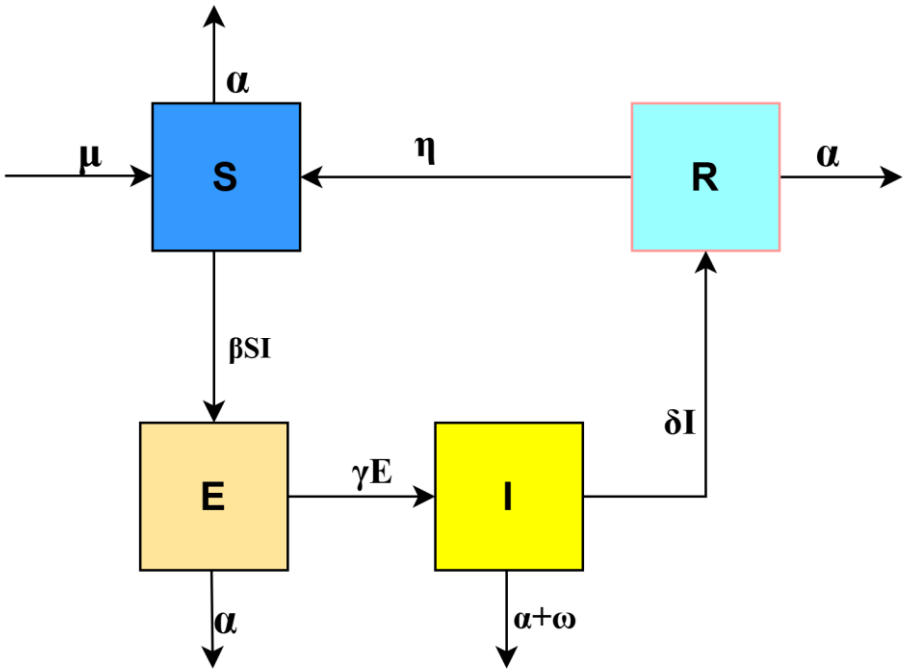


Figure 1: Model Schematic Diagram

Model Variable And Parameter Description

S/NO	VARIABLE AND PARAMETERS	DESCRIPTION
1.	S	Susceptible popuation
2	E	Exposed population
3	I	Infectec population
4	R	Recovered population
5	μ	Birth rate per time
6	α	Natural death rate
7	β	Disease transmission rate
8	γ	Progression rate from exposed to infected class
9	ω	Mortality rate due to heart diseases
10	δ	Recovery rate
11	η	Loss immunity

The model equations are as follows

$$\frac{dS}{dt} = \mu - \beta SI - \alpha S + \eta R \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - (\gamma + \alpha)E \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - (\alpha + \delta + \omega)I \quad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \delta I - (\alpha + \zeta R) \quad (4)$$

as

$$N(t) = S(t) + E(t) + I(t) + R(t) \quad (5)$$

Invariant Region

The invariant region from the system (1-4) is define as $\Gamma=\Gamma\in R_{+}^{4}$, where $\Gamma=\{(S,E,I,R)\in R_{+}^{4}: N=S+E+I+R=\frac{\mu}{\alpha}\}$. By standard comparison invariant results for cooperative ODE systems the solution remains non-negative for all $t\geq 0$. If births and deaths balance at the population rates used, the population satisfies $S+E+I+R=N$ and remains bounded; hence all compartments are non-negative and bounded for all $t\geq 0$.

Stability Analysis

Stability analysis is carried out to determine the equilibrium point. To determine the disease-free equilibrium points, each equation (1-4) must be equal to zero(0) that is $\frac{dS}{dt}=\frac{dE}{dt}=\frac{dI}{dt}=\frac{dR}{dt}=0$ given as:

$\mu-\beta SI-\alpha S+\eta R=0$ (6)

$\beta SI-\gamma E-\alpha E=0$ (7)

$\gamma E-(\alpha+\delta+\omega)I=0$ (8)

$\delta I-(\alpha+\zeta R)=0$ (9)

Then the equilibrium point of S, E, I and R is found.

Disease Free equilibrium

Equilibrium point for disease-free are conditions where there is no disease which implies $I=0$ substituting $I=0$ in system (6-9) we have:

$S=\frac{\mu}{\alpha}$ (10)

Then, the disease free equilibrium point for the cardiovascular disease model is:

$\Omega_0=(S,E,I,R)=(\frac{\mu}{\alpha}, 0,0,0)$ (11)

Basic Reproduction Number

The next matrices generation approach is used to calculate the basic reproduction number (R_0) using equation (7-8) evaluated at Ω_0 .

Let

$$x=\begin{pmatrix}\beta\frac{\mu}{\alpha}\\ \gamma e\end{pmatrix} \quad (12)$$

and

$$y=\begin{pmatrix}(\gamma+\alpha)e\\ (\alpha+\delta+\omega)i\end{pmatrix} \quad (13)$$

From equation (7-8) Which gives F and V matrices as follow:

$$F=\begin{pmatrix}0 & \beta\frac{\mu}{\alpha}\\ \gamma & 0\end{pmatrix} \quad (14)$$

and

$$V=\begin{pmatrix}(\gamma+\alpha) & 0\\ 0 & (\alpha+\delta+\omega)\end{pmatrix} \quad (15)$$

$$V^{-1}=\begin{pmatrix}\frac{1}{(\gamma+\alpha)} & 0\\ 0 & \frac{1}{(\alpha+\delta+\omega)}\end{pmatrix} \quad (16)$$

Then we have:

$$FV^{-1}=\begin{pmatrix}0 & \frac{\beta\mu}{\alpha(\alpha+\delta+\omega)}\\ \frac{\gamma}{(\gamma+\alpha)} & 0\end{pmatrix} \quad (17)$$

The basic reproduction numberR_0which is the dominant eigenvalues of system (17) is:

$$R_0=\frac{\beta\mu\gamma}{\alpha(\gamma+\alpha)(\alpha+\delta+\omega)} \quad (18)$$

Global Stability of the Disease-free Equilibrium

Global stability of the disease-free equilibrium when $R_0 \leq 1$ using Lasalle's Invariance Principle.

Theorem 1

If $R_0 \leq 1$ then disease-free equilibrium $\Omega_0=(S,E,I,R)=(\frac{\mu}{\alpha}, 0,0,0)$ of equation (1-4) is globally asymptotically stable.

Proof

Let the

$$l=\gamma E+(\alpha+\delta+\omega)I \qquad (19)$$

Then the derivative of L along a solution $\left(S(t), E(t), I(t), R(t)\right)$ is

$$l'=I[\beta\gamma S-(\gamma+\alpha)(\alpha+\delta+\omega)]$$
$$=(\gamma+\alpha)(\alpha+\delta+\omega)I[R_0 S-1]\leq 0 \qquad (20)$$

Since

$$S=\frac{\mu}{\alpha}\leq 1 \qquad (21)$$

If $L'=0$ then either $I=0$ or $R_0 S=1$. If $R_0=1$, then second relation implies $S=1$, $E=I=R=0$. The set $W=\left\{(S,E,I,R)\in\frac{\Gamma}{L'}=0\right\}\subset\{S, E,I,R\}\in\frac{\Gamma}{I}=0$. A solution $(S(t), E(t), I(t),R(t))$ that stays in W satisfies equation $S'=\mu-\propto S$ and thus

$$S(t)\rightarrow 1 \text{ for } (\mu=\propto=1) \text{ as } t\rightarrow\infty \qquad (22)$$

Implies that, $E(t), I(t),R(t)\rightarrow 0$ as $t\rightarrow\infty$ since

$$S(t)+E(t)+ I(t)+R(t)\leq 1 \qquad (23)$$

The largest invariant set in W is then the singleton $\{\Omega_0\}$. The global asymptotic stability Ω_0 when $R_0\leq 1$ follows from the Lesalle's invariance principle

Normalized Forward Sensitivity Index

The normalized forward sensitivity index of R_0 with respect to a parameter P is defined as:

$$Y_P^{R_0}=\frac{\partial R_0}{\partial P}\times\frac{P}{R_0} \qquad (24)$$

Where P is any the model parameter and R_0 is the basic reproduction number.

Table 2 displays the sensitivity indices of several model parameters that were determined using the equation (24). It is evident from Table 2 that parameters μ, β, and γ have positive indices, indicating that R_0 rises with the parameter. The remaining parameters have negative sensitivity indices, indicating that when these parameters grow, R_0 decreases.

Table2: Parameters Sensitivity Index

PARAMETERS	SENSITIVITY INDEX
μ	$+1$
α	$-(1+\frac{\alpha}{\gamma+\alpha}+\frac{\alpha}{\alpha+\delta+\omega})$
β	$+1$
γ	$+\frac{\alpha}{\gamma+\alpha}$
ω	$-\frac{\omega}{\alpha+\delta+\omega}$
δ	$-\frac{\delta}{\alpha+\delta+\omega}$

Numerical Simulation And Sensitivity Analysis

This section will provide a numerical demonstration of the endemic equilibrium's global stability. The simulations were executed using the appropriate R programming instructions and tools. We used the initial condition of $(S, E, I,R)=(1000, 280, 40, 16)$ and the parameters value given in Table3.

Table2: Model Parameter Description

S/NO	PARAMETERS	VALUES/DAY	SOURCES
1	μ	10	(McBryde et al., 2017)
2	α	0.0001	Estimated
3	β	0.003	Assumed
4	γ	0.02	Estimated
5	ω	0.006	Assumed
6	δ	0.1	(McBryde et al., 2017)

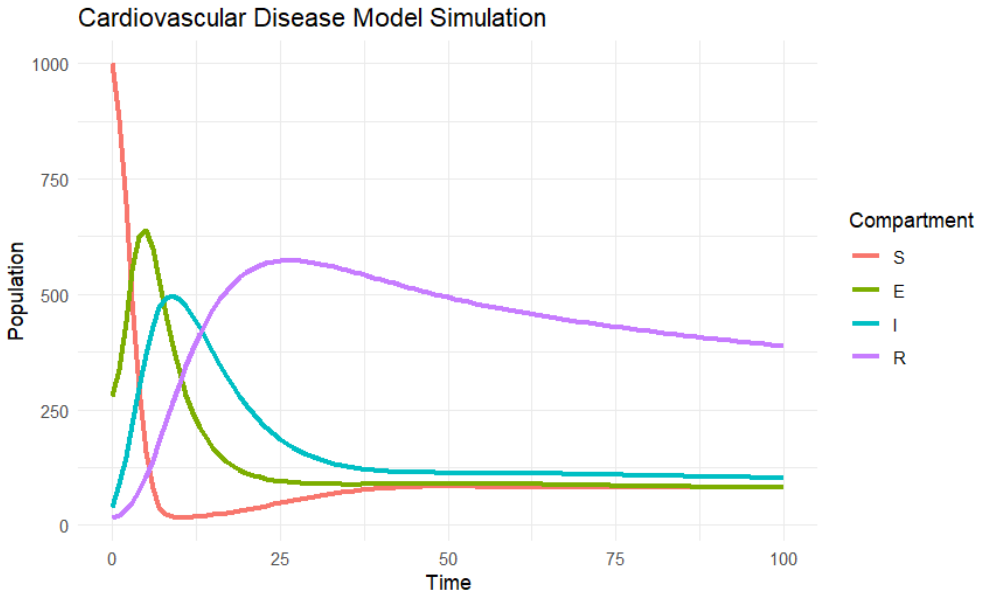


Figure2: Simulation of the Model

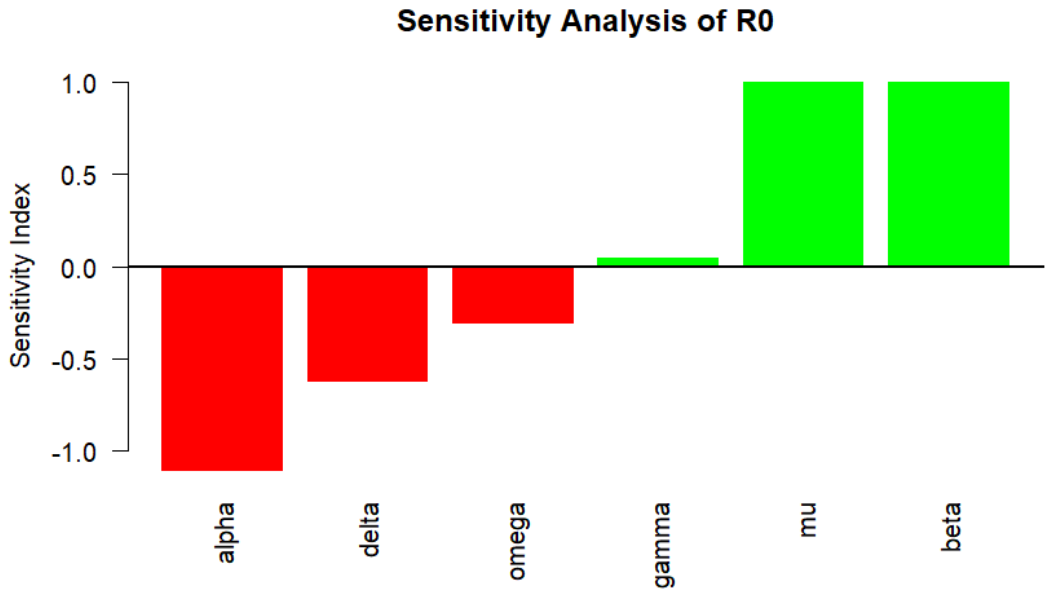


Figure3: Sensitivity analysis of R_0 with respect the parameters

RESULTS DISCUSSION AND CONCLUSION

This study developed and analyzed an SEIR mathematical model for cardiovascular disease dynamics with the inclusion of loss of immunity as an important epidemiological factor. The model successfully described the movement of individuals through the susceptible, exposed, infected, and recovered compartments and provided a clearer understanding of the transmission and control mechanisms of cardiovascular disease. The disease-free equilibrium was obtained and the basic reproduction number R_0 was derived using the next generation matrix method. The analysis showed that when $R_0<1$, the disease-free equilibrium is globally asymptotically stable, indicating that cardiovascular disease can be eliminated from the population. However, when $R_0>1$, the disease persists, emphasizing the importance of reducing the reproduction number below unity.

The sensitivity analysis revealed that the transmission rate, recruitment rate, and progression rate from exposed to infected individuals have the strongest positive influence on disease spread, while recovery rate and other negatively sensitive parameters help reduce the burden of the disease. This finding highlights the importance of preventive healthcare strategies, early diagnosis, lifestyle modification, and effective treatment in controlling cardiovascular disease. The numerical simulations supported the analytical results by demonstrating the long-term behavior of the disease compartments and confirming the effectiveness of intervention strategies. The results indicate that reducing exposure to cardiovascular risk factors and improving recovery mechanisms are the most effective approaches for minimizing disease prevalence.In conclusion, this study provides a strong mathematical and epidemiological framework for understanding cardiovascular disease dynamics and offers valuable guidance for policymakers and healthcare professionals in designing effective prevention and control strategies. Future studies may extend the model by incorporating age structure, vaccination strategies, socioeconomic factors, and optimal control measures for more realistic public health applications.

REFERENCES

Agbo, C., Abah, R., & Abdullahi, A. M. (2024). A mathematical modeling on the stability analysis of heart disease dynamics: Mathematical modeling on the stability analysis of heart disease. *Journal of Institutional Research, Big Data Analytics and Innovation, 1*(1). https://universityjournals.com.ng/index.php/jirbdai/article/view/54/24

Agbo, C. E., Abah, R. T., & Ogunfiditimi, F. O. (2025). Mathematical modelling and stability analysis of the disease-free equilibrium of heart disease transmission and prevention dynamics. https://fnasjournals.com/index.php/FNAS-JMNS/article/view/776

Bing Yao. (2021). Spatiotemporal modeling and optimization for personalized cardiac simulation. *IISE Transactions on Healthcare Systems Engineering, 11*(2), 145–160. https://doi.org/10.1080/24725579.2021.1879322

Cai, L., Wang, R., & Zhang, D. (2023). Cardiac disease modeling with engineered heart tissue. In M. H. Kuehn & W. Zhu (Eds.), *Human iPSC-derived disease models for drug discovery* (Handbook of Experimental Pharmacology, Vol. 281). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/164_2023_681

Cardiovascular diseases. (2024). https://doi.org/10.5281/zenodo.11069055

Cardiovascular diseases (CVDs). (2022). 123–141. https://doi.org/10.1002/9781118910573.ch5

Formaggia, L., Quarteroni, A., & Veneziani, A. (2010). *Cardiovascular mathematics: Modeling and simulation of the circulatory system*. Springer.

Greenfield, D., & Snowden, J. A. (2019). Cardiovascular diseases and metabolic syndrome (pp. 415–420). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02278-5_55

Keshavarz-Motamed, Z. (2020). A diagnostic, monitoring, and predictive tool for patients with complex valvular, vascular, and ventricular diseases. *Scientific Reports, 10*, 6905.

Liu, H., Liu, S., Ma, X., & Zhang, Y. (2020). A numerical model applied to the simulation of cardiovascular hemodynamics and operating condition of continuous-flow left ventricular assist device. *Mathematical Biosciences and Engineering, 17*(6), 7519–7543.

McBryde, E. S., Meehan, M. T., Doan, T. N., Ragonnet, R., Marais, B. J., Guernier,V., & Trauer, J. M. (2017). The risk of global epidemic replacement with drug resistant *Mycobacterium tuberculosis* strains. *International Journal of Infectious Diseases, 56*, 14–20. https://doi.org/10.1016/j.ijid.2017.01.031

Natalia A. T. (2011) Whole-Heart Modeling Applications to Cardiac Electrophysiology and Electromechanics. *Circulation Research, 108*, 85–97. https://discovery.researcher.life/article/whole-heart-modeling/99a808448ddc37fba96ff24ca92cb842

Nichols, W., O'Rourke, M., & Vlachopoulos, C. (2011). *McDonald's blood flow in arteries* (6th ed.): Theoretical, experimental and clinical principles. CRC Press.

Olufsen, M.S., Peskin, C.S., Kim, W.Y., Pedersen, E.M., Nadim, A., & Larsen, J. (2000). Numerical simulation and experimental validation of blood flow in arteries with structured-tree outflow conditions. *Annals of Biomedical Engineering, 28*(11), 1281–1299.

Rajat Mittal, Jung Hee Seo, Vijay Vedula, Young J. Choi, Hang Liu, H. Howie Huang, Saurabh Jain, Laurent Younes, Theodore Abraham, Richard T. George (2016) "Computational modeling of cardiac hemodynamics: Current status and future outlook" *Journal of Computational Physics, 305*, 1065-1082. https://doi.org/10.1016/j.jcp.2015.11.022

Simaan, M. A. (2009). Rotary heart assist devices. In *Springer handbook of automation* (pp. 1409–1422). Springer.

DESIGN AND BIOLOGICAL EVALUATION OF PYRAZOLE-DERIVED HETEROCYCLES AS ANTICANCER AND ANTI-INFLAMMATORY AGENTS

AbdulRahman Mohammed UMAR
Department of Chemistry, Integral University, Lucknow, India

Saimah KHAN
Department of Chemistry, Integral University, Lucknow, India

ABSTRACT

Pyrazole-based heterocyclic compounds have emerged as a highly privileged scaffold in medicinal chemistry, demonstrating remarkable dual pharmacological potential as anticancer and anti-inflammatory agents. The unique structural architecture of the pyrazole ring — a five-membered aromatic system bearing two adjacent nitrogen atoms — confers exceptional versatility in molecular design, enabling precise modulation of biological targets through strategic substitution at N1, C3, C4, and C5 positions. In the realm of oncology, pyrazole derivatives have shown potent cytotoxic activity against diverse cancer cell lines, including breast (MCF-7), lung (A549), colon (HT-29), and cervical (HeLa) carcinomas. Their anticancer mechanisms are multifaceted, encompassing inhibition of key kinases such as EGFR, VEGFR-2, CDK2, and Aurora kinase, induction of apoptosis via the intrinsic mitochondrial pathway, disruption of tubulin polymerization, and downregulation of anti-apoptotic Bcl-2 proteins. Notable clinical successes include celecoxib analogues and pyrazolo[3,4-d]pyrimidine derivatives exhibiting submicromolar IC_{50} values. As anti-inflammatory agents, pyrazoles exert their effects primarily through selective COX-2 inhibition, suppression of pro-inflammatory cytokines (TNF-α, IL-6, IL-1β), and inhibition of the NF-κB signaling pathway. The landmark drug celecoxib exemplifies the therapeutic relevance of this scaffold, while newer diarylpyrazole hybrids demonstrate improved selectivity indices and reduced gastrointestinal toxicity compared to classical NSAIDs. Structure-activity relationship (SAR) studies consistently reveal that electron-withdrawing groups at C-3/C-5 and aryl substituents at N1 significantly enhance potency. Molecular docking investigations corroborate strong binding affinities within active sites of COX-2 and kinase enzymes. Collectively, pyrazole-based compounds represent a promising and structurally tunable platform for developing next-generation dual-acting therapeutic agents against cancer and inflammatory diseases.

Keywords: *Pyrazole, anticancer, anti-inflammatory, COX-2 inhibition, kinase inhibitors, structure-activity relationship, apoptosis, heterocyclic compounds*

FROM MOLECULE TO MEANING: A PHARMACIST-LED FRAMEWORK FOR GENERATIVE AI IN ONCOLOGY EDUCATION – BRIDGING MEDICINAL CHEMISTRY AND VISUAL STORYTELLING

AISSAOUI M'dala Dalal
University of Batna 2, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Batna, Algeria.
ORCID ID: 0009-0003-6934-0011

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) is reshaping healthcare education, yet its application in therapeutic chemistry—particularly for conveying complex Structure-Activity Relationships (SAR) and mechanisms of drug action—remains underexplored. Pharmacists, as medication experts and educators, are uniquely positioned to bridge molecular science and engaging pedagogical communication. This study proposes and pilots a novel educational framework in which pharmacists co-design generative AI tools that translate complex anticancer drug mechanisms into visually compelling, narrative-driven learning modules. Moving beyond traditional molecular visualization software, we leverage AI-generated storytelling and visual metaphors to make abstract pharmacological concepts tangible and memorable. Using text-to-image and text-to-video generative AI tools, we created prototype educational modules on alkylating agents and tyrosine kinase inhibitors in collaboration with third-year pharmacy students, oncology pharmacists, and AI developers at the Faculty of Medicine, Batna University (Algeria). These modules transform complex SAR and mechanisms of action into story-based animations where molecular interactions become characters, drug effects become plot developments, and cellular processes become narrative arcs. Content was optimized for cognitive load, visual clarity, and learner engagement. Feasibility and preliminary impact were assessed via pre/post knowledge tests, narrative engagement scales, and qualitative feedback. We anticipate improved retention of structure-activity relationships, enhanced learner motivation through visual storytelling, and validated feasibility of pharmacist-led AI co-design in academic pharmacy education. Early feedback suggests high acceptability among students and educators. This framework reimagines the pharmacist as a "molecular storyteller" and ethical AI governance actor, offering an innovative, scalable model for therapeutic chemistry education that aligns scientific rigor with pedagogical creativity. By centering visual narrative and AI co-design, this work contributes to global discussions on the future of pharmacy education, digital health literacy, and the evolving role of pharmacists in AI-driven learning ecosystems.

Keywords: Therapeutic chemistry education, generative AI, visual storytelling, pharmacist co-design, oncology, Structure-Activity Relationships, digital pedagogy

ARE FUNCTIONAL TESTS ENOUGH? THE ROLE OF BIOCHEMICAL MARKERS IN ASSESSING THE CONDITION OF TEAM SPORT ATHLETES

Dr. Patrycja WIDŁAK
Department of Human Biology, Faculty of Physical Education, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Warsaw, Poland
ORCID ID: 0000-0003-3433-1310

Prof. (Assoc.) PhD. Anna KOPICZKO
Department of Human Biology, Faculty of Physical Education, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Warsaw, Poland
ORCID ID: 0000-0002-1222-113X

Dr. Marzena MALARA
Department of Human Biology, Faculty of Physical Education, Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Warsaw, Poland
ORCID ID: 0000-0003-0765-8318

Abstarct
The quality of basic movement patterns and postural control play a key role in athletes' functional performance and in reducing the risk of overuse injuries resulting from training loads. Functional tests allow for the identification of range-of-motion limitations, stabilisation deficits and limb asymmetries; however, their predictive value regarding injuries is limited if analysed in isolation. Increasing emphasis is being placed on the importance of a multifactorial approach, which also takes into account body composition, energy availability, and biochemical markers associated with fatigue and inflammatory processes. A comprehensive analysis of these factors may contribute to a better understanding of the relationship between the body's physiological state, motor function, and the risk of overuse injuries in young athletes.
The study involved 48 athletes training in team sports. All participants underwent an assessment of the quality of their movement patterns and dynamic balance using the Functional Movement Screen (FMS) and Y Balance Test (YBT), as well as selected biochemical markers related to training load, fatigue and inflammatory processes.
In the group of athletes analysed, the majority of participants achieved Functional Movement Screen (FMS) results indicating a low or moderate risk of injury, whilst a smaller proportion were characterised by a high risk of injury. The values of the biochemical markers examined, including cortisol, creatine kinase (CK), C-reactive protein (CRP) and pro-inflammatory cytokines (IL-6, TNF-α and TGF-β), were within the reference range in the majority of cases. The results obtained did not indicate the presence of active inflammation or significant disorders associated with excessive training load. Overall, the analysis of functional and biochemical parameters suggests a relatively normal physiological state in the athletes studied.
The results indicate that, in the majority of the athletes studied, functional status and biochemical parameters remain within the normal range. At the same time, the results confirm the validity of conducting a comprehensive assessment encompassing both functional tests and biochemical markers in order to more fully evaluate the physiological status and potential risk of overtraining in athletes.
Keywords: functional movement screen; biochemical markers; team sport athletes; injury risk; functional assessment

Source of funding
This work was written with the financial support of the Ministry of Education and Science as part of the project at Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw (Poland), Research Project (UPB no. 13) titled "Assessment of the Relationship Between Selected Lifestyle Factors and the Risk of Sports Injuries in a Young Adult Population."

TARİHİ VE ARKEOLOJİ MİRASIMIZDAN: NAHÇIVAN'DA NUH PEYGAMBERİN İZLERİ

FROM OUR HISTORICAL AND ARCHAEOLOGICAL HERITAGE: TRACES OF THE PROPHET NOAH IN NAKHCHIVAN

Abbas SEYİDOV
Prof. Dr., AMBA Arkeoloji ve Antropoloji Enstitüsü. Bakü Mühendislik Üniversitesi
ORCID ID: 0000-0003-3696-5974

Leyla RUSTAMOVA
Dr., AMBA Arkeoloji ve Antropoloji Enstitüsü. Azerbaycan Devlet Pedaqoji Üniversitesi
ORCID ID: 0009-0005-9227-3018

ÖZET

Makalede tarihi ve arkeolojik belgelere, antik ve orta çağ yazarlarının eserlerine atıfta bulunularak, Azerbaycan'ın kadim diyarı Nahçıvan'da Nuh Peygamber'in izleri araştırılmaktadır. Bu kutsal toprakta dünyanın 11 ikliminden 9'una rastlanmaktadır. Kur'an-ı Kerim'de 22 kez adı geçen Hz. Nuh'un mezarı Nahçıvan şehrindedir. Kitapta 28 ayetten oluşan "Nuh" suresi bulunmaktadır (Kur'an-ı Kerim, 71. sure). 110 ayetten oluşan, kitabın 18. suresi Kehf suresinde bahsedilen Eshab-ı Kehf mağarası da Nahçıvan'dadır. Hz. Nuh'un mezarının Nahçıvan'da bulunmasıyla ilgili Yahudi alim Flavius, Yunanlı alim Batlamyus, Arap alim ve coğrafyacı Eşrefî, Fransız seyyahlar J. B. Tavernier, D. Manpier, Rus araştırmacılar I.Chopin, V. Grigoryev, K. Nikitin, V. Sısoyev bilgiler sağlamışlardır. Nikitin "Nahçıvan bölgesi ve Nahçıvan şehri" adlı makalesinde (1882) şöyle yazar: "Tufandan sonra... Nuh Peygamber günümüz Nahçıvan şehrinin bulunduğu bölgeye yerleşti. Ailesiyle beraber burada kalmaya karar verdi ve geleceğin şehrinin temellerini attı... Nahçıvan şehrinin güneyinde Nuh Peygamber'in, kuzey batısında kız kardeşinin, Güney Azerbaycan'ın Merend şehrinde ise eşi Nuhhamza ve annesinin mezarları bulunmaktadır. Nahçıvan'da Hz. Nuh ile ilgili yer isimleri çoktur: Nuhdaban, Nehrem, Nehecir, Nuhgedik, Nebî Yurdu, Peygamber Ayağı ve b. 2002 yılında Nehecir köyünde 4-5 bin yıllık tarihi olan kurganlarda yaptığımız arkeolojik kazılarda yanımıza yaklaşıp şöyle dediler: "Bu mezarlar Nuh Peygamber'in kavmine ait. Bunlara dokunmayın". Ünlü ressam Behruz Kengerli (1892-1922) Hz. Nuh'un kabrini 1916-1921 yıllarında altı kez tuvale aktarmıştır.
Anahtar kelimeler: Nahçıvan, Nuh Peygamber, Kur'an-ı Kerim, Eshab-ı Kehf, arkeolojik araştırmalar.

ABSTRACT

The article examines the traces of the Prophet Noah in Nakhchivan, an ancient land of Azerbaijan, referring to historical and archaeological facts, and the works of ancient and medieval authors. This sacred land is home to 9 of the world's 11 climate zones. The tomb of Prophet Noah, whose name is mentioned 22 times in the Holy Quran, is in the city of Nakhchivan. The book contains the Surah "Noah" (The Holy Quran, Surah 71), which consists of 28 verses. "The Ashabi-Kahf cave, mentioned in Surah al-Kahf ("The Cave")—the 18th chapter of the Holy Quran consisting of 110 verses is in Nakhchivan. "The presence of Prophet Noah's tomb in Nakhchivan was documented by the Jewish scholar J. Flavius, the Greek scholar C. Ptolemy, the Arab geographer Al-Ashrafi, French travelers Tavernier and Manpere, and Russian researchers such as Chopin, Grigoryev, Nikitin, and Sysoyev. In his article titled "Nakhchivan District and the City of Nakhchivan" (1882), K. A. Nikitin writes: "After the Flood... Noah settled in the territory where the city of Nakhchivan is currently located". He settled here with his family. And laid the foundation of the future city. Prophet Noah's tomb is located in the south of Nakhchivan, while his sister's tomb is to the northwest. Additionally, the graves of his wife, Nuhamza, and his mother are situated in the city of Marand in Southern Azerbaijan". There are numerous toponyms associated with Noah in Nakhchivan, including Nuhdaban, Nehram, Nahajir, Nuhgedik, Nabi yurdu (Prophet's homeland), Peyghambar Ayaghi (Prophet's foot) etc. During our 2002 archaeological excavations of the 4,000 to 5,000-year-old kurgans in Nahajir village, we were told by the locals that these graves belonged to the people of Prophet Noah. Don't touch them. The prominent artist Bahruz Kangarli (1892–1922) depicted the tomb of Noah on canvas six times, painting from nature between 1916 and 1921.
Keywords: Nakhchivan, Prophet Noah, Holy Quran, Ashabi-Kahf, archaeological research.

GİRİŞ

Nahçıvan Azerbaycan'ın eski toprağıdır. Bu kutsal toprakta dünyada bulunan 11 iklimden 9'una rastlanmaktadır. Kutsal kitabımız Kur'an-ı Kerim'de adı 22 kez geçen Nuh Peygamber'in kabri de Nahçıvan şehrindedir. Kitapta 28 ayetten oluşan Nuh suresi bulunmaktadır (Kur'an-Kerim, 71. Sure). 110 ayetten oluşan Kehf ("Mağara") suresinde (Kur'an-ı Kerim, 18. Sure) bahsedilen Ashab-ı Kehf mağarası da Nahçıvan'dadır [Kuran-ı Kerim, 1999, s.292-303, 569-570].

Nuh Peygamber'in kabrinin Nahçıvan'da bulunmasıyla ilgili Yahudi alimi F.Josephus, Yunan alimi C.Ptolemy, Arap alimi ve coğrafyacısı el-Eşrefî, Fransız seyyahları J.B.Tavernier, D.Manpier, Rus araştırmacılar I.Chopin, V.Grigoryev, K.Nikitin, V.Sısoyev bilgiler sağlamışlardır.

ARAŞTIRMALAR VE BULGULAR

Nahçıvan'da Nuh Peygamber ile ilgili yer isimleri çoktur. Bunlar arasında Nuhdaban, Nehrem, Nehecir, Nuhgedik, Nebî Yurdu, Peygamber Ayağı ve başkaları vardır.

19. yüzyılın sonlarında Nahçıvan okullarında müfettiş hoca olarak çalışmış Rus araştırmacı K. A. Nikitin 1882'de Tiflis'te basılan "Nahçıvan bölgesi ve Nahçıvan şehri" adlı makalesinde şöyle yazar: "Tufandan sonra... Nuh günümüz Nahçıvan şehrinin bulunduğu yere yerleşti. O, ailesi ile burada yaşadı ve gelecek şehrin temelini attı... Nahçıvan şehrinin güneyinde Nuh Peygamber'in, kuzeybatısında kız kardeşinin, Güney Azerbaycan'ın Merend şehrinde ise karısı Nuhamza ile annesinin kabirleri bulunmaktadır" [Nikitin, 1882, s.109-142], (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3).



Şekil 1. Nahçıvan şehri. Nuh Peygamberin mezarı (foto. XIX yüzyılın sonu-XX yüzyılın evveli).



Şekil 2. Nahçıvan şehri. Nuh Peygamberin mezarı (foto. XIX yüzyılın sonu-XX yüzyılın evveli).



Şekil 3. Nahçıvan şehri. Nuh Peygamberin mezarı (foto. XIX yüzyılın sonu-XX yüzyılın evveli).

2002 yılında Nehecir (halk arasında buraya Nuhecir de denir) köyü bölgesinde 4-5 bin yıllık geçmişi olan kurganlarda arkeolojik kazı çalışmaları yürüttüğümüz sırada, yaşları 80'i aşmış birkaç köy sakini yanımıza gelerek bu mezarların Nuh Peygamber'in adamlarına ait olduğunu söylediler. "Bunlara dokunmayın. Dokunursanız, başınız belada olur" dediler. Biz arkeologlar olarak kazı çalışmalarına devam ettik. Çeşitli boyutlardaki kurganlar arasından çapı yaklaşık 11 metre olan birini seçtik ve arkeolojik kazı çalışmalarına başladık. Bir ay süren yoğun araştırmaların ardından 3,5 metre derinlikte mezar odasına ulaştık. Odada insan iskeleti yoktu. Belki biraz daha derine inseydik rastlayabilirdik. Ancak buradan 22 adet boyalı ve sade desenli kap ortaya çıkardık. Kavurucu yaz günlerinden biri olmasına rağmen, aniden üzerimizde beliren küçük siyah bir buluttan bir saatten fazla süren sağanak yağış, dolu ve aralıksız şimşek çakması işimizi çok zorlaştırdı. Kurgan yarıya kadar yağmur suyuyla doldu. Yağmur diner dinmez, o köy sakinleri yanımıza gelerek 'Biz sizi uyarmıştık' dediler. Yine söylüyoruz: Bunlar Nuh Peygamber'in adamlarının mezarlarıdır. Kutsal mezarlardır (Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6). Siz oraya dokundunuz; bu merhumun ruhu kalkıp Nehecir Kalesi'nin üzerine oturdu ve sizi böyle korkuttu. O günden sonra biz orada arkeolojik kazı çalışmalarını durdurduk [Seyidov, Bakhshaliyev 2002, s.51-87].



Şekil 4. Nehecir köyü. Nuh Peygamber'in adamlarının mezarı



Şekil 5. Nehecir köyü. Nuh Peygamber'in adamlarının mezarı.



Şekil 6. Nehecir köyü. Nuh Peygamber'in adamlarının mezarı.

Ashab-ı Kehf mağarası hakkında pek çok eser yazılmış, filmler çekilmiştir. Genel olarak dünyada bu isimle tanınan ve 'Yedi Uyuyanlar' olayının gerçekleştiği iddia edilen 30'dan fazla mekan bulunmaktadır: Türkiye'de Efes (İzmir), Tarsus (Mersin), Afşin (Kahramanmaraş), Lice (Diyarbakır); Ürdün'de (Amman), Suriye'de Şam, ayrıca Tunus, Çin ve Afganistan'da da bu tür inanç merkezleri mevcuttur. Bunlardan hangisinin bizzat Kur'an-ı Kerim'de işaret edilen yer olduğu bugün de bir soru işaretidir (Şekil 7). Ancak bir noktaya dikkat edelim. Kutsal kitabın 18. suresinin 17. ayetinde şöyle yazmaktadır: '[Ey Muhammed! Eğer o zaman onlara baksaydın,] güneşin doğduğu sırada mağaralarının sağ tarafına meylettiğini, battığı sırada ise onları terk edip sol tarafa yöneldiğini [mağaranın içine düşüp onları yakmadığını], onların da mağaranın ortasında geniş bir yerde olduklarını [rüzgarın onları okşadığını ve rahat nefes aldıklarını] görürdün...” [Kuran-ı Kerim, 1999, s.294]. Özellikle Nahçıvan'daki 'Ashab-ı Kehf mağarasının girişinde insanın sağının gün doğuşuna, solunun ise gün batışına düşmesini (mağara kuzey-güney doğrultusundadır) ve diğer bulguların uyumluluğunu dikkate alan araştırmacı Hacı Kadir Kadirzade, Kutsal Kitap'ta adı geçen ziyaretgahın Nahçıvan yakınlarında bulunan 'Ashab-ı Kehf' mağarası olduğu kanaatine varmaktadır. [Gadirzade, 2002, s.5-11].



Şekil 7. Nahçıvan. Ashab-ı Kehf mağarası

2000'li yıllarda Nahçıvan şehrindeki Hz. Nuh'un mezarının bulunduğu alanda arkeolojik kazılar yapılmış (Şekil 8) ve oraya bir türbe inşa edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. Nahçıvan şehrindeki Nuh Peygamber'in kabri.

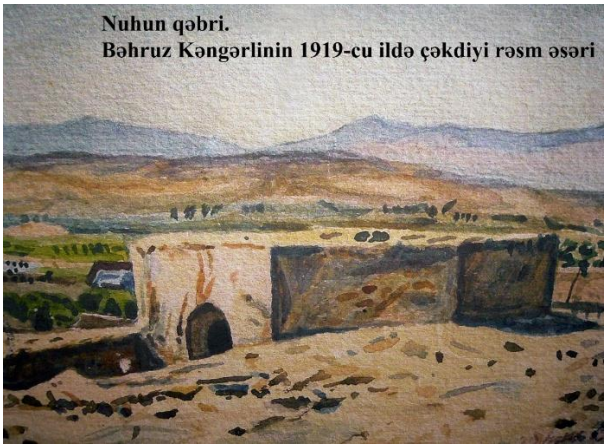


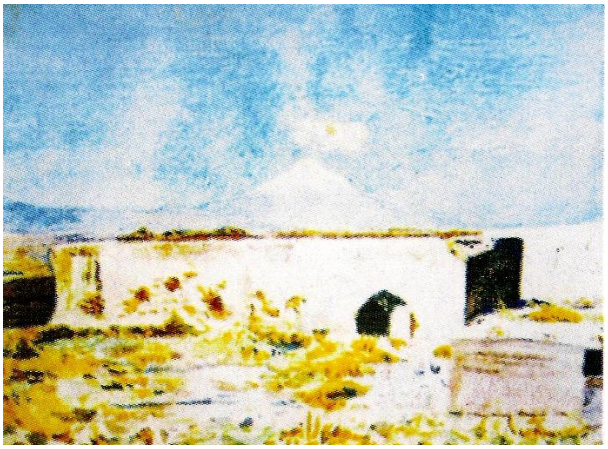
Şekil 9. Nahçıvan şehrinde, Nuh Peygamber'in mezarının bulunduğu yere inşa edilmiş bir türbe

Ünlü ressam Behruz Kengerli (1892-1922), Nuh'un mezarını 1916-1921 yılları arasında altı kez yerinde (doğadan) tuvale aktarmıştır. Bu sanat eserleri bugün Bakü'de bulunan R. Mustafayev Azerbaycan Devlet Sanat Müzesi'nde ve Nahçıvan'daki Behruz Kengerli Müzesi'nde sergilenmektedir. Nahçıvan şehrinde Nuh Peygamber'in mezarının yerinin belirlenmesinde bu sanat eserleri büyük önem arz etmiştir. Aynı zamanda 20. yüzyılın 30'lu yıllarında yaşamış ve mezarı görmüş insanların da bu alanda emeği az olmamıştır. Onlardan biri, Nuh'un mezarının arka tarafında Ağrı Dağı'nın çok net göründüğünü belirtiyordu. Nitekim Behruz Kengerli'nin yaptığı resimlerden birinde de bu gerçek ortaya çıkmaktadır (Şekil 10).











Şekil. 10. Nuh'un Mezarı. Ressam B. Kangarli'nin (1916-1921) 6 yağlı boya tablosu.

SONUÇ

Makalede sunulan materyallerden şu sonuca varmak mümkündür ki; Azerbaycan'ın ayrılmaz bir parçası, tarihi, arkeolojik ve mimari anıtlarıyla zengin bir diyarı olan Nahçıvan bölgesi, dünya medeniyetinin doğduğu ocaklardan biri olmuştur. Burada insanlığa kurtuluş yolunu gösteren Nuh Peygamber'in, aile fertlerinin ve yakın akrabalarının mezarlarının bulunması, Nuh Peygamber ile ilgili yer adlarına ve tarihi kaynaklarda bu konuda pek çok yazıya rastlanması, Kutsal kitabımız Kur'an-ı Kerim'in 18. el-Kehf ('Mağara') suresinde bahsedilen Ashab-ı Kehf mağarasının burada yer alması, Nahçıvan topraklarının insanlık tarihini bünyesinde yaşatan kadim bir mekan olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

Qurani-Kərim (1999). Bakı: Olimp Konserni, 652 səhifə (ərəb dilindən tərcümə Z.M. Bünyadov və V.M. Məmmədəliyevindir) // *The Holy Quran (1999), Baku: Olimp Concern, 652 pages (translation from Arabic by Z. M. Bunyadov and V. M. Mammadaliyev).*

Никитин К.А. (1882). Город Нахичевань и Нахичеванский уезд . СМОМПК), Тифлис: №2, с.109-142. // *Nikitin K.A. (1882). City of Nakhichevan and Nakhichevan district. CMOMПК), Tiflis: #2, p. 109-142.*

Seyidov A.Q., Baxşəliyev V.B. (2002). Nəhəcirdə arxeoloji araşdırmalar. Bakı: "İqtisad Universiteti", 201 səhifə. // *Seyidov A.G., Bakhshaliyev V.B. (2002). Archaeological research in Nahajir. Baku: "Iqtisad Universiteti", 201 pages.*

Qədirzadə H.Q. (2002). Əshabi-Kəhf: müqəddəslik, tarixilik və inancların genezisi. Bakı: Elm, 112 səhifə. // *Gadirzade H.G. (2002). Ashabi-Kahf: sacredness, historicity and the genesis of beliefs. Baku: Elm, 112 pages.*

CORPUS-BASED AI TOOLS FOR ACADEMIC ENGLISH DEVELOPMENT

Sharbatova Turkane MUQASIF
Azerbaijan State Oil and Industry University, Azerbaijan, Baku

ABSTRACT
The growing demand for advanced academic English proficiency has led to the increasing integration of corpus-based artificial intelligence (AI) tools in language education. These tools combine large-scale linguistic corpora with AI-driven analysis to support learners in developing academic writing and speaking skills. This conference paper explores the pedagogical value of corpus-based AI tools and examines their role in enhancing academic English development.
Corpus-based AI tools provide learners with access to authentic language data drawn from academic texts across disciplines. By analyzing patterns of language use, such tools offer data-driven feedback on lexical choice, collocations, grammatical structures, and discourse conventions. This allows learners to move beyond prescriptive rules and develop a deeper understanding of how academic English functions in real contexts. Moreover, AI-powered corpus tools can provide genre-specific guidance, helping learners distinguish between research articles, abstracts, literature reviews, and academic presentations.
Another significant advantage of corpus-based AI tools is their ability to support autonomous and critical learning. Learners are encouraged to explore language patterns independently, compare alternative expressions, and make informed linguistic decisions. At higher proficiency levels (B2–C1), such tools are particularly effective in improving coherence, cohesion, and register awareness in academic writing.
Despite their pedagogical benefits, the implementation of corpus-based AI tools also presents challenges, including the need for adequate training in corpus literacy and the risk of cognitive overload for learners. Therefore, the paper emphasizes the importance of integrating these tools within a structured pedagogical framework guided by instructors.In addition to enhancing linguistic accuracy, corpus-based AI tools play a crucial role in developing learners' academic critical thinking and discourse awareness. By engaging with authentic corpora, learners gain insights into how arguments are structured, how claims are supported by evidence, and how hedging and stance-taking are expressed in academic English. This exposure enables learners to internalize discipline-specific rhetorical patterns and apply them effectively in their own academic writing and presentations.
Moreover, corpus-based AI tools encourage data-driven learning by allowing learners to independently explore language patterns and compare alternative formulations. This process fosters learner autonomy and promotes a deeper understanding of language use beyond memorization of fixed rules. At advanced proficiency levels, such tools are particularly beneficial in refining stylistic appropriateness, register control, and lexical sophistication. However, to maximize their pedagogical value, corpus-based AI tools should be integrated into guided instructional frameworks that support corpus literacy and prevent cognitive overload. When combined with teacher mediation, these tools can significantly contribute to the development of high-level academic English competence.
In conclusion, corpus-based AI tools represent a powerful resource for academic English development. When used appropriately, they foster data-driven learning, enhance linguistic accuracy, and contribute to the development of advanced academic communication skills.
Keywords: corpus-based learning, artificial intelligence, academic English, data-driven learning, language education

Introduction
The integration of artificial intelligence (AI) into corpus linguistics has significantly transformed the teaching and learning of academic English. Corpus-based AI tools enable learners to interact with authentic linguistic data, fostering data-driven learning (DDL), improving writing proficiency, and enhancing academic discourse competence. This paper critically examines the theoretical foundations, pedagogical applications, benefits, and limitations of corpus-based AI tools in academic English development.

Drawing on recent research in applied linguistics and educational technology, the study argues that while these tools offer substantial advantages in promoting learner autonomy and linguistic awareness, their effectiveness depends on pedagogical integration, user training, and critical engagement with AI-generated outputs. The paper concludes by highlighting future directions, including ethical considerations and the evolving role of AI in language education.

The increasing globalization of higher education has intensified the demand for proficiency in academic English, particularly among English as a Foreign Language (EFL) and English as a Second Language (ESL) learners. Academic English is not merely a set of grammatical rules but a complex system of discourse conventions, discipline-specific vocabulary, and rhetorical strategies. Traditional methods of teaching academic writing—often reliant on prescriptive grammar instruction and model texts—have been criticized for failing to reflect authentic language use and for limiting learner autonomy.

Corpus linguistics offers an alternative approach by emphasizing empirical analysis of real-world language data. A corpus, defined as a large, structured collection of texts, allows learners to observe patterns of usage across contexts. With the advent of AI technologies, corpus-based approaches have evolved into intelligent systems capable of automating analysis, generating insights, and providing adaptive feedback. These corpus-based AI tools represent a paradigm shift in language education, moving from teacher-centered instruction to learner-centered exploration.

Recent developments in AI, particularly natural language processing (NLP), have further enhanced the capabilities of corpus tools. These systems can now identify collocations, analyze discourse structures, and even predict appropriate language use based on context. As a result, learners are no longer passive recipients of knowledge but active investigators of language patterns.

This paper explores how corpus-based AI tools contribute to academic English development. It critically evaluates their theoretical underpinnings, practical applications, and limitations, arguing that while they hold transformative potential, their success depends on thoughtful integration into pedagogical frameworks.

Theoretical Foundations of Corpus-Based AI Learning

Corpus-based learning is grounded in the principle of authenticity, which posits that language acquisition is most effective when learners engage with real examples of language use. Sinclair (1991) emphasized that meaning emerges from patterns of usage rather than isolated rules, a concept central to corpus linguistics. This perspective aligns with usage-based theories of language acquisition, which highlight the importance of frequency, exposure, and context.

Data-driven learning (DDL), introduced by Johns (1991), represents a pedagogical application of corpus linguistics. In DDL, learners analyze concordance lines and frequency data to identify patterns independently. This inductive approach contrasts with traditional deductive methods, fostering critical thinking and analytical skills.

AI enhances DDL by automating complex processes. Machine learning algorithms can process vast amounts of linguistic data, identify patterns, and generate predictions. For example, AI systems can detect subtle differences in academic register, identify discipline-specific collocations, and provide context-sensitive feedback. This reduces the cognitive load on learners and allows them to focus on interpretation rather than data extraction.

Furthermore, AI introduces adaptivity into corpus-based learning. By analyzing user behavior, AI systems can tailor learning experiences to individual needs. This aligns with Vygotsky's concept of the Zone of Proximal Development (ZPD), in which learners receive support calibrated to their current level of competence.

However, the integration of AI also raises theoretical questions. While corpus linguistics emphasizes empirical observation, AI systems often rely on probabilistic models that may obscure underlying linguistic principles. This tension highlights the need for critical engagement with AI-generated outputs.

Corpus-Based AI Tools in Practice

Corpus-based AI tools vary in complexity and functionality, ranging from simple concordancers to advanced NLP-driven platforms. Tools such as AntConc and WordSmith enable users to analyze word frequency, collocations, and concordance lines. More advanced platforms incorporate AI to provide automated annotation, semantic analysis, and predictive modeling.

One significant development is the emergence of learner corpora, which consist of texts produced by language learners. AI can analyze these corpora to identify common errors and developmental patterns. This information can inform both teaching and assessment, providing insights into learner needs.
Another important category is academic corpora, such as the British Academic Written English (BAWE) corpus and the Michigan Corpus of Academic Spoken English (MICASE). These resources provide authentic examples of academic discourse across disciplines. AI-enhanced interfaces allow users to search these corpora efficiently, identify patterns, and compare usage across contexts.
AI-powered writing assistants also draw on corpus data to provide feedback. Unlike traditional grammar checkers, these systems consider context, register, and discourse structure. For example, they can suggest more appropriate academic vocabulary, identify inconsistencies in tone, and recommend improvements in cohesion.
Despite these advancements, the effectiveness of corpus-based AI tools depends on user engagement. Without proper training, learners may struggle to interpret data or may rely excessively on automated suggestions. This underscores the importance of integrating these tools into structured pedagogical frameworks.

Pedagogical Applications
Corpus-based AI tools have wide-ranging applications in academic English instruction. One of the most significant is vocabulary development. Academic vocabulary is characterized by high-frequency, cross-disciplinary terms as well as specialized terminology. Corpus tools allow learners to identify these patterns, understand collocations, and use vocabulary more accurately.
In writing instruction, corpus tools enable learners to analyze authentic texts and understand rhetorical structures. For example, learners can examine how introductions are structured, how arguments are developed, and how conclusions are formulated. This exposure helps learners internalize academic conventions.
Another important application is feedback. AI-driven tools can provide immediate, context-sensitive feedback on writing. This is particularly valuable in large classes where individualized feedback from instructors may be limited. However, it is essential to ensure that such feedback is accurate and pedagogically appropriate.
Corpus-based approaches also promote learner autonomy. By engaging directly with language data, learners develop the skills needed to analyze and evaluate language independently. This is particularly important in academic contexts, where critical thinking and self-directed learning are essential.

Benefits and Limitations
The benefits of corpus-based AI tools are substantial. They provide access to authentic language data, support inductive learning, and enhance linguistic awareness. They also enable scalable analysis, making them valuable for both teaching and research.
However, several limitations must be considered. One major challenge is accessibility. Many corpus tools require technical expertise, which can be a barrier for both teachers and students. Although AI has simplified some processes, there is still a need for training and support.
Another issue is overreliance on AI. While AI can provide useful insights, it is not infallible. Errors in data or algorithms can lead to incorrect conclusions. Therefore, learners must be encouraged to critically evaluate AI-generated outputs.
Ethical considerations also arise. The use of AI in education raises questions about data privacy, authorship, and academic integrity. For example, excessive reliance on AI writing tools may undermine the development of independent writing skills.
Finally, there is the challenge of curriculum integration. Incorporating corpus-based methods into existing curricula requires careful planning and alignment with learning objectives. Without institutional support, these tools may remain underutilized.

Future Directions
The future of corpus-based AI tools in academic English development is promising. Advances in NLP and machine learning are likely to enhance the accuracy and functionality of these tools.

For example, future systems may be able to analyze not only linguistic patterns but also argumentation and critical thinking.
Another important direction is the development of multimodal corpora, which include not only text but also audio, video, and visual data. This would provide a more comprehensive understanding of academic communication.
Additionally, there is a growing emphasis on ethical AI. Ensuring transparency, fairness, and accountability in AI systems will be crucial for their acceptance in educational contexts.
Finally, integrating corpus-based AI tools into digital learning environments, such as learning management systems (LMS), will facilitate their widespread adoption.

Conclusion

Corpus-based AI tools represent a transformative development in academic English education. By combining the empirical strengths of corpus linguistics with the computational power of AI, these tools enable learners to engage with authentic language data in meaningful ways. They support vocabulary development, writing proficiency, and critical thinking, while also promoting learner autonomy.
However, their effectiveness depends on careful implementation. Educators must provide training, integrate these tools into curricula, and encourage critical engagement with AI outputs. Furthermore, ethical considerations must be addressed to ensure responsible use.
In conclusion, corpus-based AI tools are not merely supplementary resources but essential components of modern language education. As technology continues to evolve, it will play an increasingly important role in shaping how academic English is taught and learned.

REFERENCES

Biber, D., Conrad, S., & Reppen, R. (1998). Corpus linguistics: Investigating language structure and use. Cambridge University Press.
Boulton, A., & Cobb, T. (2017). Corpus use in language learning: A meta-analysis. Language Learning, 67(2), 348–393.
Granger, S. (2003). The International Corpus of Learner English: A new resource for foreign language learning and teaching. TESOL Quarterly, 37(3), 538–546.
Hunston, S. (2002). Corpora in applied linguistics. Cambridge University Press.
Johns, T. (1991). Should you be persuaded: Two samples of data-driven learning materials. ELR Journal, 4, 1–16.
McEnery, T., & Hardie, A. (2012). Corpus linguistics: Method, theory and practice. Cambridge University Press.
Pérez-Paredes, P., & Boulton, A. (2025). Corpus linguistics and AI in language learning. Language Teaching, 58(1), 1–20.
Sinclair, J. (1991). Corpus, concordance, collocation. Oxford University Press.

TASARIMDAN YAZILIMA: TÜBİTAK 3005 PROJESİ KAPSAMINDA FEN BİLGİSİ ÖĞRETMEN ADAYLARI İLE VUFORIA TABANLI ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK MATERYALLERİ GELİŞTİRME SÜRECİ[1]

FROM DESIGN TO SOFTWARE: THE PROCESS OF DEVELOPING VUFORIA-BASED AUGMENTED REALITY MATERIALS WITH SCIENCE TEACHER CANDIDATES WITHIN THE SCOPE OF THE TÜBİTAK 3005 PROJECT[2]

Ali Günay BALIM
Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilgisi Eğitimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0003-2010-1696

Yasin ÖZARSLAN
Prof. Dr., Yaşar Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Bilim Kültürü Bölümü
ORCID ID: 0000-0003-0831-6985

Ece ALTAY
Doktora Öğrencisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilgisi Eğitimi Doktora Programı
ORCID ID: 0000-0003-0234-0044

Betül ÖZTAŞ
Doktora Öğrencisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilgisi Eğitimi Doktora Programı
ORCID ID: 0000-0003-4396-8479

ÖZET

Çalışmanın amacı, TÜBİTAK 3005- Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenen, "323K097" numaralı proje çerçevesinde, fen bilgisi öğretmen adaylarının Artırılmış Gerçeklik (AG) materyalleri geliştirme süreçlerini ve bu süreçte ortaya çıkan ürünleri incelemektir. Günümüzde eğitim teknolojileri içerisinde önemli bir yere sahip olan artırılmış gerçeklik uygulamaları, soyut veya kavraması zor fen kavramlarının somutlaştırılmasında yer almaktadır. Ancak, bu teknolojinin sınıf içine entegrasyonu için fen bilgisi öğretmen adaylarının sadece kullanıcı değil, aynı zamanda içerik geliştirici yetkinliğine sahip olmaları gerekmektedir. Bu çalışma, fen bilgisi öğretmen adayları ile gerçekleştirilen uygulamalı bir tasarım ve yazılım sürecini kapsamaktadır. Süreçte, artırılmış gerçeklik uygulamaları geliştirmek amacıyla Vuforia Engine ve yardımcı yazılımlar (Unity vb.) kullanılmıştır. Vuforia, bilgisayar kullanarak gerçek dünyadaki düzlemsel görüntüleri veya üç boyutlu nesneleri dijital birer hedef görsel (image/object target) olarak tanımlayan ve Unity gibi oyun motorlarıyla entegre çalışarak bir artırılmış gerçeklik uygulaması sunan profesyonel bir yazılım platformudur. Çalışma kapsamında öğretmen adayları; hedef belirleme (image target), 3D modelleme ve interaktif içerik oluşturma basamaklarını takip ederek, fen bilimleri müfredatına uygun artırılmış gerçeklik materyalleri tasarlamışlardır. Sonuç olarak, bu bildiri kapsamında; öğretmen adaylarının Vuforia tabanlı artırılmış gerçeklik materyali geliştirme aşamaları, karşılaşılan teknik zorluklar ve bu zorluklar tartışılarak çözüm önerilerine yer verilecektir. Ayrıca, projede geliştirilen örnek materyaller üzerinden teknolojinin fen eğitimine nasıl entegre edilebileceğine dair somut bir çerçeve sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Artırılmış Gerçeklik, Fen Bilgisi Öğretmen Adayı, Fen Eğitimi, Vuforia.

---

[1] Bu çalışma, TÜBİTAK 3005 - Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenen, 323K097 numaralı "Öğretmen Adaylarının Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle Materyal Tasarımının Eğitim Teknolojisine Yönelik Özyeterlilik Düzeylerine ve Bilgi İşlemsel Düşünme Becerilerine Etkisinin İncelenmesi" isimli proje kapsamında üretilmiştir.

[2] This study was produced within the scope of the project titled "Investigation of the Effect of Augmented Reality Technology-Based Material Design on Pre-service Teachers' Self-Efficacy Levels and Computational Thinking Skills Towards Educational Technology," numbered 323K097, supported by the TÜBİTAK 3005 - Innovative Solutions Research Projects Support Program in Social and Human Sciences.

ABSTRACT
The aim of this paper is to examine the augmented reality (AR) material development processes of pre-service science teachers and the products resulting from this process, within the framework of project number "323K097", supported by the TÜBİTAK 3005 - Innovative Solutions in Social and Human Sciences Research Projects Support Program. Augmented reality applications, which hold an important place in educational technologies today, are used to concretize abstract or difficult-to-understand science concepts. However, for the integration of this technology into the classroom, pre-service science teachers need to have not only user but also content developer competencies. This paper covers an applied design and software development process carried out with pre-service science teachers. In the process, Vuforia Engine and auxiliary software (Unity, etc.) were used to develop augmented reality applications. Vuforia is a professional software platform that uses a computer to define planar images or three-dimensional objects in the real world as digital targets (image/object targets) and integrates with game engines such as Unity to provide an augmented reality application. Within the scope of the study, pre-service science teachers; By following the steps of image targeting, 3D modeling, and interactive content creation, they designed augmented reality materials suitable for the science curriculum. Consequently, this paper will discuss the stages of developing Vuforia-based augmented reality materials by pre-service science teachers, the technical challenges encountered, and proposed solutions to these challenges. In addition, a concrete framework will be presented on how technology can be integrated into science education through the sample materials developed in the project.
Keywords: Augmented Reality, Pre-service Science Teacher, Science Education, Vuforia.

GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın eğitim anlayışı; öğrencilerin salt bilgi alıcısı olmaktan çıkarak aktif katılımcı ve eleştirel düşünür bireyler olarak yetiştirilmesini ön plana çıkarmaktadır. Bu dönüşümün temel araçlarından biri olarak dijital teknolojiler, özellikle de Artırılmış Gerçeklik (AG) uygulamaları, eğitim ortamlarında giderek daha fazla yer almaktadır (Johnson ve ark., 2016). AG, gerçek dünya üzerine bilgisayar tarafından üretilen dijital verilerin eş zamanlı olarak entegre edilmesiyle etkileşimli bir öğrenme deneyimi sunan ileri bir teknolojidir (Azuma, 1997). Eğitimdeki önemi nedeniyle AG, özellikle fen, teknoloji, mühendislik ve matematik (FeTeMM/STEM) alanlarında öğrenme süreçlerini desteklemek amacıyla sıklıkla araştırılmaktadır (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Wang ve ark, 2024). Fen eğitimi bağlamında değerlendirildiğinde AG teknolojisinin, öğrencilerin soyut kavramları (insan anatomisi, atomik yapılar, hücre organelleri, uzay ve evren gibi) üç boyutlu ve etkileşimli biçimde deneyimlemelerine olanak sağladığı görülmektedir (Wu ve ark., 2013). Bu sayede geleneksel öğretim yöntemlerinde gözlemlenen kavram yanılgılarının önüne geçilebilmekte ve öğrenci motivasyonu ile öğrenme başarısı artırılabilmektedir (Cai ve ark., 2014; Chiang ve ark., 2014). Ancak söz konusu teknolojinin sınıfa taşınabilmesi yalnızca teknik bir mesele değildir. Teknolojinin sınıf ortamına etkin biçimde entegre edilebilmesi için öğretmenlerin Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi'ne (TPAB) sahip olmaları gerekmektedir (Mishra & Koehler, 2006). TPAB çerçevesi; pedagojik bilgi, alan bilgisi ve teknoloji bilgisinin kesişiminde oluşan bütünleşik bir yetkinlik alanını tanımlamaktadır. Bu çerçeveden hareketle öğretmen adaylarının yalnızca AG uygulamalarını kullanabilmeleri değil, bizzat tasarlayıp geliştirebilmeleri büyük önem taşımaktadır (Küng & Brovelli, 2025).

Öğretmenlerin teknoloji entegrasyonu sürecindeki başarısı, sadece sahip oldukları kuramsal bilgiyle değil, aynı zamanda bu bilgiyi sınıf ortamında etkili bir şekilde kullanabileceklerine özyeterlilik düzeyleriyle, yani eğitim teknolojilerine yönelik özyeterlilik düzeyleriyle doğrudan ilişkilidir. Eğitim teknolojilerine yönelik özyeterlilik; bir öğretmenin öğretimsel hedeflere ulaşmak amacıyla teknolojik araçları seçme, uygulama ve yönetme becerisine duyduğu güveni temsil etmektedir (Ertmer ve ark., 2012). Alan yazında, yüksek özyeterlilik düzeyine sahip öğretmenlerin veya öğretmen adaylarının, yenilikçi teknolojileri derslerine dahil etme konusunda daha istekli oldukları ve karşılaştıkları teknik engeller karşısında daha dirençli durdukları vurgulanmaktadır (Abbitt, 2011; Bandura, 1997; Okumuş, & Savaş, 2024). Bu bağlamda, öğretmen adaylarının AG gibi ileri düzey teknolojileri sadece bir kullanıcı olarak değil, bir tasarımcı olarak deneyimlemelerinin, onların teknoloji kullanımına yönelik duyuşsal hazır bulunuşluklarını ve özgüvenlerini pekiştireceği öngörülmektedir.

Bunlara ek olarak artırılmış gerçeklik uygulamaları kullanarak tasarlanan materyal geliştirme süreci, öğretmen adaylarının Bilgi İşlemsel Düşünme (BİD) becerilerini de doğrudan harekete geçirmektedir. Wing (2006), bilgi işlemsel düşünme becerilerini, bireyin bilgisayar temelinde algoritmik bir düşünme sürecine girerek karşılaştığı problem durumlarını çözmeyi içeren bir düşünme biçimi olarak tanımlamaktadır. BİD kendi içerisinde; Ayrıştırma (parçalara bölme), örüntü tanıma, soyutlama (gereksiz detayı atma) ve algoritmik düşünme (adım adım çözüm planlama) olarak dört ana bileşene ayrılmaktadır. Bu bileşenlere detaylı bakıldığında Ayrıştırma, büyük ve karmaşık bir problemi, daha küçük, yönetilebilir ve çözülebilir parçalara ayırma işlemidir. Örüntü Tanıma, problemler arasında benzerlikler, ortak özellikler veya düzenler arama, tespit edilen bu benzerlikleri çözüm sürecinde kullanma becerisidir. Soyutlama, problemin çözümüne odaklanmak için gereksiz ayrıntıları eleyerek sadece temel ve gerekli bilgilere odaklanma (modelleme) sürecidir. Algoritmik Düşünme, problemin çözümü için adım adım bir yol haritası oluşturma ve bunu takip etme yeteneğidir. Bu bileşenler göz önüne alındığında BİD, AG materyal tasarımı gibi karmaşık bir süreçte kendiliğinden işlevsel hale gelmektedir (Brennan & Resnick, 2012).

Alan yazındaki bu kuramsal temeller, AG materyal tasarımı sürecinin hem bilişsel (BİD) hem de duyuşsal ve yetkinlik bazlı (TPAB ve özyeterlilik) süreçleri eş zamanlı olarak beslediğini göstermektedir. Ancak öğretmen adaylarının bizzat tasarımcı rolünü üstlendiği bu tür karmaşık süreçlerin, onların hem problem çözme stratejileri hem de teknoloji kullanımına yönelik profesyonel özgüvenleri üzerindeki etkisi, fen eğitimi alanında halen güncelliğini koruyan bir araştırma odağıdır. Bu gereksinimden yola çıkarak kurgulanan mevcut araştırma, adayların bu yeni nesil teknolojileri geliştirme deneyimlerini derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir. Bu bağlamda eldeki çalışma; TÜBİTAK 3005- Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenen (Proje No: 323K097) "Öğretmen Adaylarının Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle Materyal Tasarımının Eğitim Teknolojisine Yönelik Özyeterlilik Düzeylerine ve Bilgi İşlemsel Düşünme Becerilerine Etkisinin İncelenmesi" başlıklı projenin bir çıktısını oluşturmaktadır.

Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı; fen bilgisi öğretmen adaylarının Vuforia Engine ve Unity oyun motoru aracılığıyla AG materyalleri geliştirme süreçlerini yapılandırmacı bir yaklaşımla analiz etmektir. Bu temel amaç çerçevesinde; materyal geliştirme aşamalarının adım adım betimlenmesi, adayların bu süreçte karşılaştıkları teknik ve pedagojik güçlüklerin saptanması ve geliştirilen bu sürecin tartışılması hedeflenmektedir. Sonuç olarak çalışma, fen eğitiminde somut, sürdürülebilir ve öğretmen merkezli bir teknoloji entegrasyon çerçevesi sunmayı amaçlamaktadır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Fen Eğitiminde Artırılmış Gerçeklik

Azuma (1997), AG'yi gerçek ve sanal dünyanın bir arada sunulduğu, gerçek zamanlı olarak etkileşim sağlanan ve üç boyutlu uzamsal bilgiye dayanan bir sistem olarak tanımlamaktadır. Bu tanım; AG'nin yalnızca görsel bir eklenti değil, bilişsel bir araç olduğuna işaret etmektedir. Nitekim AG uygulamalarının eğitimdeki potansiyelini inceleyen meta-analiz çalışmaları, bu teknolojinin geleneksel öğretim yöntemleriyle kıyaslandığında öğrenci başarısını ve uzamsal düşünme becerilerini anlamlı düzeyde artırdığını ortaya koymaktadır (Akçayır & Akçayır, 2017; Merchant ve ark., 2014).

Fen eğitimi özelinde değerlendirildiğinde AG, mikroskobik yapıların (hücre organelleri, atom modelleri) ya da makro ölçekli karmaşık sistemlerin (insan vücudu organları, güneş sistemi) üç boyutlu ve etkileşimli biçimde görselleştirilmesi sağlamaktadır (Wu ve ark., 2013). Chiang ve arkadaşları (2014), AG destekli çevre eğitiminde öğrencilerin doğa rehberleri aracılığıyla gerçek çevreleri keşfetmesinin öğrenme motivasyonunu ve başarısını artırdığını bildirmektedir. Benzer şekilde Cai ve arkadaşları (2014), AG'nin kimya eğitiminde moleküler yapıları görselleştirmede kullanımının, kavramsal anlama düzeyini önemli ölçüde yükselttiğini tespit etmiştir. Bu bulgular, AG'nin fen eğitiminde "yaparak-yaşayarak" öğrenme ortamı oluşturma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

Öte yandan, AG uygulamalarının sınıfta kullanımına ilişkin sistematik derleme çalışmaları (Akçayır & Akçayır, 2017; Cederqvist, 2023; Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018), bu teknolojiye yönelik en yaygın araştırma sorunlarından birinin öğretmen yeterlilikleri olduğunu göstermektedir. Başka bir deyişle, AG'nin sınıfa başarılı biçimde taşınabilmesi öğretmenlerin yalnızca uygulamaları kullanabilmesiyle sınırlı kalmamalıdır; öğretmenlerin içerik geliştirici konumuna geçmeleri pedagojik açıdan zorunlu bir adım olarak değerlendirilmektedir.

2.2. Teknolojik Pedagojik Alan Bilgisi (TPAB) Çerçevesi

Mishra ve Koehler (2006) tarafından geliştirilen TPAB (Teknoloji Pedagoji alan Bilgisi) çerçevesi, etkili bir teknoloji entegrasyonu için gereken bilgi bileşenlerini üç temel alan ve bunların kesişim noktaları üzerinden açıklamaktadır. Buna göre etkili bir öğretmen; konu alan bilgisi, pedagojik bilgi ve teknoloji bilgisini bütünleşik biçimde kullanabilmelidir. Bu üç alanın birlikte ele alındığı bütünleşik yapı olan TPAB, AG teknolojisinin fen eğitimine entegrasyonunda da rehber niteliği taşımaktadır (Niess, 2011).
Fen bilgisi öğretmen adaylarına yönelik TPAB geliştirme süreçlerini inceleyen araştırmalar (Chai ve ark., 2013), öğretmen adaylarının AG gibi ileri teknolojilerle özgün materyal tasarladıklarında hem teknoloji bilgilerinin hem de pedagojik yansıtma kapasitelerinin anlamlı biçimde geliştiğini göstermektedir. Bu bulgular, mevcut çalışmanın teorik temelini oluşturmaktadır.

2.3. Bilgi İşlemsel Düşünme (BİD) ve Materyal Tasarımı

Wing (2006), bilgi işlemsel düşünmeyi "sorunları çözebileceği şekilde ifade etmek için gereken kavramsal araçları kullanmayı içeren düşünme süreçleri" olarak tanımlamaktadır. Brennan ve Resnick (2012) ise BİD'in bileşenlerini üç ana başlık altında ele almaktadır: (1) bilgisayar bilimi kavramları (değişkenler, döngüler, koşullar), (2) bilgisayar bilimi pratikleri (deneme-yanılma, soyutlama, hata ayıklama) ve (3) bilgisayar bilimi perspektifleri (ifade etme, bağlantı kurma, sorgulama).
AG materyal geliştirme süreci, bu bileşenlerin tamamını doğal bir bağlamda işlevsel kılmaktadır. Öğretmen adayları; karmaşık bir eğitsel problemi ayrıştırma, benzer tasarım sorunlarına yönelik örüntüler tanıma, yazılım sürecindeki mantıksal akışı soyutlama ve adım adım çözüm yolları geliştirme yoluyla BİD becerilerini pekiştirmektedir (Ilic ve ark., 2018). Nitekim son yıllarda yapılan çalışmalar, AG destekli materyal tasarımı süreçlerinin öğretmen adaylarının BİD becerilerine ve özyeterlilik algılarına olumlu katkı sağladığını ortaya koymaktadır (Sırakaya & Sırakaya, 2020).

2.4. Teknolojik Araçlar: Unity ve Vuforia Engine

Vuforia Engine, PTC Inc. bünyesinde geliştirilen ve yaygın biçimde kullanılan kurumsal düzeyde bir AG platformudur. Platform; görüntü tanıma (Image Target), silindir tanıma, çoklu hedef ve model tabanlı izleme gibi çeşitli izleme modlarını desteklemekte ve gerçek zamanlı nesne tanıma konusunda yüksek doğruluk oranı sunmaktadır (PTC Inc., 2023). Vuforia'nın Unity oyun motoruyla entegrasyonu, platformlar arası geliştirme (iOS ve Android) imkanı sunarak fen eğitimi materyallerinin geniş bir kullanıcı kitlesine ulaşmasını sağlamaktadır.
Unity, günümüzde mobil oyun geliştirme alanında en yaygın kullanılan motorlardan biri haline gelen çapraz platform bir oyun motorudur (Unity Technologies, 2023). Unity'nin C# tabanlı komut dizisi mimarisi, öğretmen adaylarının etkileşimli içerik oluşturma sürecinde programlama mantığını içselleştirmelerine zemin hazırlamaktadır. Bileşen tabanlı sahne yapısı ve kapsamlı materyal mağazası (Asset Store), özellikle görsel analit ve üç boyutlu model yönetimi açısından öğretmen adaylarına erişilebilir bir geliştirme ortamı sunmaktadır.
Fen eğitimi bağlamında Unity ve Vuforia Engine entegrasyonu, sadece teknik bir geliştirme süreci değil, aynı zamanda soyut fen kavramlarının somutlaştırılması için stratejik bir ortam sunmaktadır. Bu platformların sunduğu Görüntü Hedefi teknolojisi sayesinde, ders kitaplarındaki durağan iki boyutlu görseller (örneğin bir hücre diyagramı), saniyeler içinde etkileşimli üç boyutlu modellere dönüştürülebilmektedir. Bu durum, öğretmen adaylarının görselleştirme becerilerini geliştirirken, öğrencilerin ise karmaşık mikroskobik süreçleri veya makro düzeydeki uzay sistemlerini kendi hızlarında ve farklı açılardan incelemelerine olanak tanımaktadır. Dolayısıyla bu araçların kullanımı, öğretmen adaylarının dijital içerik üreticisi kimliklerini güçlendirirken, fen sınıflarında yapılandırmacı öğrenme kuramının gerektirdiği "keşfederek öğrenme" ortamlarının tasarlanmasına teknik bir temel oluşturmaktadır.

3. YÖNTEM VE MATERYAL GELİŞTİRME SÜRECİ

3.1. Çalışmanın Kapsamı ve Yaklaşımı

Bu çalışma, TÜBİTAK 3005 Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı (Proje No: 323K097) kapsamında fen bilgisi öğretmen adayları ile yürütülen Artırılmış Gerçeklik (AG) materyal tasarım sürecinin teknik ve pedagojik aşamalarını betimlemeyi amaçlamaktadır.

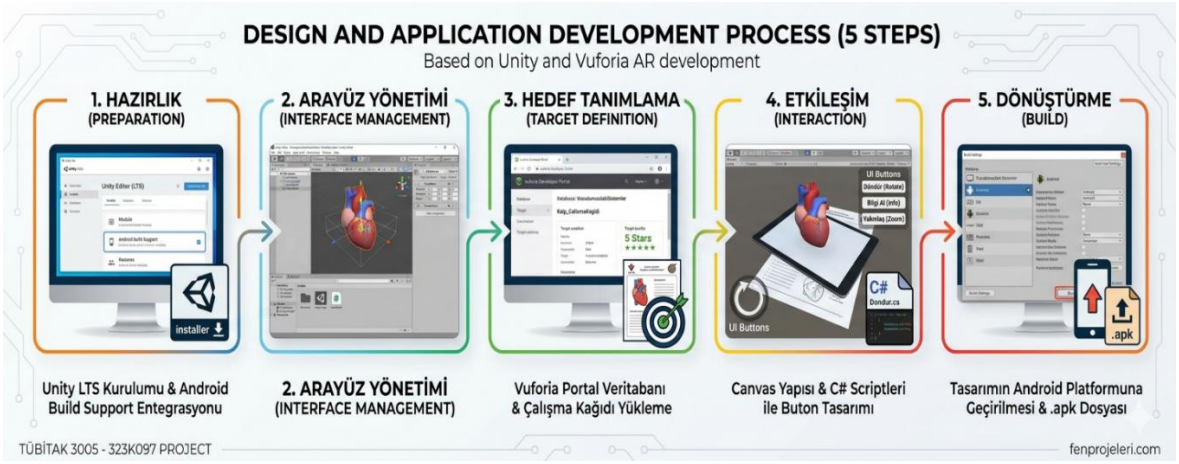
Çalışma kapsamında herhangi bir nicel veya nitel veri analizi sunulmamakta; bunun yerine Unity ve Vuforia Engine araçları kullanılarak gerçekleştirilen tasarım döngüsü, örnek materyaller üzerinden teknik bir model olarak sunulmaktadır.

3.2. Katılımcı Grubu ve Uygulama Ortamı

Süreç, Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Fen Bilgisi Öğretmenliği programında öğrenim gören ve teknoloji entegrasyonuna ilgi duyan öğretmen adayları ile yürütülmüştür. Uygulamalar, fakülte bünyesindeki laboratuvarlarda, her adayın kendi AG materyalini sıfırdan tasarlayabileceği şekilde yapılandırılmış bir atölye ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.3. Materyal Tasarım Döngüsü ve İşlem Basamakları

Materyal geliştirme süreci, alan yazında önerilen tasarım tabanlı öğrenme ilkeleri (Design-Based Learning; Kolodner ve ark., 2003) doğrultusunda planlanmış ve beş temel aşamada hayata geçirilmiştir. AG materyallerinin geliştirilme süreci, fen eğitimindeki soyut kavramların somutlaştırılması hedefine yönelik olarak beş ana aşamada kurgulanmıştır:



Şekil 1. AG Materyal Tasarım Süreci

3.4.1. Hazırlık – Altyapı Kurulumu:

İlk aşamada geliştirme ortamının kurulumu gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Unity'nin uzun dönemli destek (LTS) sürümü tercih edilerek kararlı bir geliştirme ortamı sağlanmış; platform spesifik derleme için Android Build Support modülü eklenmiştir. Ardından Vuforia Developer Portal üzerinden lisans anahtarı oluşturularak projeye tanımlanmış ve Vuforia SDK, Unity"nin paket yöneticisi (Package Manager) aracılığıyla projeye entegre edilmiştir. Bu aşama, Ormancı ve Çakır'ın (2022) önerdiği teknoloji entegrasyon hazırlık süreciyle örtüşmektedir.

3.4.2. Arayüz Yönetimi:

İkinci aşamada öğretmen adayları Unity'nin temel arayüz bileşenlerine yönelik kapsamlı bir oryantasyon sürecinden geçmiştir. Bu süreç; Hiyerarşi (Hierarchy) panelinde sahne nesnelerinin yönetimi, Sahne (Scene) ve Oyun (Game) görünümlerinde 3D modelleme mantığının kavranması, Denetçi (Inspector) panelinde nesne özelliklerinin düzenlenmesi ve Proje (Project) panelinde varlık (asset) yönetimi bileşenlerini kapsamaktadır. Öğretmen adaylarının Unity arayüzüne yabancılıkları göz önünde bulundurularak bu aşamada rehberli keşif yaklaşımı benimsenmiştir (Kolodner ve ark., 2003).

3.4.3. Hedef Tanımlama (Image Target):

Üçüncü aşamada Vuforia Developer Portal kullanılarak proje veri tabanları oluşturulmuş ve ortaokul fen bilimleri öğretim programına uygun olarak hazırlanan çalışma kağıtları, image target olarak sisteme tanımlanmıştır. Vuforia, görüntü hedeflerini yıldız derecelendirmesi (1-5) ile puanlayan bir kalite algoritması kullanmaktadır; bu nedenle öğretmen adayları, yüksek kontrastlı, zengin doku (texture) içeren ve geometrik karmaşıklığa sahip görüntüler oluşturmaya yönlendirilmiştir (PTC Inc., 2023).

Bu süreçte öğretmen adaylarının görsel tasarım becerilerini teknik gerekliliklerle ilişkilendirmeleri sağlanmıştır.
Burada çalışmanın süreç boyunca müfredat boyutuna ilişkin temel bir çerçeveyi açıklamak gerekmektedir. Fen bilgisi öğretmen adayları, lisans eğitimlerini Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından belirlenen öğretmen yetiştirme programı çerçevesinde sürdürmektedir. Ancak mezuniyetin ardından Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) bünyesindeki okullarda görev yapacak olan bu adayların, meslek yaşamlarında doğrudan MEB Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı ve Türkiye Maarif Vakfı model programlarında yer alan öğrenme çıktılarını esas alan materyaller geliştirmeleri ve kullanmaları beklenmektedir. Bu gerçeklik göz önünde bulundurulduğunda, söz konusu araştırmada geliştirilen AG materyallerinin yalnızca lisans düzeyindeki akademik içeriğe değil; aynı zamanda MEB öğretim programında yer alan "Vücudumuzdaki Sistemler" ünitesinin kazanımlarına ve Maarif model programının öngördüğü öğrenim çıktılarına doğrudan dayandırılması bilinçli bir tercih olarak benimsenmiştir.

3.4.4. Etkileşim Tasarımı:

Dördüncü aşamada materyallerin yalnızca statik bir 3D görselleştirme olmaktan çıkarılması ve pedagojik açıdan anlamlı bir etkileşim katmanı eklenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda C# komut dizileri aracılığıyla dokunmatik tabanlı döndürme, yakınlaştırma ve modelin farklı katmanlarını gösterme/gizleme gibi etkileşimler tasarlanmıştır. Bunlara ek olarak animasyon, ses dosyaları, metinler eklenmiştir. Ayrıca kullanıcı arayüzü için butonlar yerleştirilmiş; buton tasarımı, hedef kitlenin yaş ve bilişsel gelişim düzeyi gözetilerek şekillendirilmiştir. Bu aşama, öğretmen adaylarının en yoğun BİD becerilerini sergiledikleri ve en fazla rehberlik talep ettikleri aşama olarak öne çıkmaktadır (Cufuna, Rangel-de Lazaro, & Duart, 2025).
Etkileşim katmanının kurgulanması, öğretmen adaylarının fen kavramlarını algoritmik bir mantık çerçevesinde yeniden yapılandırmasını zorunlu kılmıştır. Örneğin; bir organ modelinde organa tıklandığında ilgili metnin ekranda belirmesi veya bir animasyonun başlaması süreci, adayların "Eğer (if) kullanıcı dokunursa, O zaman (then) şu olayı başlat" şeklindeki algoritmik düşünme becerilerini tetiklemiştir. Karmaşık biyolojik süreçlerin veya fiziksel olguların adım adım animasyonlara bölünmesi ise doğrudan ayrıştırma bileşeniyle ilişkilidir.
Ayrıca, kullanıcı arayüzünde (UI) yer alan butonların ve yönlendirme metinlerinin tasarımı, sadece teknik bir tercih değil, aynı zamanda fen öğretimindeki "kavram yanılgılarını önleme" ve "öğrenci motivasyonunu artırma" hedeflerine yönelik pedagojik birer müdahale olarak kurgulanmıştır. Bu süreçte öğretmen adayları; karmaşık verileri sadeleştirerek soyutlama becerilerini kullanmış ve farklı fen konuları için benzer etkileşim yapılarını (prefab yapılar) kurgulayarak örüntü tanıma yetkinliklerini sergilemişlerdir. Sonuç olarak bu aşama, teknik bir yazılım sürecinden ziyade, fen eğitimindeki Pedagojik Alan Bilgisinin (PAB) dijital bir üretimle somutlaştığı disiplinler arası bir deneyim alanı sunmuştur.

3.4.5. Uygulamaya Dönüştürme (Build):

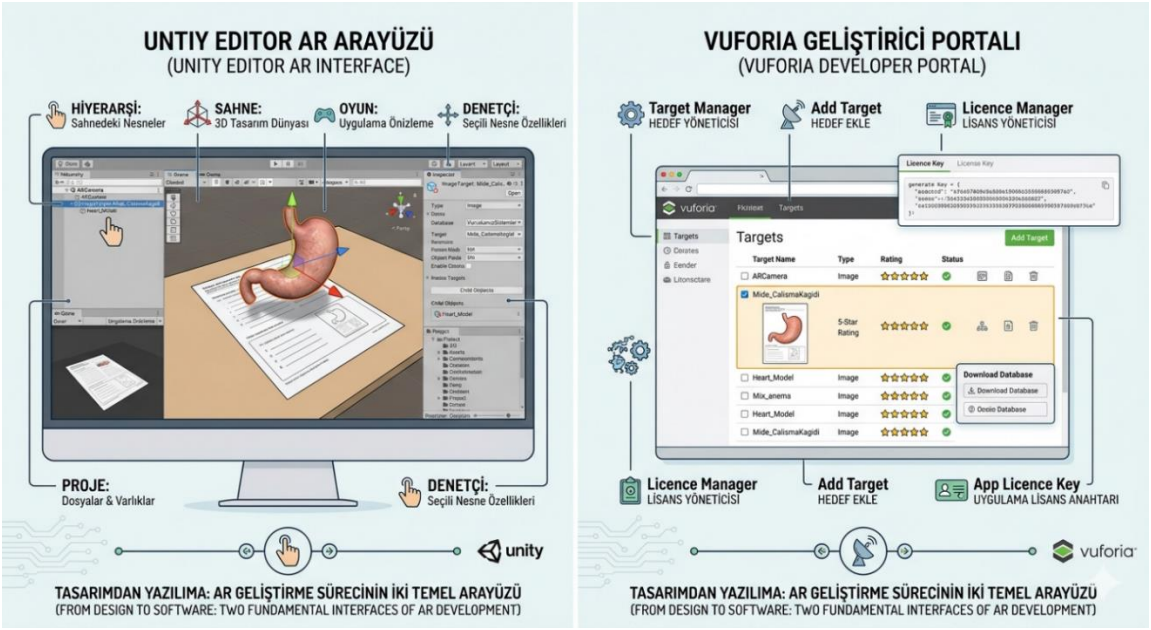
Son aşamada geliştirilen AG materyalleri, Unity'nin Build Settings modülü aracılığıyla Android platformu için .apk formatında derlenmiş ve mobil cihazlara yüklenmiştir. Bu aşamada karşılaşılan temel güçlük, derleme hatalarının (build errors) giderilmesidir. Öğretmen adayları; hata mesajlarını yorumlama, gerekli izinleri (permissions) ayarlama ve minimum API düzeyini belirleme konularında rehberlik almıştır. Ürün testleri, farklı cihaz ve işletim sistemi sürümleri üzerinde gerçekleştirilerek uyumluluk doğrulanmıştır.
Unity editörü içerisinde tasarlanan etkileşimli içeriklerin, fiziksel bir mobil cihazda (tablet veya akıllı telefon) çalışabilir hale gelmesi için Android platformuna özgü bir paketleme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Bu süreçte oluşturulan .apk (Android Package Kit) dosyası; uygulamanın tüm kod yapısını, üç boyutlu modellerini, Vuforia izleme verilerini ve görsel varlıklarını içeren sıkıştırılmış bir yükleme formatıdır. Fen bilgisi öğretmen adayları için .apk çıktısı almak, dijital bir tasarımın sınıf ortamında kullanılabilir bir "eğitim materyaline" dönüşmesini simgelemektedir.
Derleme (Build) aşamasında karşılaşılan teknik güçlükler; genellikle hedef cihazın işlemci mimarisi, Android SDK sürümleri ve kamera erişim izinleri gibi konfigürasyon ayarlarından kaynaklanmaktadır.

Bu engellerin aşılması, öğretmen adaylarının sadece içerik tüketicisi değil, aynı zamanda yazılımın dağıtım ve uygulama süreçlerine hakim birer "teknolojik içerik geliştiricisi" rolünü benimsemelerini sağlamıştır. Nihai ürünlerin mobil cihazlara yüklenmesiyle birlikte, ders kitaplarındaki iki boyutlu görsellerin (Image Targets), herhangi bir harici bilgisayar bağlantısına ihtiyaç duymadan, taşınabilir cihazlar aracılığıyla artırılmış gerçeklik deneyimine dönüştürülmesi başarılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Geliştirilen Materyaller

Materyal geliştirme sürecinin sonunda ortaokul fen bilimleri öğretim programının "Vücudumuzdaki Sistemler" ünitesi kapsamında, kalp, beyin ve mide vb. organlara ait interaktif üç boyutlu AG materyalleri başarıyla tamamlanmıştır. Bu materyaller; kullanıcının organı serbestçe döndürmesine, katmanlar arasında geçiş yaparak iç yapıyı incelemesine ve açıklayıcı metin/ses içeriklerine ulaşmasına imkân tanıyan etkileşimli özellikler barındırmaktadır. Geliştirilen materyallerin fen bilimleri dersi müfredatıyla örtüşmesi, TPAB çerçevesinin materyal tasarım sürecine başarılı biçimde yansıtıldığına işaret etmektedir (Mishra & Koehler, 2006). Şekil 2"de sistemin genel yapısı görselleştirme yapılmıştır.



Şekil 2. Sistem Yapısı ve Süreci

4.2. Karşılaşılan Teknik Güçlükler ve Çözüm Önerileri

Öğretmen adaylarının Unity ve Vuforia Engine kullanarak gerçekleştirdikleri materyal tasarım süreci, sadece teknik becerilerin uygulanmasını değil, aynı zamanda karşılaşılan karmaşık problemlerin sistematik olarak çözülmesini gerektiren dinamik bir yapı olarak yer almaktadır. Süreç boyunca adayların yaşadığı deneyimler, karşılaştıkları engeller ve bu engelleri aşmak için geliştirdikleri stratejiler; araştırmacılar tarafından gözlemlenmiştir. Süreç boyunca öğretmen adaylarının karşılaştığı teknik güçlükler sistematik biçimde gözlemlenmiş ve kayıt altına alınmıştır.

4.2.1. Performans Sorunları

En sık karşılaşılan sorun, indirilen 3D modellerin poligon sayısının yüksekliğinden kaynaklanan performans düşüşleridir. Üç boyutlu (3D) dijital modeller; geometrik bir yüzey oluşturmak amacıyla bir araya gelen tepe noktaları (vertices), kenarlar (edges) ve bu kenarların çevrelediği yüzeylerden, yani poligonlardan meydana gelmektedir. Bilgisayar grafiklerinde poligon sayısı (poly-count), bir modelin görsel detay seviyesini ve dolayısıyla o modelin işlenmesi (rendering) için gereken işlem gücünü belirleyen temel bir parametredir. Fen eğitiminde kullanılan hücre, atom veya organ gibi karmaşık yapıların yüksek çözünürlükte sunulması görsel bir avantaj sağlasa da artırılmış gerçeklik (AG) uygulamalarında bu durum teknik bir kısıta dönüşmektedir.

Yüksek poligonlu modeller, özellikle orta düzey mobil cihazlarda kare hızının (frame rate) belirgin biçimde düşmesine yol açmaktadır. Bu sorun; Blender gibi araçlarla modellerin düşük poligon (low-poly) versiyonlarının oluşturulması ya da doğrudan düşük poligonlu modellerin tercih edilmesi yoluyla giderilmiştir. Nitekim mobil AR uygulamalarında model başına 5.000-15.000 poligon aralığının sürdürülebilir bir performans için yeterli olduğu bildirilmektedir (Schmalstieg & Höllerer, 2016).

4.2.2. Hiyerarşi Yapısı Hataları

Unity editöründe nesneler arasındaki ilişkileri düzenleyen Hiyerarşi (Hierarchy) paneli, nesnelerin sahne üzerindeki koordinat ve hareket verilerini birbirine aktardığı bir yapı sunmaktadır. Bu yapıda üstte yer alan nesne "Ebeveyn" (Parent), ona bağlı olan nesne ise "Çocuk" (Child) olarak tanımlanır. Artırılmış Gerçeklik (AG) mekanizmasında, kameranın bir görüntü hedefini (Image Target) tanımasıyla birlikte dijital modelin doğru konumda belirmesi için bu hiyerarşik bağın kurulması zorunludur. Öğretmen adaylarının önemli bir bölümü, 3D modelleri Image Target nesnesinin altına doğru şekilde yerleştirmeyerek (child olarak eklemeyerek) modellerin tutarsız görüntülendiğini deneyimlemiştir. Bu durum, Unity'nin hiyerarşik nesne yönetimi mantığının yeterince kavranmamasından kaynaklanmakta olup modellerin Image Target altına alt nesne (child object) olarak eklenmesiyle sorun çözülmüştür. Bu teknik detay, AG geliştirme konusunda başlangıç düzeyinde olan öğretmen adayları için kritik bir öğrenme noktası olarak öne çıkmaktadır.

4.2.3. Image Target Kalite Sorunları

Artırılmış Gerçeklik (AG) sistemlerinde Image Target (Görüntü Hedefi); kameranın gerçek dünyada tanıması için sisteme önceden tanıtılan, üzerine dijital içeriklerin (3D model, video, metin vb.) yerleştirilmesine olanak sağlayan görsel referans noktasıdır. Artırılmış Gerçeklik sistemlerinde bir görüntünün "hedef" (Image Target) olarak tanımlanabilmesi, yazılımın o görüntü üzerindeki ayırt edici özellikleri saptayabilmesine bağlıdır. Vuforia Engine, yüklenen her bir görseli 0 ile 5 yıldız arasında bir kalite puanıyla derecelendirmekte; bu puan görseldeki kontrast yoğunluğu ve köşe noktalarının sayısına göre belirlenmektedir.

Süreçte bazı görsellerin Vuforia tarafından düşük kalite puanı alması, AG modellerinin stabil bir şekilde görüntülenememesine veya kameranın hedefi hiç tanımamasına yol açmıştır. Yapılan teknik değerlendirme sonucunda bu durumun; sade tasarlanmış şemalar, pastel renk tonları veya fazla boşluk içeren (düşük doku yoğunluklu) görsellerden kaynaklandığı saptanmıştır. Bu sorunun aşılması için öğretmen adayları; hedef görüntülere daha fazla görsel detay eklemiş, renk doygunluğunu artırmış ve simetrik olmayan, karmaşık dokulu arka planlar kullanarak "zengin özellikli" görseller tasarlamışlar veya araştırmışlardır. Bu düzenleme süreci, adayların bir materyalin sadece pedagojik içeriğine değil, aynı zamanda o içeriğin dijital sistemler tarafından "okunabilir" ve "işlenebilir" olmasına (teknik tasarım okuryazarlığı) yönelik farkındalık kazanmalarını sağlamıştır.

4.3. Bulgulardan Öne Çıkan Temalar

Yürütülen süreçteki gözlemler ve öğretmen adaylarının deneyimleri genel bir çerçevede değerlendirildiğinde; BİD becerilerinin işlevselleşmesi, pedagojik yansıma ve teknolojik özyeterlilik gelişimi olmak üzere üç temel odak noktası öne çıkmaktadır. BİD Becerilerinin Kullanımı, öğretmen adaylarının özellikle C# komut dizisi yazma ve teknik hataları giderme (debugging) süreçlerinde; karmaşık problemleri yönetilebilir parçalara ayırma (ayrıştırma) ve adım adım çözüm yolları kurgulama (algoritma tasarımı) becerilerini etkin biçimde sergiledikleri görülmüştür. Bu pratikler, adayların problem çözme yetkinliklerini teknik bir düzlemde pekiştirmektedir. Pedagojik Yansıma, materyal geliştirme süreci sadece teknik bir üretim olarak kalmamış; adayların "Bu modeli hangi yaş grubu için tasarlıyorum?" gibi sorular etrafında şekillenen pedagojik kararlarını da tetiklemiştir. Bu durum, teknoloji entegrasyonunun öğretimsel hedeflerle doğal bir biçimde sentezlendiğini göstermektedir. Teknolojik özyeterlilikte artış, başlangıçta AG geliştirme konusunda çekimser olan öğretmen adaylarının, süreç boyunca elde ettikleri somut başarılar sayesinde teknoloji kullanımına yönelik özgüvenlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, Bandura'nın (1997) özyeterlilik teorisiyle paralel olarak, doğrudan deneyimlerin bireyin yetkinlik algısı üzerindeki güçlü etkisini bir kez daha doğrulamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma; fen bilgisi öğretmen adaylarının AG materyali geliştirme süreçlerinin hem teknoloji özyeterliliklerini hem de pedagojik yansıma kapasitelerini artıran çok katmanlı bir öğrenme deneyimi sunduğunu ortaya koymaktadır. Unity ve Vuforia Engine aracılığıyla gerçekleştirilen bu süreç, yalnızca bir yazılım geliştirme pratiği olmaktan öte; TPAB çerçevesinin ve BİD bileşenlerinin uygulamalı ve anlamlı bir bağlamda pekiştirildiği bütünleşik bir mesleki gelişim deneyimine dönüşmüştür.

Bulguların pratik yansımaları değerlendirildiğinde üç temel öneri öne çıkmaktadır. Öğretmen yetiştirme programlarına yönelik öneride, fen bilgisi öğretmenliği lisans programlarına AG materyali geliştirme odaklı seçmeli ya da zorunlu bir ders eklenmesi, öğretmen adaylarının TPAB yetkinliklerini erken dönemde kazanmalarını destekleyecektir (Chai ve ark., 2013). Müfredat entegrasyonu açısından ise AG'nin bir amaç değil araç olduğu bilinciyle, her materyal tasarım sürecinin belirli bir kavram yanılgısını giderme hedefiyle başlaması önerilmektedir. Bu yaklaşım, teknoloji odaklı tasarımların pedagojik hedeflerle örtüşmesini güvence altına alacaktır. Teknik sürdürülebilirlik bağlamında da low-poly model kullanımı, image target kalite standartları ve hiyerarşi yönetimine ilişkin teknik rehberlerin öğretmen adaylarına önceden sunulması, süreçteki teknik aksaklıkları azaltacağı ve verimlilik artışı sağlayacağı düşünülmektedir. Son olarak, AG teknolojisinin fen eğitimine entegrasyonunun sürdürülebilir kılınması için yalnızca teknik yeterlilik değil; eleştirel pedagojik sorgulama da vazgeçilmez bir bileşen olarak ön plana çıkmaktadır. Öğretmen adaylarının "Neden bu teknolojiyi kullanıyorum?" sorusunu "Nasıl kullanıyorum?" sorusundan önce yanıtlamaları, pedagojik açıdan anlamlı ve etkin AG materyallerinin geliştirilmesinin temel koşulunu oluşturmaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında deneyimlenen materyal tasarım süreci, 21. Yüz Yıl fen eğitimi anlayışında öğretmenin rolünün "bilgi aktarıcısı" olmaktan "dijital içerik üretici" olmaya doğru evrildiğini somut bir biçimde ortaya koymaktadır. Fen bilgisi öğretmen adaylarının Vuforia ve Unity gibi profesyonel araçlarla kurdukları bu etkileşim, sadece teknik bir beceri kazanımı değil; aynı zamanda karmaşık eğitsel problemleri teknolojiyle çözümleme vizyonunun bir yansımasıdır. Geleceğin fen sınıflarında, soyut kavramların artırılmış gerçeklik ile hayat bulması, ancak bu teknolojiyi pedagojik bir derinlikle harmanlayabilen öğretmenlerin varlığıyla mümkün olacaktır. Bu bağlamda, öğretmen eğitiminde teknolojik araçların kullanımından ziyade, bu araçların "tasarımcısı" olma felsefesinin benimsenmesi; dijital dönüşümün eğitimdeki kalıcı ve nitelikli izlerini oluşturacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK 3005- Sosyal ve Beşeri Bilimlerde Yenilikçi Çözümler Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında 323K097 proje numarasıyla desteklenmektedir. Projeye katkılarından dolayı TÜBİTAK'a ve çalışmaya gönüllü olarak katılan tüm öğretmen adaylarına teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review, 20*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *6*(4), 355-385. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, 8*(2-3), 73-272. https://doi.org/10.1561/1100000049

Brennan, K., & Resnick, M. (2012). *New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking.* Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, BC, Canada.

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, *37*, 31-40. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018

Cederqvist, A. M. (2023). Ways of using augmented reality as a pedagogical tool in science teacher education – possibilities and limitations: A systematic narrative review. *Journal of Technology and Teacher Education, 31*(3), 233–269. https://www.learntechlib.org/primary/p/222710/

Chai, C. S., Koh, J. H. L., & Tsai, C. C. (2013). A review of technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Technology & Society, 16*(2), 31-51.

Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., & Hwang, G. J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students" learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Journal of Educational Technology & Society, 17*(4), 352-365.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches* (4. bs.). SAGE Publications.

Cufuna, D. S. A., Rangel-de Lazaro, G., & Duart, J. M. (2025). Exploring the role of didactic strategies in the creation of augmented reality digital content by pre-service primary school teachers: A systematic literature review. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *41*(2–3), 129–145. https://doi.org/10.1080/21532974.2025.2511600

Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers & Education, 123*, 109-123. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002

Ilic, U., Haseski, H. I., & Tugtekin, U. (2018). Publication trends over 10 years of computational thinking research in education. *Contemporary Educational Technology, 9*(2), 131-153.

Johnson, L., Adams Becker, S., Cummins, M., Estrada, V., Freeman, A., & Hall, C. (2016). *NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition.* The New Media Consortium.

Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting Learning by Design into practice. *The Journal of the Learning Sciences, 12(*4), 495-547. https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1204_2

Küng, J., & Brovelli, D. (2025) The impact of teacher training on the evaluation and selection of STEM augmented reality applications and TPACK self-assessment. *Front. Psychol.* 16, 1657028. doi: 10.3389/fpsyg.2025.1657028

Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students" learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education, 70*, 29-40. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033

Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record, 108*(6), 1017-1054. https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x

Niess, M. L. (2011). Investigating TPACK: Knowledge growth in teaching with technology. *Journal of Educational Computing Research, 44*(3), 299-317. https://doi.org/10.2190/EC.44.3.c

Okumuş, A., & Savaş, P. (2024). Investigating EFL teacher candidates' acceptance and self-perceived self-efficacy of augmented reality. *Education and Information Technologies, 29,* 16571–16596. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12517-1

Ormanci, U., & Çakır, H. (2022). Augmented reality applications in science education: A systematic review. *Research in Science & Technological Education, 40*(1), 41-62. https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1782455

PTC Inc. (2023). *Vuforia Engine developer documentation.* https://developer.vuforia.com/library/

Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented reality: Principles and practice*. Addison-Wesley Professional.

Sırakaya, M., & Sırakaya, D. A. (2020). Augmented reality in STEM education: A systematic review. *Interactive Learning Environments, 30*(8), 1556-1569. https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1722713

Unity Technologies. (2023). *Unity user manual.* https://docs.unity3d.com/Manual/index.html

Wang, X. M., Yu, D. D., Yu, X. H., et al. (2024). Impacts of augmented reality-supported STEM education on students' achievement: A meta-analysis of selected SSCI publications from 2010 to 2023. *Education and Information Technologies, 29*, 20547–20585. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12641-y

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), 33-35. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education, 62,* 41-49. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6. bs.). SAGE Publications.

II. DÜNYA SAVAŞI BAĞLAMINDA TÜRKİYE'NİN KONUMU: 1943 KAHİRE KONFERANSI ÜZERİNE BİR KARİKATÜR ANALİZİ

TÜRKİYE'S POSITION IN WORLD WAR II: A CARTOON ANALYSIS OF THE 1943 CAIRO CONFERENCE

Mehmet ARSLAN
Dr., *Serbest Araştırmacı*
ORCID ID: 0000-0003-4936-2531

ÖZET

Bu bildirinin amacı, 3 Kasım 1943 tarihli Washington Daily News gazetesinde yayımlanan karikatür üzerinden, II. Dünya Savaşı sürecinde Türkiye'nin uluslararası konumunu ve büyük güçlerin Türkiye'ye yönelik politikalarını analiz etmektir. Çalışmada, söz konusu karikatür görsel bir tarihsel belge olarak ele alınmış ve içerdiği semboller, figürler ve söylemler üzerinden yorumlanmıştır. Araştırma sürecinde karikatürde yer alan "tarih" figürü, "dünya savaşı" kitabı ve Türkiye'nin savaşa dahil edilme çağrısı gibi unsurlar analiz edilerek dönemin uluslararası politik atmosferi ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle Kahire Konferansı bağlamında, müttefik devletlerin Türkiye'yi savaşa dahil etme çabaları ve Türkiye'nin temkinli, bekleyici politikası üzerinde durulmuştur. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılmış, veriler görsel içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Karikatür, dönemin Amerikan basınının Türkiye algısını ve beklentilerini yansıtan bir propaganda ve yorum aracı olarak ele alınmıştır. Araştırma sonucunda, Türkiye'nin savaş dışı kalma politikasının uluslararası baskılara rağmen sürdürüldüğü; ancak müttefikler tarafından savaşın gidişatını etkileyecek önemli bir aktör olarak görüldüğü anlaşılmıştır. Karikatürün, Türkiye'yi "tarihe geçmeye davet edilen ancak henüz karar vermemiş bir aktör" olarak temsil ettiği ve bu yönüyle dönemin diplomatik gerilimlerini yansıttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, II. Dünya Savaşı, Kahire Konferansı, Politik Karikatür.

ABSTRACT

The aim of this paper is to analyze Turkey's international position and the policies of the great powers toward Turkey during World War II through a political cartoon published in the *Washington Daily News* on November 3, 1943. In this study, the cartoon is treated as a visual historical document and is interpreted through its symbols, figures, and underlying discourse. During the research process, elements such as the figure of "history," the "world war" book, and the call for Turkey to enter the war are examined and contextualized within the international political atmosphere of the period. In particular, the study focuses on the efforts of the Allied powers to persuade Turkey to join the war within the framework of the Cairo Conference, as well as Turkey's cautious and balanced foreign policy.The study employs qualitative research methods, specifically document analysis, and the data are evaluated through visual content analysis. The cartoon is considered as a tool reflecting both propaganda and the perception of Turkey in the American press of the time. The findings indicate that despite increasing international pressure, Turkey maintained its policy of neutrality; however, it was perceived by the Allies as a strategically important actor capable of influencing the course of the war. The cartoon portrays Turkey as an actor invited to "enter history," yet still hesitant to take a decisive step, thereby reflecting the diplomatic tensions of the period.

Keywords: Türkiye, World War II, Cairo Conference, Political Cartoon

1949 ABD DIŞİŞLERİ BAKANLIĞI BELGELERİNDE TÜRKİYE VE ÜÇÜNCÜ DÜNYA SAVAŞ'INI ÖNLEME STRATEJİSİ

TÜRKİYE AND THE STRATEGY TO PREVENT A THIRD WORLD WAR IN 1949 U.S. STATE DEPARTMENT POLICY PAPERS

Mehmet ARSLAN
Dr., *Serbest Araştırmacı*
ORCID ID: 0000-0003-4936-2531

ÖZET

Bu bildirinin amacı, ABD'nin 1949 yılındaki temel amacı, Doğu Akdeniz ve Orta Doğu'da barışı koruyarak olası bir üçüncü dünya savaşını engellemektir. Bu strateji kapsamında 5 Mayıs 1949 tarihli ABD Dışişleri Bakanlığı Türkiye politika beyanını analiz ederek, ABD'nin Türkiye'ye yönelik stratejik yaklaşımını ve bu yaklaşımın askerî, siyasi ve ekonomik boyutlarını ortaya koymaktır. Bu doğrultuda, söz konusu belge temel alınmış ve metin kapsamlı bir içerik analizine tabi tutulmuştur. Araştırma sürecinde, ilgili politika belgesi ayrıntılı biçimde incelenmiş; belgenin ortaya koyduğu hedefler, politikalar ve değerlendirmeler sistematik olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında özellikle ABD'nin Türkiye'yi Sovyet yayılmacılığına karşı bir denge unsuru olarak konumlandırması, askerî ve ekonomik yardım programlarının kapsamı, Türkiye'nin Batı bloğu ile ilişkileri ve demokratikleşme sürecine yönelik destekleri analiz edilmiştir. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılmış, elde edilen veriler içerik analizi yoluyla değerlendirilmiştir. Bu çerçevede veriler; amaçlar, politikalar, uluslararası ilişkiler ve genel değerlendirme başlıkları altında kategorize edilmiştir. Araştırma sonucunda, ABD'nin Türkiye politikasının Soğuk Savaş bağlamında şekillendiği; Türkiye'nin jeopolitik konumu nedeniyle Batı için vazgeçilmez bir müttefik olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca ABD'nin askerî ve ekonomik yardımlar yoluyla Türkiye'nin hem savunma kapasitesini artırmayı hem de ekonomik kalkınmasını desteklemeyi hedeflediği anlaşılmıştır. Bununla birlikte Türkiye'nin NATO dışında bırakılmasının güvenlik kaygılarını artırdığı, buna karşılık ABD'nin çeşitli diplomatik ve stratejik araçlarla Türkiye'ye güvence vermeye çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Türkiye, ABD Dış Politikası, Soğuk Savaş, Uluslararası ilişkiler.

ABSTRACT

The objective of this paper is to analyze the primary goal of the United States in 1949: to prevent a potential third world war by maintaining peace in the Eastern Mediterranean and the Middle East. Within the scope of this strategy, the study examines the U.S. Department of State's policy statement on Turkey dated May 5, 1949, to reveal the strategic approach of the U.S. toward Turkey, including its military, political, and economic dimensions. Accordingly, the document in question served as the primary source and was subjected to a comprehensive content analysis. During the research process, the policy document was examined in detail, and the objectives, policies, and assessments presented in the document were systematically addressed. The study specifically analyzes the U.S. positioning of Turkey as a counterweight to Soviet expansionism, the scope of military and economic aid programs, Turkey's relations with the Western bloc, and the support for its democratization process. The study utilizes document analysis, a qualitative research method, and the data obtained were evaluated through content analysis. In this framework, the data are categorized under the headings of objectives, policies, international relations, and general assessment. The research concludes that U.S. policy toward Turkey was shaped within the context of the Cold War, and Turkey was viewed as an indispensable ally for the West due to its geopolitical position. Furthermore, it is understood that the U.S. aimed to enhance both Turkey's defense capacity and its economic development through military and economic aid. However, the study finds that excluding Turkey from NATO increased security concerns, whereas the U.S. attempted to provide assurances to Turkey through various diplomatic and strategic tools.
Keywords: Turkey, U.S. Foreign Policy, Cold War, International Relations.

DEĞERLER EĞİTİMİ BAĞLAMINDA HAZIRLANAN STEAM+E² TEMELLİ MÜZİK ETKİNLİKLERİNİN ÇOCUKLARIN PROBLEM ÇÖZME BECERİLERİNE ETKİSİ

THE EFFECT OF STEAM+E² BASED MUSIC ACTIVITIES PREPARED WITHIN THE CONTEXT OF VALUES EDUCATION ON CHILDREN'S PROBLEM-SOLVING SKILLS

Tamer KIVILCIM
Dr., Hava Kuvvetleri Bandosu Komutanlığı
ORCID ID: 0000-0002-4318-6904

Tülün MALKOÇ
Prof. Dr., Marmara Üniversitesi, Atatürk Eğitim Fakültesi, Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-4276-8574

Serkan AYDIN
Dr. Öğ. Üyesi, Marmara Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü
ORCID ID: 0000-0001-9530-520X

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, okul öncesi dönem çocuklarına değerler eğitimi bağlamında hazırlanan STEAM+E² temelli müzik etkinliklerinin çocukların problem çözme becerilerine ilişkin etkisinin incelenmesidir. Bu amaçla araştırmada, ön test – son test kontrol gruplu deneme modeli kullanılmıştır. Uygulama başlamadan önce deney ve kontrol gruplarına "Problem Çözme Becerisi Ölçeği" ön test olarak uygulanmıştır. Bu araştırmada STEAM (Fen, Teknoloji, Mühendislik, Sanat, Matematik) bütünleşik öğrenme modeline araştırmacı tarafından E² olarak tanımlanan Ethical (Etik) ve Environment (Çevre) alanlarının eklenmesiyle oluşan 7 ayaklı yeni bir model denemesi yapılmıştır. Deney grubuna 6 hafta boyunca haftada bir gün 30-40 dakika süreyle "STEAM+E² temelli müzik etkinlikleri" uygulanmış, kontrol grubuna ise okul öncesi eğitim günlük planlarında yer alan olağan müzik etkinlikleri dışında hiçbir özel etkinlik uygulanmamıştır. Okul öncesi eğitim programında bulunan 20 çatı değerden 7 tanesine deney grubuna uygulanan etkinliklerde yer verilmiştir. Uygulama sonrasında deney ve kontrol gruplarına "Problem Çözme Becerisi Ölçeği" son test olarak uygulanmıştır. Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre, deney ve kontrol gruplarında yer alan çocukların son test puanları arasında deney grubu lehine anlamlı bir farklılaşma tespit edilmiştir. Sonuç olarak; okul öncesi eğitimde uygulanan etkinlikler değerler eğitimi bağlamında hazırlanan STEAM+E² temelli müzik etkinlikleri ile desteklendiği takdirde, çocukların problem çözme becerilerinin gelişmesine olumlu yönde katkı sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: STEAM, Müzik eğitimi, Okul öncesi eğitim, Değerler eğitimi.

ABSTRACT
The aim of this research is to examine the effect of STEAM+E² based music activities, prepared within the context of values education for preschool children, on their problem-solving skills. For this purpose, a pretest-posttest control group experimental design was employed in the study. Prior to the implementation, the "Problem-Solving Skills Scale" was administered to both the experimental and control groups as a pretest. In this research, a new seven-pillared model was tested by integrating the areas of Ethical (E) and Environment (E), defined by the researcher as E², into the STEAM (Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics) integrated learning model. "STEAM+E² based music activities" were implemented with the experimental group for 30-40 minutes once a week over a period of six weeks, while the control group received no special intervention other than the regular music activities included in the preschool education daily plans. Seven out of the twenty core values in the preschool curriculum were incorporated into the activities applied to the experimental group. Following the implementation, the "Problem-Solving Skills Scale" was administered to both groups as a posttest. According to the results obtained from the research, a significant difference was identified between the posttest scores of the children in the experimental and control groups, in favor of the experimental group.

Consequently, when activities in preschool education are supported by STEAM+E² based music activities prepared within the context of values education, they contribute positively to the development of children's problem-solving skills.
Keywords: STEAM, Music education, Preschool education, Values education.

BANKACILIK SEKTÖRÜNDE REENGINERING UYGULAMASININ İŞ SONUÇLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

EFFECTS OF REENGINEERING APPLICATION ON BUSINESS RESULTS IN THE BANKING SECTOR

Devrim RODOP
Dr., Beykoz Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
ORCID ID: 0000-0002-7092-3666

ÖZET

Süreçlerin yeniden yapılandırılması yani reenginnering çalışmalarının başarı ölçütlerinden bir tanesi finansal sonuçlar üzerindeki etkisi ile tanımlanabilir. Yapılan çalışmaların kurumun stratejisine uygun olarak temelde süreçleri ele almasının yanısıra organizasyon modeli, altyapılar, çalışan ve müşterileri kapsayacak şekilde insan faktörlerini de etkilediği açıktır. Tüm girdiler süreçlerden geçtikten sonra çıktılara dönüştüğünde sonuçlar üzerindeki net etki finansal değerlerle ölçülebilir.

Yapılan bu çalışmada uluslararası bir finans kuruluşu olarak faaliyet gösteren 13 şubeli, toplam 270 çalışanı bulunan yabancı bir mevduat bankasının bankacılık faaliyetleri ele alınmış, 40 adet iş süreçi baştan-sona yaklaşımla yeniden yapılandırılmış, çalışanların iş yükü analizi yapılarak merkezileştirme uygulamaları gerçekleştitrilmiş ve organizasyon yapısı değiştirilmiştir.

Daha önce yayınlanan bildirilerde çalışmanın iş süreçleri üzerinde sağladığı verimlilik souçları ve organizasyon tasarımı üzerindeki etkileri ayrı ayrı detaylı şekilde ele alımıştır.

Bu bildiride ise yapılan çalışmaların tasarruf ve verimlilik boyutlarının yanısıra büyüme ve satış için yarattığı potansiyelleri de kapsayacak şekilde finansal sonuçları ele alınmaktadır.

Süreçlerin verimliliğinin analizi yapıldığında yıllık kazanç 170.000 USD olarak hesaplanmıştır. Bu değer, âtıl personel kapasitesi, değişen iş yapış şeklinden iptal edilen kapasite ve açığa çıkan ilave kapasitenin ücret karşılığı olarak hesaplanmıştır.

Çalışmada hiçbir ilave teknoloji yatırımı yapılmamakla birlikte mevcut teknolojiler kullanılarak yapılan dijitalleşme ile kâğıt kullanımından elde edilen tasarruf 15.800 USD'dir.

Bu sonuçlar çalışmanın tasarruf kısmı ile ilgili olmakla beraber esas önemli etki müşteriye ayrılacak zaman sebebi ile potansiyel büyüme ve satış üzerindeki etkilerdir. Mevcut çalışanlardan işten çıkarma yapmadan, yeniden görevlendirme ve eğitimler düzenlenerek, ürün ve hizmetler konusunda aktif satış ve pazarlamaya imkân tanınmış ve büyüme çarpanı yaklaşık 4 katı belirlenmiştir. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında doğrudan satış altyapılarının kurulması için düzenlemeler de başlatılmıştır. Çalışmaların devreye alınmasından 1 yıl sonra yapılan izleme ölçümlerinde müşteri sayısı 1,37 katına, müşteri derinliği (aynı müşteri ile yapılan işlem hacmi) 1,68 katına çıkmıştır. Sayılar yönetim tarafından tatmin edici sayılmaktadır. Çalışan memnuniyetinde gözleme dayalı artış tespit edilmiştir ancak karşılaştırma yapılacak eski tarihli veri olmadığı için karşılaştırma yapılamamıştır.

Anahtar Kelimeler: Reengineering, Süreç Yönetimi, Organizasyon Tasarımı, Verimlilik, İş Sonuçları

ABSTRACT

One of the success criteria of process reengineering studies can be defined by its impact on financial results. The studies carried out not only deal with the processes but also affect human factors as employees and customers, including the organizational model and infrastructures. When all inputs are transformed into outputs, the net impact on the results can be measured in financial values.

In this study, the banking activities of a foreign deposit bank operating as an international financial institution with 13 branches and a total of 270 employees were discussed, 40 business processes were restructured with an end-to-end approach, centralization practices were carried out by analyzing the workload of the employees and the organizational structure was changed.

In the previously published papers, the efficiency results of the study on business processes and its effects on organizational design were discussed separately and detailly.

In this paper, the financial results of the studies are discussed, including the savings and efficiency dimensions as well as the potentials created for growth and sales.

When the efficiency of the processes is analyzed, the annual profit is calculated as 170,000 USD. This value was calculated basen on the wage equivalent of the additional capacity released, the idle personnel capacity, the capacity canceled due to the changing way of doing business.
Although no additional technology investment was made in the study, the savings obtained from the use of paper with digitalization using existing technologies are 15,800 USD.
Although these results are related to the savings part of the study, the most important effect is the effects on potential growth and sales due to the time to be allocated to the customer. By organizing reassignments and trainings without dismissing existing employees, active sales and marketing of products and services were enabled and the growth multiplier was determined approximately 4 times. In the following parts of the study, arrangements were also initiated for the establishment of direct sales infrastructures. In the monitoring measurements made 1 year after the implementation of the studies, the number of customers increased 1.37 times and the customer depth (transaction volume with the same customer) increased 1.68 times. The numbers are considered to be satisfactory by the management. An observational increase in employee satisfaction was detected, but a comparison could not be made because there was no old data to compare.
Keywords: Reengineering, Process Management, Organization Design, Productivity, Business Results

DÖNÜŞEN İŞGÜCÜ PİYASASINDA KADIN İSTİHDAMI: TÜRKİYE ÖRNEĞİ

WOMEN'S EMPLOYMENT IN A TRANSFORMING LABOR MARKET: THE CASE OF TÜRKİYE

Sultan SALUR KÜÇÜK
Dr. Öğr. Üyesi, Sinop Üniversitesi, Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0001-9314-3526

ÖZET

Dijitalleşme, otomasyon ve teknolojik yeniliklerin hızla yayılması, dünya genelinde işgücü piyasalarının yapısını köklü biçimde değiştirmektedir. Bu dönüşüm yalnızca yeni mesleklerin ortaya çıkmasına yol açmakla kalmamakta, aynı zamanda mevcut işlerin niteliğini ve bu işlerde ihtiyaç duyulan becerileri de yeniden şekillendirmektedir. Bu süreç içerisinde kadınların işgücü piyasasındaki konumu giderek daha önemli bir tartışma konusu hâline gelmiştir. Teknolojik değişim bir yandan kadınlar için yeni fırsatlar yaratma potansiyeline sahipken, diğer yandan mevcut eşitsizliklerin yeniden üretilmesine veya derinleşmesine de neden olabilmektedir.

Bu çalışma, işgücü piyasasının değişen yapısının Türkiye'de kadın istihdamı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Özellikle dijital ekonominin büyümesi, esnek çalışma modellerinin yaygınlaşması ve otomasyon teknolojilerinin artan kullanımı gibi son yıllarda öne çıkan eğilimlere odaklanılmaktadır. Analiz kapsamında, bu gelişmelerin kadınların işgücüne katılım oranları, sektörler arasındaki dağılımları ve kariyer olanakları üzerindeki etkileri ele alınmaktadır.

Araştırmada, büyüme potansiyeli yüksek olan hizmet sektörü, teknoloji temelli meslekler ve yaratıcı endüstriler gibi alanlara özel bir önem verilmiştir. Bununla birlikte, kadınların yoğun olarak istihdam edildiği bazı geleneksel sektörlerde otomasyonun yaratabileceği riskler de tartışılmaktadır.

Çalışma ayrıca, kadınların yeni ekonomiye daha güçlü bir şekilde katılımını destekleyecek eğitim ve beceri politikalarının önemine dikkat çekmektedir. Kadınların STEM alanlarına yönlendirilmesi, kadın girişimciliğinin desteklenmesi ve iş–yaşam dengesini kolaylaştıran politikaların geliştirilmesi bu bağlamda öne çıkan stratejiler arasında yer almaktadır. Türkiye'ye ilişkin güncel veri ve raporların değerlendirilmesi yoluyla, kadınların ekonomik ve toplumsal yaşama eşit katılımını güçlendirmeye yönelik politika önerileri de sunulmaktadır.

Sonuç olarak çalışma, sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasında kadın istihdamının stratejik rolünü vurgulamakta ve işgücü piyasasındaki dönüşümün daha kapsayıcı bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini savunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kadın İstihdamı, Dijitalleşme, İşgücü Dönüşümü, Türkiye, Beceri Gelişimi.

ABSTRACT

The rapid spread of digitalization, automation and technological innovation is transforming labour markets across the world. These changes are not only creating new occupations but are also reshaping existing jobs and the skills required to perform them. Within this transformation, the position of women in the labour market has become an important issue. While technological change may open new opportunities for women, it can also reproduce or deepen existing inequalities.

This study examines how the changing structure of the labour market affects women's employment in Turkey. In particular, it focuses on recent trends such as the growth of the digital economy, flexible working arrangements and the increasing use of automation. The analysis explores how these developments influence women's participation in the workforce, their distribution across sectors and their career prospects.

Special attention is given to sectors with strong growth potential, including the service sector, technology-related occupations and creative industries. At the same time, the study discusses the risks posed by automation in traditional sectors where women are heavily represented.

The paper also highlights the importance of strengthening education and skills policies that support women's participation in the new economy. Encouraging women to pursue STEM fields, supporting female entrepreneurship and developing policies that facilitate work–life balance are identified as key strategies.

By examining recent data and reports on Turkey, the study proposes policy recommendations aimed at promoting women's equal participation in economic and social life.
Ultimately, the paper emphasizes the strategic role of women's employment in achieving sustainable development goals and argues for a more inclusive approach to labour market transformation.
Keywords: Women's Employment, Digitalization, Workforce Transformation, Türkiye, Skill Development.

ENDÜSTRİ 5.0'IN EKONOMİK BÜYÜME ÜZERİNDEKİ OLASI ETKİLERİ: TÜRKİYE İÇİN ÇIKARIMLAR

TÜRKİYE POTENTIAL EFFECTS OF INDUSTRY 5.0 ON ECONOMIC GROWTH: IMPLICATIONS FOR TURKEY

Sultan SALUR KÜÇÜK
Dr. Öğr. Üyesi, Sinop Üniversitesi, Boyabat İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Gayrimenkul Geliştirme ve Yönetimi Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0001-9314-3526

ÖZET

Endüstri 5.0, Endüstri 4.0'ın dijitalleşme ve otomasyon odaklı üretim yaklaşımının ötesine geçerek insan merkezli, sürdürülebilir ve dayanıklı bir sanayi sistemini vurgulayan yeni bir endüstriyel paradigma olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yeni çerçeve, ekonomik büyümeyi yalnızca verimlilik ve maliyet etkinliği açısından değil, aynı zamanda sosyal refah, çevresel sürdürülebilirlik ve uzun vadeli dayanıklılık gibi daha geniş boyutlar üzerinden yeniden tanımlamaktadır. Bu bağlamda Endüstri 5.0, üretim süreçlerini dönüştürme ve ekonomik büyümenin dinamiklerini yeniden şekillendirme potansiyeline sahiptir.

Endüstri 5.0'ın merkezinde insanlar ile akıllı makineler arasındaki iş birliği yer almaktadır. İnsan emeğinin yerini tamamen almak yerine, yapay zekâ ve robotik gibi ileri teknolojiler insanın yaratıcılığını, eleştirel düşünme becerilerini ve problem çözme kapasitesini destekleyecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu sinerji, daha yenilikçi ve özelleştirilmiş üretim süreçlerinin gelişmesine olanak sağlarken aynı zamanda değer yaratma kapasitesini ve küresel rekabet gücünü artırmaktadır.

Endüstri 5.0'ın bir diğer temel boyutu sürdürülebilirliktir. Döngüsel ekonomi uygulamaları, enerji ve kaynakların verimli kullanımı, karbon emisyonlarının azaltılması ve çevre dostu üretim modelleri, çevresel sorumluluk ile ekonomik performansın bütünleşmesine katkı sağlamaktadır. Bu gelişmeler yalnızca sürdürülebilir büyümeyi desteklemekle kalmamakta, aynı zamanda yeşil teknolojiler alanında yeni istihdam ve yatırım fırsatlarının ortaya çıkmasına da zemin hazırlamaktadır.

Bunun yanı sıra Endüstri 5.0'ın dayanıklılık ilkesi, küresel krizlerin ortaya çıkardığı kırılganlıkları azaltmayı amaçlamaktadır. Esnek üretim sistemleri, dijital ikiz teknolojileri ve öngörücü bakım uygulamaları tedarik zincirlerinin ve sanayi altyapılarının dayanıklılığını artırarak ekonomik istikrarın güçlenmesine katkı sağlamaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, Endüstri 5.0'a yönelik dönüşüm uzun vadeli ekonomik büyümeyi desteklemek için önemli bir stratejik fırsat sunmaktadır. Beceri dönüşümünü kolaylaştıracak eğitim politikalarının güçlendirilmesi, yüksek teknoloji sektörlerine yapılan yatırımların artırılması, küçük ve orta ölçekli işletmelerin dijital dönüşümünün hızlandırılması ve etkili yeşil dönüşüm stratejilerinin uygulanması bu sürecin temel unsurları arasında yer almaktadır. Endüstri 5.0'ın Türkiye ekonomisine başarılı bir şekilde entegre edilmesi, küresel rekabet gücünü artırabilir, nitelikli istihdamı teşvik edebilir ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 5.0, Ekonomik Büyüme, İnsan Merkezli Üretim, Sürdürülebilirlik, Türkiye Ekonomisi

ABSTRACT

Industry 5.0 represents a new industrial paradigm that moves beyond the digitalization and automation-oriented production approach of Industry 4.0 by emphasizing a human-centric, sustainable, and resilient industrial system. This emerging framework redefines economic growth not only in terms of productivity and cost efficiency but also through broader dimensions such as social welfare, environmental sustainability, and long-term resilience. In this context, Industry 5.0 has the potential to transform production processes and reshape the dynamics of economic growth.

At the core of Industry 5.0 lies the collaboration between humans and intelligent machines. Rather than replacing human labor, advanced technologies such as artificial intelligence and robotics are designed to support human creativity, critical thinking, and problem-solving abilities. This synergy enables more innovative and customized production processes while increasing the capacity for value creation and global competitiveness.

Another fundamental dimension of Industry 5.0 is sustainability. Circular economy practices, efficient use of energy and resources, reduction of carbon emissions, and environmentally friendly production models contribute to the integration of environmental responsibility with economic performance. These developments not only support sustainable growth but also create new employment opportunities and investment areas in green technologies.

Furthermore, the resilience principle of Industry 5.0 aims to reduce the vulnerabilities revealed by global crises. Flexible production systems, digital twin technologies, and predictive maintenance applications enhance the resilience of supply chains and industrial infrastructures, thereby strengthening economic stability.

For Turkey, the transition toward Industry 5.0 presents a strategic opportunity to support long-term economic growth. Strengthening education policies to facilitate skill transformation, increasing investments in high-technology sectors, accelerating the digital transformation of small and medium-sized enterprises, and implementing effective green transition strategies are key elements of this process. A successful integration of Industry 5.0 into the Turkish economy can enhance global competitiveness, promote qualified employment, and contribute to the achievement of sustainable development goals.

Keywords: Keywords: Industry 5.0, Economic Growth, Human-Centric Production, Sustainability, Turkish Economy.

DESIGN OVER BRAND? METHODOLOGICAL TRIANGULATION: VERIFICATION OF THE HALO EFFECT IN AI-OPTIMIZED PRIVATE LABEL PACKAGING

Bozkurt Oğuz DİJLE
Üsküdar University, Department of Neuromarketing, Institute of Social Sciences, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0007-0743-5372

Ceyda Aysuna TURKYILMAZ
Prof. Dr., Marmara University, Faculty of Business Administration, Marketing Department , Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9015-4980

Abdullah BALLI
Associate Prof., Ostim Technical University , Faculty of Economics and Administration, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2689-6610

Serdar PİRTİNİ
Prof. Dr., Marmara University, Faculty of Business Administration Marketing Department, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9858-060X

ABSTRACT
Although the quality of Private Label (PL) products has improved, many consumers still perceive them as “cheap.” This study examines whether enhanced, well-designed packaging can alter these perceptions. In this research, packaging is developed by a special method using Artificial Intelligence (AI). This research uses a mixed-method approach based on methodological triangulation, merging quantitative survey data from both blind and branded conditions with qualitative data to assess the influence of visual design on consumer evaluation. Using the Halo effect framework, the study examines how visual cues shape judgments of quality, trust, and purchase intention. The data show that AI-optimized packaging can greatly improve perceived quality, especially in the absence of brand cues. However, this effect does not continue across all conditions. In branded scenarios, existing brand associations and stigma continue to shape evaluations, indicating that design effectiveness is context-dependent.
These results show that although packaging design can function as a strong intuitive signal, its impact is constrained by category expectations and pre-existing cognitive constructs. This study adds to the literature by positioning optimized design as an important decision-support tool and by demonstrating how triangulated methodologies yield a greater understanding of consumer perception mechanisms.
Keywords: AI Packaging Design, Neuromarketing, Halo Effect, Private Label, Consumer Behavior, Generative Artificial Intelligence

INTRODUCTION
The 2026 retail landscape is defined by a radical shift in consumer priorities: 54% of US consumers state that the brand "doesn't matter" as long as the product meets their specific needs (NielsenIQ , 2025). The quality gap is rapidly closing, as PLs are perceived as comparable to established brands and National Brands (NBs), particularly among younger and higher-income demographics (IPSOS, 2025). However, while the "quality gap" is narrowing, a perception difference persists due to deep-rooted brand loyalty and heritage-based storytelling (IPSOS, 2025). Even though many PL products are manufactured by the same NB producers using similar manufacturing capabilities, they are still often perceived as inferior or of lower quality when placed side-by-side on the shelf (Ma et al., 2024; Kumar & Steenkamp , 2007). Despite significant improvements in product quality, PLs continue to suffer from a persistent perception of inferiority . This study argues that this discrepancy is not a function of product performance, but rather a function of cognitive bias, specifically the Halo Effect as a key driver of Brand Value (Leuthesser et al., 1995).

The Halo Effect was initially conceptualized by Thorndike (1920) as a systematic error in judgment , later research has reframed this phenomenon as a value-generating mechanism in consumer contexts. Specifically, Leuthesser et al. (1995) argued that the Halo Effect should be viewed not merely as a cognitive bias, but as a process by which consumers attribute added value to products, thus contributing to brand value formation.

A recent systematic review by Gutiérrez et al. (2024) highlights the conceptual variety and intricacy of the field by identifying more than 40 definitions of brand and brand value in the literature. Despite this variety, most established perspectives agree that brand value is fundamentally based on consumer perception, associations, and attribution of value.

This study centers on the perceptual and cognitive aspects of brand value, particularly the Halo Effect. The Halo Effect is when a single distinctive feature (e.g., packaging) influences the overall perception of a product (Nisbett & Wilson, 1977). Consumers frequently do not know the earliest reason for their decision and offer explanations later (Nisbett & Wilson, 1977; Kahneman, 2011; Zaltman, 2003). Visual stimuli in the store, especially packaging, largely determine perceptions of quality before the product is tried (Underwood, 2003; Ampuero & Vila, 2006; Silayoi & Speece, 2007; Clement, 2007; Orth & Malkewitz, 2008).

The combination of AI and neuromarketing provides a data-driven approach to consumer engagement by transforming scientific and technological tools into meaningful, tailored brand experiences (Lakshminarayana et al., 2024). Despite the increasing adoption of data-driven marketing practices where companies increasingly leverage generative AI to improve performance, personalization, and efficiency (Grewal et al., 2025), empirical studies evaluating the impact of AI-optimized packaging on real consumers – particularly in comparison with original packaging designs – remain limited (Davenport et al., 2020). Current neuromarketing research has primarily focused on measuring consumer responses using biometric tools, rather than using such data to train and validate design optimization systems (Zhang & Hur, 2025; Nazrin et al., 2025). While previous research has explained how consumers conceptually interpret AI-generated content, this study empirically examines consumer perception of AI generated designs (Nizar et al., 2026). Furthermore, the integration of quantitative and qualitative methods through methodological triangulation in packaging and neuromarketing research is still relatively underutilized, despite its potential to enhance the validity and depth of consumer insight (Vivek et al., 2023).

Recent research shows that packaging strongly shapes consumer views and behavior (Ballı, 2026). Packaging design goes beyond supporting brand communication and actively shapes consumers' perception of product quality (Ooijen et al., 2017). Visual elements such as color and images serve as implicit cues that influence consumer evaluations and often operate outside conscious awareness (Simmonds & Spence, 2017).

Within this evolving framework, the PL sector presents a unique challenge where the quality gap is minimized, but the perception gap remains a significant obstacle to brand value. Consistent with the objective of Mensah et al . (2022), it is clear that consumers judge product excellence and superiority primarily based on how well the packaging is designed. Since packaging serves as a necessary requirement for establishing brand identity and communicating perceived quality to the consumer, using AI to surgically optimize these visual cues offers a strategic way to bypass traditional brand legacy. The application of biometrically trained AI moves the discipline from passive measurement to active design engineering by focusing this tool on brand associations. To address these gaps, this study investigates whether AI-optimized packaging directly influences perceived quality in PL products by activating the Halo Effect . The research employs a methodological triangulation approach combining sequential surveys (blind and branded tests) with qualitative focus group analysis (Creswell & Plano Clark, 2007). In the blind condition, brand cues are removed to measure the pure impact of the design, while in the branded condition, original brand identities are reintroduced to observe how the design and brand interact.

Accordingly, this study addresses the following research questions:

RQ_1: To what extent can AI-optimized packaging design affect perceived product quality in PL products compared to original packaging?

RQ_2: Does AI-optimized packaging activate the Halo Effect by leading consumers to infer product quality from visual design cues?

RQ_3: To what extent can packaging design reduce or neutralize the "cheap" brand stigma associated with PL products?
Based on these research questions and the empirical nature of the study, the following hypotheses are proposed:
H_1: AI-optimized packaging leads to a higher perceived product quality in PL products compared to original packaging.
H_2: Consumers infer product quality from visual design cues, such as the activation of the Halo Effect in AI-optimized packaging.
H_3: The effectiveness of AI-optimized packaging in enhancing perceived quality depends on the alignment between visual elements and category expectations.

METHODOLOGY

Research Design

This paper uses triangulation approach which integrates quantitative and qualitative methods to comprehensively examine consumer responses to AI-optimized packaging. Both surveys and focus groups are used to get a deep understanding how people react to new AI-optimizes designs of packaging. (Guo et al., 2025). To take the numbers with real conversations helps us see what people like and why, making our findings more reliable (Creswell & Plano Clark, 2007). Additionally, embedding elements are present, where qualitative findings are used to explain and contextualize quantitative results (Fetters et al., 2013). This integrated design allows the study to examine not only what consumers prefer but also why such preferences arise.

Stimuli and Experimental Setup

This study focuses on the hedonic product category, such as dark chocolate. Three packaging conditions were used: original market designs and AI-optimized versions generated through the Neuropack -PL framework. The AI-optimized designs were developed by redesigning the original packaging based on eye-tracking data collected from 31 participants. While the AI optimized designs were created using the Neuropack platform (Ballı, 2025). The Neuropack PL framework represents a specialized extension specifically developed for PL packaging optimization (Dijle, 2025). The biometric training dataset was collected in an earlier phase of the research at the Üsküdar University Neuromarketing Laboratory using a separate group of Üsküdar University students, completely independent of the sample used in the current study. This established a distinction between training and assessment samples to prevent circularity and ensure that the observed effects did not stem from sample-specific bias. Accordingly, the research design consists of two distinct but related phases: (1) an AI training phase conducted separately using biometric data collected at the Üsküdar University Neuromarketing Laboratory and (2) the main experimental phase of the current study conducted with a different group of participants to evaluate the effectiveness of AI-optimized designs.
The general data-driven design process is shown in Figure 1.

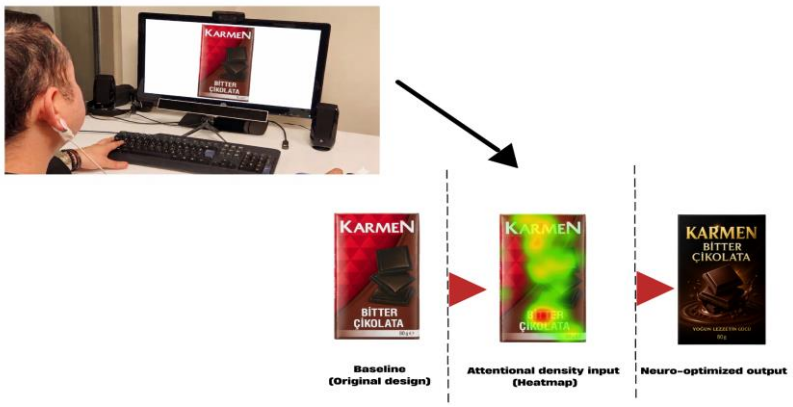


Figure 1. Neuropack PL Data-Driven Packaging Optimization Process.

The figure illustrates the Neuropack -PL design cycle. In the first stage, participants are exposed to the original packaging stimuli while their visual attention is recorded using eye-tracking technology (Gazepoint GP3 HD). In the second stage, attention intensity maps (heatmaps) are created based on the collected gaze data. In the final stage, these biometric insights are translated into AI-optimized packaging designs that enhance visual hierarchy, product prominence, and perceptual impact. The process shown is representative and has been consistently applied across all product conditions. This design strengthens the internal validity of the study , the relatively limited size and demographic scope of the training dataset may still restrict the generalizability of the AI optimization process. Therefore, AI-optimized designs should be interpreted as exploratory outputs demonstrating the potential of data-driven packaging optimization, rather than universally generalizable solutions. The Neuropack PL data-driven packaging design process, demonstrating how biometric insights (e.g., eye-tracking data) translate into specific visual design changes , is presented in the OSF repository. To isolate the effect of design stemming from brand influence, a two-stage experimental setup was implemented:

- Blind Condition: To eliminate brand bias and measure the pure impact of packaging design, brand names have been removed and replaced with a “Private Brand” label.
- Brand Condition: Original brand identities were re-presented to observe how the design interacted with existing brand perceptions.

Sampling and Data Collection

The study was conducted with a total of 43 participants, all graduate students at Marmara University. Choosing this group helped us control the study and compare how people responded to different packaging designs. Although this made the results less general, it was helpful for understanding how people see and judge packaging. Using both surveys and focus groups gave us better results than using just one method. The participants were mostly women, with an average age of 29.6. About two-thirds ate dark chocolate several times a week, so they knew the product well. At first, everyone preferred national brands over PL products, showing a clear brand bias. We started with an online survey and then moved to small focus groups to keep opinions and reasoning fresh. Participants first rated both original and optimised packaging, with and without brand names. After that, group discussions explored the reasons behind their choices.

The data were collected in a controlled setting using an online survey platform, where all participants completed the quantitative phase at the same time. Immediately following the survey, participants moved on to the qualitative phase to ensure continuity between the measured responses and the reasoning/justification provided. The study followed a sequential mixed methods design. In the first phase, participants evaluated both original and optimized packaging designs under blind and branded conditions. In the second phase, focus group discussions (5-8 participants each) were conducted to investigate the underlying cognitive and emotional mechanisms shaping these evaluations.

Data Analysis

Triangulation approach was used to provide a comprehensive understanding of consumer responses . Quantitative data were analyzed through a comparative evaluation of participant preferences between original and optimized packaging designs under blind and branded conditions. Qualitative data obtained from focus group discussions were analyzed using the Means-End Chain (MEC) framework (Gutman , 1982). Through laddering analysis, responses were systematically categorized into attributes, consequences, and values (A–C–V), allowing for the identification of the cognitive and emotional drivers underlying consumer evaluations (Reynolds & Gutman , 1988). Qualitative coding and thematic analysis were performed using MAXQDA 26.2.1 software. MAXQDA is widely used in qualitative and mixed methods research to support systematic coding and data organization (Santos et al., 2021).

Integration was primarily achieved through a blending approach, where quantitative and qualitative data were combined during the analysis phase. In addition, embedding elements were used where qualitative findings were employed to explain and contextualize quantitative results. At the reporting level, a weaving approach was adopted, integrating both data types within thematic interpretations (Fetters et al., 2013). Various validation strategies were employed to enhance the rigor and reliability of the qualitative analysis.

The coding process followed a structured and iterative approach combining deductive and inductive techniques. To ensure consistency, the coding scheme was continuously improved throughout the analysis process. Furthermore, peer review/interview and iterative cross-checking of the coded segments were performed to reduce subjective bias and improve interpretive reliability. formal inter-coder reliability metrics were not calculated due to the exploratory nature of the study , the transparent reporting of the systematic coding procedure and coding structure contributes to the robustness and reliability of the findings.

RESEARCH AND FINDINGS

Quantitative Findings

Quantitative findings shows a clear reflection of packaging design on perceived product quality. Comparative results under blind and branded conditions are presented in Table 1.

Table 1. Comparative Perception Results Under Experimental Conditions.

Product Group	Blind Quality Perception (%)	Brand Quality Perception (%)	Purchase Intention (%)
Ülker Original (NB)	67.4	65.1	65.1
Ülker Neuropack PL	32.6	34.9	34.9
Karmen Original (PL)	0.0	4.7	4.7
Karmen Neuropack PL	100.0	95.3	95.3
Vince Original (PL)	65.1	67.4	67.4
Vince Neuropack PL	34.9	32.6	32.6

Table 1 shows that, in the blind condition participants evaluated packaging alternatives solely based on visual cues. In this context, the new optimized design for the Karmen product received a 100% preference rate. This finding offers the first quantitative evidence that optimized packaging can positively affect perceived quality in PL products. The results are not generalizable across all product groups. As shown in Figure 2, a complete change in preference is observed in the Karmen example, while the original designs remain dominant under the Ülker and Vince conditions.



Figure 2. Comparative preference results across product conditions under blind conditions.

For the Karmen (a), the optimized design resulted in total preference (100.0%) in the blind condition, and this preference remained high in the branded condition (95.3%). In contrast, for the Ülker (c), participants favored the original packaging in both the blind (67.4%) and branded (65.1%) conditions over the optimized version. Similarly, for the Vince (b), the original design was preferred to the optimized version in both the blind (65.1%) and branded (67.4%) conditions. These results suggest that although optimized packaging can substantially influence perceived quality in specific contexts, its effectiveness differs among products and conditions. The qualitative analysis studies in the following section aim to illuminate the factors underlying these differences in focus group interviews.

Qualitative Findings

We used a hybrid coding approach to analyze the focus group interviews. While most of the comments focused on how people perceived the optimized packaging, our coding of the 433 responses also captured a wide range of thoughts and feelings. Figure 3 shows how these responses were distributed in the code cloud.



Figure 3. Code cloud representing the dominant themes and coded segments obtained from the qualitative analysis

Table 2 highlights the key codes we derived from our analysis, demonstrating how we structured the qualitative data within the extended ACV model. Instead of listing every code to support our findings, we focused on the most significant and relevant codes.

Table 2. Representative Coding Structure

Codes	Generic Category	Main Category	Frequency (n)
[A] Color: Contrasting Colors / Contrast	Color Strategy	Attribute	4
[A] Color: Black	Color Strategy	Attribute	7
[C] Quality Perception	Perceived Quality & Value	Consequence	14
[C] Sensory Expectation: Pleasure / Enjoyment	Perceived Quality & Value	Consequence	4
[C] Illusion	Cognitive Processing & Bias	Consequence	5
[M] Halo Effect	Brand Perception/Dynamics	Mechanism	21
[M] Brand Stigma	Brand Perception/Dynamics	Mechanism	16
[CP] Paradigm Shift	Cognitive Framing & Mental Models	Consumer Psychology	10
[V] Trust / Quality Assurance	Quality & Trust Value	Value	10
[V] Prestige / Perception of Luxury	Emotional & Experiential Value	Value	9
[T] Human-In-The-Loop Model	AI Benefits	Perception Technology	of 6
[T] AI: Strategic Shortcut / Leverage Effect	AI Benefits	Perception Technology	of 6

Table 2 illustrates how consumer evaluations transform from visual features into value judgments shaped by perception, psychology, and views on technology. This framework helps us trace the thought process. The complete coding structure is available in the OSF repository.

Interpreting Consumer Perception Based on ACV

In our qualitative analysis using the ACV model, we identified both common and unique thinking patterns across the products. People interpret visual features based on context, which shapes their judgments and values. Expanding this framework helps explain the psychological processes behind these evaluations and lends greater meaning to the data.

Karmen: Coherent Perceptual Structure

In Karmen condition, participants consistently linked visual features—like dark tones, contrast, and refined details—to ideas of high cocoa content and quality. The design perceived as "premium," "luxury," or "high-quality," showing participants a shared understanding shaped by the optimized look. To further illustrate how these consistent perceptual patterns are structured, the following are selected examples showing how specific visual attributes are translated into product-related meanings and value-based evaluations.

- Karmen Neuropack PL, was chosen because of its simplicity and minimalism. The clean and uncluttered visual structure appears to trigger a halo effect , where simplicity is interpreted as a signal of higher product quality . This visual language mitigates the disadvantage of being an unknown PL brand and directly leads to a superior perception. Consequently, the aesthetic power of design overrides brand loyalty, making visual evaluation the dominant factor in the decision-making process aesthetic priority (Form vs. Function). [A] Simplicity / Minimalism → [M] Halo Effect → [C] Premium Perception → [V] Aesthetic Priority (Form vs. Function)
- In contrast to the AI-optimized design, the original Karmen packaging was associated with negative evaluations stemming from perceived design inadequacy structural composition (original design). The participants interpreted this lack of visual care as a direct signal of neglect, triggering a horn effect (negative cognitive bias where one negative feature leads to an overall

negative evaluation; Noor et al., 2023) where poor design quality is generalized to the product itself. [A] Structural Composition → [M] Horn Effect → [C] Brand Devaluation / Lack of Trust in Product Quality → [V] Brand Rejection / Lack of Trust

- The participant stated, “If a certain level of care and attention is given to the packaging, the product itself should be given the same level of care,” reflecting how structural composition triggers a halo effect , where the perceived effort in packaging directly translates to assumptions about product quality. This leads to perception of quality and ultimately trust and quality assurance.

[A] Structural Composition → [M] Halo Effect → [C] Quality Perception → [V] Trust / Quality Assurance

- The participant indicated that visual texture and product representation initiated a neutralization process that reduced deeply rooted biases toward PL products. This barrier-reducing effect triggered a paradigm shift that weakened the perception of low quality and moved the participant toward willingness to try . As a result, the design was not perceived as imitation, but coded as noble value.

[A] Visual Texture / Product Representation → [M] Neutralization → [CP] Paradigm Shift → [C] Willingness to Try → [V] Noble Value

- The participant stated that the red color was not consistent with the chocolate category in terms of color semantics and led to a mismatch in category expectations. This visual mismatch triggered a horn effect , where the inappropriate color cue shaped the overall perception of the product. This resulted in a perceptual illusion where the packaging was interpreted as simple and irrelevant to the product's identity, and ultimately led to a lack of trust in both the brand and the product content .

[A] Color: Red → [M] Horn Effect → [C] Perceptual Illusion / Horn Effect → [V] Lack of Trust

- The participant identified the black and gold combination as a defining characteristic of the product's character. Using black and gold made the packaging feel more prestigious and luxurious, setting Karmen apart from typical store brands and giving it a more refined image.

[A] Color: Black & Golden Yellow → [C] Perception of Nobility → [V] Prestige / Luxury Perception

- Participant choosing the Neuropack PL design confirmed that the packaging successfully neutralized pre-existing biases toward PL products and effectively broke down cognitive barriers. Compared to the competing design (Vince), the participant highlighted that Karmen provided an accurate sensory inference (bitter taste) through its sructural composition, which was not associated with the "bitter chocolate taste". In response to the moderator's question regarding perceptual shift, the participant's explicit affirmation of their purchase intention indicates that a paradigm shift occurred , ultimately resulting in unconscious acceptance.

[A] Structural Composition → [M] Neutralization → [C] Sensory Inference (Bitter Taste) → [CP] Paradigm Shift → [V] Unconscious Acceptance / Perceptual Shift

- The participant's statement, "If I hide the brands , I'll choose Karmen ; if I don't hide them, I'll choose Ülker," outlines the boundary conditions of design influence on decision-making. However, when the brand names were visible, an established brand imprint was activated, putting the design advantage into a neutralization process. While the packaging maintained an unconscious level of appeal, the final decision shifted towards the established brand due to the associated trust value, reflecting risk-aversion behavior in purchasing decisions. [A] Structural Composition → [C] Visual Attraction → [M] Brand Stigma / Neutralization → [V] Trust Value
- The participant noted that contrast and dark tones are associated with the intense character of bitter chocolate and lead to an taste expectation derived directly from the packaging. The participant also stated that Karmen when focusing solely on design Neuropack PL packaging was noted as being visually more appealing. However, during the decision-making process, an existing brand stigma became apparent and influenced the final choice. Under similar product and price conditions, the participant chose a well-known brand, reflecting the trust in the decision outcome.

[A] Color: Contrasting Colors / Contrast & Dark Tones → [C] Taste Expectation → [M] Brand Stigma / Negative Initial Perception → [V] Trust / Quality Assurance

- The participant stated that the [N] contrasting colors (yellow–black contrast) created a strong visual appeal and generated a clear expectation about the product's contents, possibly an intense or bitter taste, resulting in visual appeal. This visual appeal has evolved beyond mere aesthetic appreciation into a more evaluative perspective where expected quality is correlated with price-performance ratio. At the value level, this process resulted in a sense of satisfaction and value for money, reflecting the perception that the product will meet expectations and justify its cost.

[A] Contrasting Colors / Contrast → [C] Visual Attraction / Taste Expectation → [C] Price–Performance Balance → [V] Happiness / Value for Money

- Its smooth texture and golden-yellow-black color scheme created an expectation of a smooth, high-quality chocolate that would melt in the mouth. This positive visual impression led participants to believe the chocolate would taste great and be worth the price.

[A] Visual Texture: Fluidity & [A] Color: Golden Yellow / Black → [C] Sensory Inference (Melting in the Mouth) → [V] Sensory Pleasure → [V] Value for Money

- In products like dark chocolate, failing to highlight the cocoa content can harm even the best packaging design. Even if the packaging looks nice, if it omits important details, people may become suspicious and worry about being misled.

[A] Emphasis on Cocoa Ratio → [M] Manipulation Concern → [V] Lack of Trust

- The black packaging aligns with what people expect from dark chocolate, signaling authenticity and a high cocoa content. This strong visual cue compensates for the lack of a precise cocoa percentage, ensuring consumers are confident in their choice. [A] Color: Black & Emphasis on Cocoa Ratio → [C] Product-Color Congruity → [V] Self-Approval / Feeling of Right Decision

Vince: Fragmented Perceptual Structure

Vince's packaging lacked a clear visual message. Instead of forming a consistent evaluation pattern, participants generally struggled to relate design cues to expected product features, suggesting a breakdown in consistency between visual attributes and perceived product quality.

- The participant noted that the green color on the Vince Neuropack PL packaging created an expectation associated with peanut or mint instead of dark chocolate, triggering a horn effect. This mismatch between color and category cues led to a perceptual illusion, with the product being interpreted as something different from its intended identity. At the value level, this resulted in a unconscious acceptance, where a sense of "difference" influenced perception despite the underlying inconsistency in the design.

[A] Color: Green → [M] Horn Effect → [C] Perceptual Illusion / Horn Effect → [V] Unconscious Acceptance / Perceptual Shift

- The overall design elements used in Vince Neuropack PL packaging , not limited to shades of green, disrupted established category schemas as part of typography and color and triggered a curiosity mechanism. This combination of visual elements created a sense of separation from typical category expectations and led to the product being perceived not just as a standard food item, but as seeking novelty and experience it. Through this process, the packaging reduced the perception that PL products are "ordinary," encouraged exploratory evaluation, and resulted in emotional satisfaction associated with trying something new.

[A] Typography and Color → [M] Curiosity → [C] Novelty / Experience → [V] Emotional Satisfaction

- The participant assessed the visual inconsistency on Vince's packaging as a critical flaw that weakened brand credibility. The use of green color and false color semantics, commonly associated with peanuts, along with an irrelevant almond presentation on dark chocolate packaging, created a clear category mismatch.

[A] Color Semantics / Incorrect Color: Green → [M] Horn Effect → [C] Perceptual Illusion / Horn Effect → [V] Lack of Trust

- Despite some design flaws, the PL packaging strengthened the brand image and reduced negative perceptions. The new visual style sparked curiosity, and the product's appeal helped overcome previous doubts, making people more open to trying the product. [A] Structural Composition → [C] Perceptual Illusion → [CP] Paradigm Shift → [C] Willingness to Try → [V] Unconscious Acceptance / Perceptual Shift

Ülker: Brand Dominant Perceptual Structure

For Ülker, design played a role, but people's choices were mainly shaped by their existing feelings and knowledge about the brand. Compared to other brands, packaging mattered less—brand familiarity and trust made the bigger difference in how people judged the product.

- Ülker Neuropack PL's vibrant, clear, and fluid visuals were key in driving preference, no matter the brand. This sensory appeal made people judge the product based on the experience it promised, connecting it to ideas of quality and enjoyment. [A] Product Visual: Vividness / Clarity & [A] Visual Texture: Fluid → [C] Appetite Appeal → [V] Quality / Enjoyable Time
- Ülker Neuropack PL's nostalgic logo and gold color signaled exclusivity and quality. This look combined prestige with a sense of the brand's history, making the product feel both premium and meaningful. [A] Visual Texture: Nostalgic Logo & [A] Color: Gold → [CP] Nostalgia Effect → [C] Quality Perception → [V] Nobility
- Cocoa Content Emphasis (60%) on the Ülker Neuropack PL packaging provided a clear and concrete message about the product's density and composition. This clear information reduced ambiguity and directly contributed to sense of confidence, strengthening trust in the product. Combined with the well-known brand identity, this technical detail transformed into trust and quality assurance, reinforcing the expectation that the product would meet the expected standards . [A] Emphasis on Cocoa Ratio & [A] Font Size & [A] Contrasting Colors / Contrast → [M] Halo Effect → [V] Trust / Quality Assurance
- The participant stated that the warm brown tones used in the original Ülker 60% dark chocolate packaging warm and brown color, created a mismatch with the expected sensory profile of dark chocolate and led to perceptual illusion (e.g., associations with milk or caramel flavors). The participant's statement, "If I were to choose dark chocolate, I wouldn't choose this," reflects how these color cues invalidated rational product information (60% cocoa) and consequently led to brand disclaimer.

[A] Color: Warm / Brown → [C] Perceptual Illusion / Horn Effect → [V] Brand Rejection

- The emphasis on cocoa content presents dark chocolate as a healthier and more functional option compared to regular sweets. This helps justify people consuming dark chocolate by associating it with health goals, making it seem like a smart choice for those focused on healthy living.

[A] Emphasis on Cocoa Ratio → [M] Healthy Snack → [C] Justifying Sweet Cravings → [V] Healthy Living

- Some participants mentioned a 'boycott,' showing that brand identity can be a strong barrier—sometimes even more important than product features. When a brand is tied to personal values or social issues, people's biases can lead them to reject both the product and the brand, regardless of its packaging or design. [A] Brand Identity → [M] Ideological Boycott → [C] Cognitive Bias → [V] Brand Rejection

AI and Technology Perception

After viewing the packaging designs, participants found out that AI trained on biometric data had created them. This made them think not only about the products themselves but also about the technology behind the designs. Participants began to see AI as more than a simple tool. It shaped their trust, influenced their decisions, and changed what they expect from future packaging innovations.

- Optimized designs that incorporate biometric data are perceived by consumers as higher quality. Designs supported by empirical data foster scientific trust, as they are regarded as products of rigorous analysis rather than solely creative input. Additionally, presenting artificial intelligence

as a strategic tool enhances consumer acceptance of emerging technologies and strengthens trust in product quality.

[A] AI-Driven Design → [T] Assumption of AI Perfection → [C] Sense of Scientific Trust → [CP] Perception of Technology and Future → [V] Trust / Quality Assurance

- Participants expressed skepticism regarding the potential of artificial intelligence to generate equitable opportunities for PLs. Many viewed AI primarily as a resource for large, well-funded companies, rather than as a technology that democratizes the market. As a result, participants regarded the advantages of AI as conditional and contingent upon organizational resources, rather than universally accessible.

[A] AI-Driven Design → [T] Strategic Shortcut / Leverage Effect → [T] Marketing Strategy Perception / Skepticism → [T] Distant Attitude Towards Technology

- Participants expressed a preference for a hybrid approach in which human experts refine AI-generated designs. They indicated that relying solely on data was insufficient and that incorporating human input enhanced the relevance and trustworthiness of the results. Since AI lacks the capacity to understand emotions or recognize nuanced details, involving human expertise was considered essential to produce higher-quality, more satisfying designs.

[A] AI-Driven Design →[T] AI Limits: Lack of Emotion → [T] Human-In-The-Loop Model

- The final focus group found that AI-optimized packaging can spark curiosity and get people to try a new product, even if they don't know the brand. But this interest is often short-lived—trust in well-known brands still matters more for long-term success. Past bad experiences with private labels keep people skeptical, so while AI-driven design can boost initial engagement, lasting success relies on strong brand reputation and quality.

  [A] AI-Driven Design → [C] Willingness to Try / Experience → [M] Breaking the Brand Stigma → [CP] Paradigm Shift → [V] Trust / Quality Assurance

Triangulation and Discussion

This section brings together both quantitative and qualitative results to provide a well-rounded interpretation (Vivek et al., 2023). Using triangulation, the research explores how consumers understand and make decisions by examining where patterns overlap, differ, or interact (Fetters et al., 2013).

Convergence of Quantitative and Qualitative Findings

Analysis of combined survey and interview data reveals a strong association between visual cues and consumer product judgments. While the optimized Karmen design led to a significant shift in preference (100% blind; 95.3% branded), the original designs by Ülker and Vince continued to exert influence. Qualitative findings offer explanations for these divergent patterns.

In the case of Karmen, the optimized design was distinguished in both quantitative and qualitative analyses. Participants identified simplicity, dark colors, and clear structure as indicators of high cocoa content and premium quality. These visual cues activated the Halo Effect and reduced biases against private labels, thereby fostering trust and positive expectations (Ballı, 2026). As a result, the Neuropack PL design was preferred by nearly all participants.

Participants frequently evaluated packaging based on intuitive responses and initial impressions rather than deliberate analysis. As one participant put it, "I can't consciously explain it, but the packaging gives me the impression that this is a good chocolate that will be enjoyable." These findings indicate that packaging design serves as an intuitive cue, rapidly influencing perceptions of quality and product expectations. The application of neurodesign, brain data, and artificial intelligence facilitates the testing and refinement of packaging to enhance consumer engagement and brand performance (Ballı, 2026).

For Ülker, brand familiarity still had a big impact, but visual design—like vibrant images, texture, and cocoa emphasis—sparked positive reactions and trust. The power of design was clear, but it worked best when people already trusted the brand. Bringing together these results shows that packaging design shapes how people judge products by translating visuals into meaning and value. The agreement between numbers and interviews supports previous research on how color and visual fit matter (Fetters et al., 2013; Creswell & Plano Clark, 2007; Yılmaz & Erden, 2017).

This study found that mismatched colors—like red for Karmen, green for Vince, or brown for Ülker—created confusing expectations for dark chocolate. Overall, matching visual cues with sensory expectations is key for effective design and consistent consumer perception.

Design Over Brand? Re-evaluating the Hierarchy of Influence

These findings necessitate a critical reassessment of the prevailing assumption that brand dominance consistently outweighs design influence in shaping consumer perception. The results demonstrate that, under specific conditions—particularly in the absence of strong brand cues—packaging design can temporarily supersede brand-based evaluations, resulting in a "design-over-brand" effect.

The Karmen condition demonstrates that optimized design can induce a complete preference shift under blind evaluation, indicating that visual cues alone are sufficient to guide perceived quality judgments. However, this effect is not universal. In branded conditions, particularly for established brands such as Ülker, brand-related trust structures remain dominant and limit the influence of design interventions.

The findings suggest that the relationship between design and branding is conditional rather than hierarchical. Design functions as a context-dependent signal that can reinforce, complement, or, in certain circumstances, temporarily override brand-based expectations.

Boundary Conditions of Design Activity

Overall, the results show that refined packaging can influence consumer perceptions of products. However, its effectiveness is constrained when packaging designs deviate from category norms, when brand reputation exerts a stronger influence, or when consumers' prior experiences and beliefs predominate.

The Vince case illustrates this limitation: participants preferred the first packaging over the AI-generated version in both blind (65.1%) and branded (67.4%) tests. The use of green colors and mixed visuals led to confusion, as the product appeared to be almond or mint-flavored. When packaging is flavored and fails to match category expectations, it can undermine customer confidence and elicit negative responses, such as the Horn Effect, in which a single incongruent element negatively influences overall evaluation (Cordain et al., 2005; Heseker, 2012).

A similar limitation was observed with Ülker: the first packaging outperformed the AI-generated version in both blind (67.4% vs. 32.6%) and branded (65.1% vs. 34.9%) tests, with a higher purchase intent (65.1%). These results suggest that brand trust and familiarity outweigh the appeal of novel visual designs. Even when participants expressed a preference for the appearance of the AI packaging, they reverted to the trusted brand upon brand identification.

A third limitation occurs from consumers' prior experiences. Negative encounters with private labels, such as perceptions of poor quality or taste, can result in persistent brand stigma. In such cases, even well-designed visuals may be disregarded if prior beliefs dominate, leading to rapid rejection or doubt.

These outcomes are consistent with research (Davenport et al., 2020), which concluded that AI is most effective when used as a support tool for human decision-makers rather than as a complete replacement. In the present study, the Neuropack PL approach used AI to generate findings that facilitate but do not supplant human designers.

The results highlight the need for integrated systems that combine the strengths of AI with human expertise to achieve optimal, reliable design outcomes.

To summarize, optimized packaging is less effective when it does not conform to category norms, when brand trust is pronounced, or when prior experiences influence consumer beliefs. The effectiveness of AI in this context depends on the interaction among visual cues, memory, and trust in forming consumer perceptions.

AI and Technology Perception

When participants were informed that the packaging was designed using artificial intelligence (AI) trained on biometric data, their attention shifted from the design itself to the underlying technology. This awareness resulted in subtler perceptions of AI, characterized by simultaneous feelings of trust and skepticism.

Some participants perceived AI as accurate and objective, especially due to its use of biometric data, which was regarded as scientific and trustworthy. They considered AI a strategic tool capable of making superior decisions compared to human insight, and interpreted its adoption as indicative of an inevitable shift toward technology-driven trust in design.

Other participants expressed skepticism, expressing concern that AI primarily benefits large corporations rather than creating impartial opportunities for private labels. Some participants also noted that AI lacks emotional and situational understanding, which may result in designs that do not appeal to consumers or fail to meet contextual expectations.

In response, the Human-in-the-Loop Model appeared as a preferred approach. Participants agreed that AI performs optimally when human experts review and improve its outputs, making sure that designs are appropriate for the category and context. Rather than substituting for human expertise, AI should augment and support human decision processes, as humans can identify issues such as color variances and secure conformity with customer choices.

Overall, participants regarded AI as more than a mere tool; their perceptions were formed by trust, skepticism, and hopes regarding future applications. Although AI has the capacity to boost trust and encourage product trial, it is most effective once integrated with human input and consistent with established brand and market norms.

Synthesis of Research Questions

This section integrates responses to the research questions through methodological triangulation.

For RQ_1, results show which optimized packaging strongly affects perceived product quality, particularly when brand cues are absent. However, this effect varies across conditions, indicating that the impact of design depends on product context and brand structure.

For RQ_2, data confirm that consumers infer product quality from visual design cues via intuitive evaluation processes. The consistent activation of mechanisms such as the Halo Effect across cases indicates that packaging serves as a primary cognitive shortcut in forming quality perceptions.

For RQ_3, data show which optimized packaging can partially mitigate PL stigma by encouraging initial engagement and willingness to try. However, this effect is limited, as established brand-based trust structures and prior experiences keep shaping final decision-making. Thus, design can alleviate but not fully eliminate existing brand stigma.

Overall, these results show that packaging design is a powerful yet context-dependent driver of consumer perception, interacting with cognitive mechanisms and existing brand structures.

Hypothesis Evaluation

The evaluation uses an integrated interpretation of quantitative and qualitative findings, achieved through methodological triangulation.

H_1, which claims that optimized packaging increases perceived product quality in PL products, receives conditional support. Quantitative results present a strong positive effect in the Karmen condition, where optimized design produces a complete preference shift under blind evaluation. Qualitative findings further explain this effect by disclosing a consistent perceptual construct that links visual attributes to quality-related inferences. However, the lack of similar effects in the Ülker and Vince conditions indicates that this relationship is context-dependent rather than universal.

H_2, the hypothesis that consumers infer product quality from visual design cues via the activation of the Halo Effect is strongly supported. Across all cases, qualitative findings show that participants consistently translate visual attributes, such as color, contrast, and product visuals, toward broader judgments regarding quality, taste, and trust. These results confirm that packaging serves as an intuitive cue, permitting rapid and often unconscious evaluation processes.

H_3, which proposes that the effectiveness of optimized packaging depends on the alignment between visual elements and category expectations, is supported. Triangulated findings show that category-aligned designs improve perceived quality, whereas mismatched visual cues result in perceptual conflict, misinterpretation, and decreased preference. This pattern is most pronounced in the Vince condition, where visual-based inconsistency leads to negative evaluations despite design intervention.

Collectively, these results show that the effectiveness of optimized packaging is dependent on perceptual consistency, category fit, and the interaction between design and existing cognitive constructs.

CONCLUSIONS AND IMPLICATIONS

This study used both quantitative and qualitative methods to investigate the impact of optimized packaging design on consumer perception. The results show that packaging design, particularly when brand cues are absent, can substantially affect perceived quality as well as purchase intention.

The results additionally reveal that the effectiveness of packaging design is context dependent rather than universal. Although data driven design has the possibility to enhance consumer perception by structured visual and cognitive mechanisms, its influence is constrained because of factors such as category fit, brand dominance, and prior consumer experiences.

The data show that packaging functions not only as a visual communication tool but also as a cognitive interface in which perception, memory, and trust interact to shape buyer decision-making.

Managerial Implications

The results deliver useful advice for brand managers and designers using AI in packaging. Optimized packaging can boost brand recognition and trial, especially for private-label products without strong brand recognition. To work well, data-driven design ought to match visual signals such as color and structure with what people expect for the product category, such as dark tones for dark chocolate. This agreement itself increases trust and purchase intent.

Second, design only works if it suits the context. Even the best AI packaging can fail if it breaks the category's rules or confuses consumers. For example, the Vince case showed that color mismatches may create confusion and lower trust. That's why AI designs should be checked against category rules before hitting the market.

Third, established brands should be careful with major packaging changes. People rely on familiar visual cues and brand memory when they shop, so drastic redesigns can hurt credibility and sales. A gradual update works better—keep core brand elements by using AI to optimize. This aligns with what happened in the Tropicana case, where a major redesign led to sales declines and was quickly reversed (Lee et al., 2010).

Fourth, it's critical to use a Human-in-the-Loop approach with AI design. While AI can optimize visuals, it can miss context and emotional details. Having people review and refine AI outputs keeps designs on target for the category and culture, and helps prevent mistakes that weaken trust.

Finally, AI should be seen as a tool that works best alongside human judgment, brand knowledge, and market context. Companies that combine AI with human expertise can expect more reliable and effective packaging results.

FUTURE PROPOSALS AND LIMITATIONS

These results may not apply to products with different sensory expectations, consumer interests, or buying habits. Since this study centers on private labels, which tend to face lower trust and greater price sensitivity, the findings may not apply to national or premium brands, where brand value is more important.

The small sample and focus group approach gave rich insights; however, it limits how widely we can apply the results. Mixing qualitative and quantitative data adds insight, but future studies should use larger, more diverse samples to further test these outcomes. Because this study relies on self-reported data, people's answers might be affected by after-the-fact reasoning or limited self-awareness, especially when decisions are made subconsciously.

This study used a controlled setting to examine packaging, but real shopping involves additional factors—such as shelf placement, price, and other brands—that can influence decisions. Subsequent studies should use more realistic settings, such as simulated stores or field tests, to more effectively capture real-world behavior.

The AI's training data came from a small, specific group, which may have introduced bias. Subsequent research should use bigger and more varied biometric datasets to make an optimized design more reliable and widely applicable.

The study introduces new concepts, such as perceptual mechanisms (M) and consumer psychology (CP), but these ideas are based on qualitative evidence and have not yet been tested quantitatively. Subsequent research should measure and test them with experiments or surveys to strengthen their validity.

Since the study took place in one cultural context, responses to packaging design may differ elsewhere. Cultural differences in color meanings or product cues mean the results might not apply to other markets without adaptation.
Findings on AI perception and the human-in-the-loop model indicate this is a new area requiring further research. Future studies should examine how humans and AI can work together and how trust in AI designs grows across cultures, technologies, and generations.

Conflict of Interest Statement
The authors represent that they have no known competing financial interests or personal relationships that may have influenced the study reported in this article.

Data Availability Statement
Additional materials supporting this study, including qualitative and quantitative instruments, are available in the Open Science Framework (OSF) repository.
https://osf.io/274rw/overview?view_only=66272dbd1a0c4de9a6d92dc92f9c4e21

Acknowledgements
The authors thank the non-thesis master's students of the Marketing Department at Marmara University (2025–2026 academic year) for their contributions to both qualitative and quantitative data collection.

Footnotes
The authors state that generative AI tools (GPT-5.5 and Gemini 3.1) were used for language editing and sentence refinement purposes. All content was originally developed by the authors and carefully reviewed and revised. The authors take full responsibility for the manuscript. Furthermore, the use of artificial intelligence tools was carried out in accordance with academic ethical principles and relevant publication standards.

REFERENCES
Ampuero, O. and Vila, N. (2006) Consumer Perceptions of Product Packaging. Journal of Consumer Marketing, 23, 100-112. http://dx.doi.org/10.1108/07363760610655032
Ballı, A. (2025). Simultaneous neuroscientific analysis and artificial intelligence-based packaging evaluation platform: Neuropack. Mitteilungen Klosterneuburg. https://doi.org/10.61586/jjyv6
Ballı, A. (2026). Neuro-AI Convergence in packaging design: A multimodal biometric and explainable AI approach. Amfiteatru Economic, 28(71), pp. 256-272. https://doi.org/10.24818/EA/2026/71/256
Clement, J. (2007). Visual influence on in-store buying decisions: an eye-track experiment on the visual influence of packaging design. Journal of Marketing Management, 23(9–10), 917–928. https://doi.org/10.1362/026725707X250395
Cordain, L., Eaton, S. B., Sebastian, A., Mann, N., Lindeberg, S., Watkins, B. A., Brand Miller, J. (2005). Origins and evolution of the Western diet: Health implications for the 21st century. The American Journal of Clinical Nutrition, 81(2), 341–354
Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2007). Designing and conducting mixed methods research. Thousand Oaks, Calif: SAGE Publications.
Dijle, B. O. (2025). Effectiveness of ai-powered packaging design trained with biometric data: a comparative neuromarketing analysis of intuitive and data-driven approaches (Master's thesis, Üsküdar University). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19652428
Fetters, M. D., Curry, L. A., & Creswell, J. W. (2013). Achieving integration in mixed methods designs-principles and practices. Health services research, 48(6 Pt 2), 2134–2156. https://doi.org/10.1111/1475-6773.12117
Grewal, D., Satornino, C. B., Davenport, T., & Guha, A. (2025). How generative AI is shaping the future of marketing. Journal of the Academy of Marketing Science, 53, 702–722. https://doi.org/10.1007/s11747-024-01064-3

Guo, X., Fu, S., & Zhu, D. (2025). Aesthetic quality evaluation of packaging design with graph neural networks and composition features. Scientific Reports, 15(1), 36046. https://doi.org/10.1038/s41598-025-20046-1

Gutiérrez, M. M. G., Perona Páez, J. J., & Gutiérrez Bonilla, F. de P. (2024). Models of brand equity. A systematic and critical review. Cogent Business & Management, 11(1). https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2433168

Gutman, J. (1982). A means–end chain model based on consumer categorization processes. Journal of Marketing, 46(2), 60–72. https://doi.org/10.2307/3203341

Heseker, H. (2012). Dietary recommendations and how they have been communicated in Germany. European Journal of Clinical Nutrition, 66 (1), 6-10.

Ipsos. (2025). The rising tide of PLs: How name brands can stay afloat. https://www.ipsos.com/en/rising-tide-private-labels-how-name-brands-can-stay-afloat

Kahneman, D. (2011). Thinking, fast and slow. Farrar, Straus and Giroux.

Kumar, N. & E.M. Steenkamp (2007), Private Label Strategy. Harvard Business School Press.

Lakshminarayana, K., Kumar, P., Chowdhury, S., & Madhavedi, S. (2024). Role of neuromarketing and artificial intelligence in futuristic marketing approach: An empirical study. Journal of Informatics Education and Research, 4(2). https://doi.org/10.52783/jier.v4i2.809

Leuthesser, L., Kohli, C. S., ve Harich, K. R. (1995). Brand equity: The halo effect measure. European Journal of Marketing, 29(4), 57–66. https://doi.org/10.1108/03090569510086657

Lee, J.Y. & Gao, Z. & B. Mark. (2010). A study of the impact of package changes on orange juice demand. Journal of Retailing and Consumer Services. 17. 487-491. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2010.08.003

Ma, Y., Ailawadi, K. L., Martos-Partal, M., & González-Benito, Ó. (2024). Dual Branding by National Brand Manufacturers: Drivers and Outcomes. Journal of Marketing, 88(3), 69-87. https://doi.org/10.1177/00222429231196575

Mensah, J., Oppong, P. K., & Addae, M. (2022). Effect of Packaging on Perceived Quality and Brand Loyalty: The Mediating Role of Brand Association in Over-the-Counter Market. Open Journal of Business and Management, 10, 297-313. https://doi.org/10.4236/ojbm.2022.101018

Nazrin, N., Merican, F. M. I. M., Taharuddin, N. S., & Ibrahim, N. I. (2025). How AI-generated images impact consumer perceptions and brand identity. Idealogy Journal, 10(1), 291–298. https://doi.org/10.24191/idealogy.v10i1.780

Nizar, M. A. R., Hasan, Z. I., & Rafiah, K. K. (2026). The effects of AI-generated content on consumer perceptions: A structured review and conceptual model. Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS), 5(1), 2800–2807. https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS

NielsenIQ. (2025). Private label and branded products: A changing shelfscape. https://nielseniq.com/global/en/insights/analysis/2025/private-label-branded-shelfscape/

Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). The halo effect: Evidence for unconscious alteration of judgments. Journal of Personality and Social Psychology, 35(4), 250–256. https://doi.org/10.1037/0022-3514.35.4.250

Noor, N., Beram, S., Yuet, F. K. C., Gengatharan, K., & Rasidi, M. S. M. (2023). Bias, Halo Effect and Horn Effect: A Systematic Literature Review. International Journal of Academic Research in Business & Social Sciences, 13(3), 1055 – 1078.

Ooijen, I. van, Fransen, M. L., Verlegh, P. W. J., & Smit, E. G. (2017). Packaging design as an implicit communicator: Effects on product quality inferences in the presence of explicit quality cues. Food Quality and Preference, 62, 71–79. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.06.007

Orth, U. R., & Malkewitz, K. (2008). Holistic Package Design and Consumer Brand Impressions. Journal of Marketing, 72(3), 64-81.

Reynolds, T. J., & Gutman, J. (1988). Laddering theory, method, analysis, and interpretation. Journal of Advertising Research, 28(1), 11–31.

Santos, Natalie & Monteiro, Vera & Mata, Lourdes. (2021). Using MAXQDA in qualitative content analysis: An example comparing single-person and focus group interviews. https://doi.org/10.36192/978-3-948768058

Silayoi, P., & Speece, M. (2007). The importance of packaging attributes: A conjoint analysis approach. European Journal of Marketing, 41(11-12), 1495–1517. https://doi.org/10.1108/03090560710821279

Simmonds, G., & Spence, C. (2017). Thinking inside the box: How seeing products on, or through, the packaging influences consumer perceptions and purchase behavior. *Food Quality and Preference*, *62*, 340–351. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.11.010

Thorndike, E.L. (1920). A constant error in psychological ratings. Journal of Applied Psychology, 4(1), 25–29. https://doi.org/10.1037/h0071663

Underwood, R. L. (2003). The Communicative Power of Product Package: Creating Brand Identity via Lived and Mediated Experience. Journal of Marketing Theory & Practice, 11, 62-76. https://doi.org/10.1080/10696679.2003.11501933

Vivek, R., Nanthagopan, Y., & Piriyatharshan, S. (2023). Beyond methodology: Theoretical foundations of triangulation in qualitative and multi-method research: A literature review. Scientific Studios on Social and Political Psychology, 29(2), 53-62. https://doi.org/10.61727/sssppj/2.2023.53

Yılmaz, H. & Erden, G. (2017). Renklerin Çorbaların Tat Algısı Üzerindeki Etkilerini Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma. Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 5 (2): 265-275.

Zaltman, G. (2003). How customers think: essential insights into the mind of the market. Choice Reviews Online. https://doi.org/10.5860/CHOICE.40-6513

Zhang, L., & Hur, C. (2025). The Impact of Generative AI Images on Consumer Attitudes in Advertising. Administrative Sciences, 15(10), 395. https://doi.org/10.3390/admsci15100395

ALGORİTMİK YÖNETİM VE ÇALIŞAN SESİ: KAVRAMSAL BİR PERSPEKTİF

ALGORITHMIC MANAGEMENT AND EMPLOYEE VOICE: A CONSEPTUAL PERSPECTIVE

Bahar ARABACI
Öğr. Gör. Dr., Kırklareli Üniversitesi, Lüleburgaz Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Reklamcılık Programı, Pazarlama Bölümü
ORCID ID: 0000-0001-5219-9160

ÖZET

Bu bildirinin amacı, dijitalleşen iş yaşamında giderek yaygınlaşan algoritmik yönetim anlayışının çalışan sesi üzerindeki olası etkilerini kavramsal bir çerçevede ele almaktır. Son yıllarda, özellikle platform ekonomileri ve veri temelli yönetim sistemlerinin gelişmesiyle birlikte, çalışanların performansının izlenmesi, değerlendirilmesi ve yönlendirilmesinde algoritmaların giderek daha belirleyici hale geldiği görülmektedir. Bu dönüşüm, çalışanların örgüt içindeki iletişim biçimlerini ve kendilerini ifade etme eğilimlerini yeniden değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada, algoritmik yönetim ve çalışan sesi literatürü birlikte ele alınmış; algoritmik yönetim, dijital emek, çalışan sesi ve çalışan sessizliği kavramlarını içeren çalışmalar tematik bir yaklaşımla incelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda, algoritmik yönetimin çalışan sesi ve sessizliği üzerindeki etkisinin tek yönlü bir baskı mekanizması olmaktan ziyade, çalışanların algoritmik sistemleri nasıl anlamlandırdıklarına bağlı olarak farklı yönlerde şekillenen çok katmanlı bir süreç olduğu görülmüştür. Nitekim, algoritmik sistemlerin çalışanlar tarafından adil, şeffaf ve geri bildirim sağlayan yapılar olarak algılandığı durumlarda çalışan sesinin desteklenebildiği; buna karşılık karar süreçlerinin kapalı ve müdahaleye açık olmayan yapılar olarak değerlendirildiği durumlarda çalışanların seslerinin etkisiz olacağı düşüncesiyle sessizliğe yönelebildikleri anlaşılmaktadır.

Öte yandan, algoritmik yönetimin yalnızca sessizliği üreten bir yapı olmadığı; aynı zamanda çalışanların örgüt içi iletişim kanallarının yetersiz kaldığı durumlarda alternatif ve örgüt dışı ses mekanizmaları geliştirmelerine de zemin hazırladığı görülmektedir. Bu bağlamda çalışanların, seslerini yalnızca yönetime değil, aynı zamanda farklı paydaşlara yönelterek örgüt sınırlarını aşan ve çok yönlü bir ifade biçimi geliştirdikleri anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak, algoritmik yönetim ile çalışan sesi arasındaki ilişkinin; adalet algısı, anlamlılık değerlendirmesi, bilişsel süreçler ve örgütsel bağlam gibi çoklu değişkenler üzerinden şekillenen dinamik bir yapıya sahip olduğu ve bu ilişkinin bütüncül bir perspektifle yeniden ele alınması gerektiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Algoritmik Yönetim, Çalışan Sesi, Çalışan Sessizliği, Dijitalleşme, Platform Ekonomisi

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the potential effects of algorithmic management, which has become increasingly prevalent in the digitalized world of work, on employee voice from a conceptual perspective. In recent years, particularly with the rise of platform economies and data-driven management systems, algorithms have come to play an increasingly decisive role in monitoring, evaluating, and directing employee performance. This transformation calls for a reconsideration of how employees communicate within organizations and how they express themselves. In this context, the literature on algorithmic management and employee voice was examined in an integrated manner. Studies addressing algorithmic management, digital labor, employee voice, and employee silence were reviewed and evaluated through a thematic approach.

The findings suggest that the effects of algorithmic management on employee voice and silence cannot be explained as a one-dimensional mechanism of control. Rather, these effects emerge as a multi-layered process shaped by how employees interpret and make sense of algorithmic systems. In this regard, when algorithmic systems are perceived as fair, transparent, and capable of providing feedback, they may encourage employee voice. Conversely, when decision-making processes are perceived as opaque, closed, and resistant to intervention, employees may turn to silence, assuming that their voice will have little or no impact.

Moreover, when algorithmic decisions are perceived as predetermined and unchangeable, employees may develop a belief that speaking up will not lead to meaningful outcomes, which can constrain voice behavior even before it is enacted.

On the other hand, employees do not remain entirely passive in this process. When organizational communication channels prove insufficient, alternative forms of expression tend to emerge. In this context, employees extend their voice beyond managerial boundaries by engaging with multiple stakeholders, thereby developing a multi-directional form of expression that transcends organizational limits.

In conclusion, the relationship between algorithmic management and employee voice appears to be dynamic and multi-dimensional, shaped by factors such as perceptions of fairness, evaluations of meaningfulness, cognitive processes, and organizational context. Accordingly, this relationship should be reconsidered from a more holistic perspective.

Keywords: Algorithmic Management, Employee Voice, Employee Silence, Digitalization, Platform Economy

TETİK MEKANİZMASININ ETKİNLEŞTİRİLMESİ VE İRAN EKONOMİSİNE ETKİSİ

ACTIVATION OF THE TRIGGER MECHANISM AND ITS IMPACT ON THE IRANIAN ECONOMY

Shahad Yasir Mohsin AL BAKRI
İstanbul Aydın University
ORCID ID: 0009-0002-6067-0092

ÖZET

Bu çalışma, 2015 yılında imzalanan Ortak Kapsamlı Eylem Planı (JCPOA) çerçevesinde tetik mekanizmasının etkinleştirilmesini ve bunun İran ekonomisi üzerindeki etkilerini incelemektedir. Çalışmada öncelikle tetik Mekanizması, nükleer anlaşma bünyesinde yer alan ve yükümlülüklerin ihlali durumunda yaptırımların yeniden yürürlüğe girmesini öngören hukuki ve siyasi bir araç olarak ele alınmaktadır. Ardından JCPOA, yapısal realizm perspektifi çerçevesinde değerlendirilmekte; anlaşma, uluslararası sistemdeki güç dağılımı, güvenlik kaygıları ve stratejik çıkarların bir yansıması olarak yorumlanmaktadır. Çalışmanın devamında, ABD'nin anlaşmadan tek taraflı olarak çekilmesi ve bu kararın hukuki, siyasi ve ekonomik sonuçları analiz edilmektedir. Bu bağlamda, tetik mekanizmasının yeniden gündeme gelmesinin İran ekonomisi üzerindeki etkileri; makroekonomik istikrar, dış ticaret, yabancı yatırımlar, enerji ihracatı ve ulusal para birimi üzerindeki yansımalarıyla birlikte ele alınmaktadır. Çalışma bulguları, tetik mekanizmasının yalnızca teknik bir yaptırım aracı olmadığını, aynı zamanda uluslararası sistemdeki asimetrik güç ilişkilerini pekiştiren stratejik bir düzenleme niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır. Bu yönüyle İran örneği, yeniden uygulamaya konulan yaptırımların ekonomik kırılganlıkları derinleştirdiğini ve devlet davranışlarını sistemik baskılar altında sınırlandırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Tetik Mekanizması, JCPOA, İran Nükleer Anlaşması, Ekonomik Yaptırımlar, İran Ekonomisi, Yapısal Realizm

ABSTRACT

This study examines the activation of the snapback mechanism and its economic implications for Iran within the broader context of the Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA) concluded in 2015. The research first conceptualizes the snapback mechanism as a legal and political instrument embedded in the nuclear agreement, designed to restore international sanctions in cases of non-compliance. It then situates the JCPOA within the framework of structural realism, interpreting the agreement as a reflection of power distribution, security concerns, and strategic interests in the international system rather than a purely cooperative diplomatic achievement. The study further analyzes the United States' unilateral withdrawal from the agreement and evaluates the legal, political, and economic consequences of this decision, particularly regarding the reactivation of sanctions. Special emphasis is placed on the direct and indirect impacts of the snapback mechanism on Iran's economy, including its effects on macroeconomic stability, trade relations, foreign investment, energy exports, and currency valuation. The findings suggest that the snapback mechanism functions not merely as a technical enforcement tool, but as a strategic instrument that reinforces asymmetrical power relations within the international system. In this respect, the Iranian case illustrates how sanctions regimes, when reactivated, deepen economic vulnerabilities and constrain state behavior under conditions of systemic pressure.

Keywords: Snapback Mechanism, JCPOA, Iran Nuclear Agreement, Economic Sanctions, Iranian Economy, Structural Realism.

AB YAPAY ZEKÂ FİNANSMANININ BÖLGESEL ETKİLERİ: ÎLE-DE-FRANCE VE PODKARPACKİE

REGIONAL IMPACTS OF EU ARTIFICIAL INTELLIGENCE FUNDING: ÎLE-DE-FRANCE AND PODKARPACKIE

Merve ÖZTÜRK
Arş. Gör. Dr., Batman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi
ORCID ID: 0000-0001-5902-6588

ÖZET

Avrupa Birliği, dijital dönüşüm ve küresel rekabet gücünü artırma hedefleri doğrultusunda yapay zekâ alanında kapsamlı finansman programları geliştirmiştir. Bu çerçevede Horizon Europe, Digital Europe Programme ve European Regional Development Fund aracılığıyla YZ araştırmaları desteklenmektedir. AB'nin bu politikaları, Avrupa'nın dijital alanda bağımsızlığını güçlendirmeyi ve yenilik kapasitesini artırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışma, AB'nin YZ finansman politikalarının bölgesel düzeyde nasıl bir etki yarattığını incelemektedir. Analiz, yüksek kurumsal kapasiteye sahip bir merkez bölge olan Île-de-France ile Doğu Polonya'da yer alan ve görece sınırlı kurumsal kapasiteye sahip Podkarpackie bölgesi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Araştırmanın temel sorusu, AB'nin rekabetçi ve proje temelli finansman yapısının, merkez ve çevre bölgeler arasında yapısal avantaj farklılıkları yaratıp yaratmadığıdır. Bu bağlamda, YZ finansman mekanizmalarının teknik olarak tüm bölgelere açık olmakla birlikte, yüksek idari kapasiteye ve gelişmiş inovasyon ekosistemine sahip merkez bölgeleri fiilen avantajlı konuma getirdiği ileri sürülmektedir. Sonuç olarak çalışma, AB'nin dijital dönüşüm politikalarının küresel rekabet gücünü artırma potansiyeline sahip olduğunu, ancak proje bazlı rekabetçi finansman yapısının bölgesel asimetrileri yeniden üretebilecek yapısal bir risk barındırdığını ortaya koymaktadır. Bu durum, AB'nin dijital stratejileri ile bölgesel yakınsama hedefleri arasında potansiyel bir uyumsuzluk olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: AB Uyum Politikası, Bölgesel Asimetri, Dijital Dönüşüm, Kurumsal Kapasite, Yapay Zeka Finansmanı

ABSTRACT

The European Union has developed comprehensive funding programs in the field of artificial intelligence in line with its goals of digital transformation and increasing global competitiveness. Within this framework, AI research is supported through Horizon Europe, the Digital Europe Program, and the European Regional Development Fund. The EU's policies aim to strengthen Europe's independence in the digital sphere and increase its innovation capacity. This study examines how the EU's AI funding policies have impacted the regional level. The analysis is conducted using the Île-de-France region, a central region with high institutional capacity, and the Podkarpackie region in eastern Poland, which has relatively limited institutional capacity. The central question of the research is whether the EU's competitive and project-based funding design produces a structural advantage gap between central and peripheral regions. In this context, it is argued that while AI funding mechanisms are technically open to all regions, they effectively place central regions with high administrative capacity and developed innovation ecosystems at an advantage. In conclusion, the study reveals that the EU's digital transformation policies have the potential to increase global competitiveness, but that the project-based competitive financing structure carries a structural risk of reproducing regional asymmetries. This situation highlights the potential tension between the EU's digital strategies and regional convergence goals.

Keywords: EU Harmonization Policy, Regional Asymmetry, Digital Transformation, Institutional Capacity, Artificial Intelligence Financing

GİRİŞ

Son yıllarda yapay zekâ (YZ) teknolojileri, küresel ekonomik rekabetin, teknolojik dönüşümün ve jeopolitik güç mücadelesinin merkezinde yer almaya başlamıştır.

Özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve Çin'in yapay zekâ alanındaki hızlı ilerlemesi, Avrupa Birliği'nin (AB) bu alandaki konumunu güçlendirme ihtiyacını daha görünür hale getirmiştir (Gajewski, 2023). Bu bağlamda AB, dijital dönüşüm stratejileri kapsamında yapay zekâyı ekonomik büyüme, inovasyon kapasitesi ve teknolojik egemenlik açısından stratejik bir alan olarak konumlandırmaktadır (Iuga ve Socol, 2024: 269). Birliğin son yıllarda geliştirdiği European Strategy for Artificial Intelligence, Digital Europe Programme, Horizon Europe ve European Regional Development Fund (ERDF) gibi finansman araçları, Avrupa'da yapay zekâ araştırmalarını desteklemeyi, dijital altyapıyı güçlendirmeyi ve teknoloji temelli inovasyon ekosistemlerini geliştirmeyi amaçlamaktadır (Polyviou ve Zamani, 2022: 152).

AB'nin yapay zekâ politikalarının temel hedeflerinden biri, Avrupa'nın küresel teknoloji rekabetinde geri kalmasını önlemektir (Gajewski, 2023: 84). Bu doğrultuda geliştirilen finansman mekanizmaları, araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin desteklenmesi, veri altyapısının güçlendirilmesi, bilgisayar kapasitesinin artırılması ve yapay zekâ uygulamalarının kamu ve özel sektör tarafından benimsenmesinin teşvik edilmesi gibi çok boyutlu hedefler içermektedir.

AB'nin kuruluşundan itibaren temel hedeflerinden biri, üye devletler ve bölgeler arasındaki ekonomik ve sosyal farklılıkların azaltılması olmuştur. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen bölgesel politika ve uyum politikası araçları, özellikle yapısal fonlar aracılığıyla daha az gelişmiş bölgelerin kalkınmasını desteklemeyi hedeflemektedir. Buna karşın, son yıllarda inovasyon ve teknoloji politikalarının giderek daha rekabetçi finansman mekanizmalarına dayanması, AB'nin inovasyon stratejileri ile bölgesel yakınsama hedefleri arasında potansiyel bir uyumsuzluk yaratabileceğine dair akademik tartışmaları artırmıştır.

Literatürde özellikle araştırma ve inovasyon fonlarının dağılımının kurumsal kapasite, araştırma altyapısı bakımından daha güçlü olan merkez bölgelerde yoğunlaşma eğilimi gösterdiği vurgulanmaktadır (Frole vd., 2011: 1096). Büyük araştırma üniversitelerine, teknoloji şirketlerine ve gelişmiş inovasyon ağlarına sahip bölgeler proje bazlı rekabetçi fonlara erişimde önemli avantajlar elde edebilmektedir. Buna karşılık, kurumsal kapasitesi daha sınırlı olan çevre bölgelerin bu fonlardan yararlanma kapasitesi daha düşük kalabilmektedir (McCarthy, 2000). Bu durum, AB'nin inovasyon politikalarının ekonomik büyümeyi teşvik ederken aynı zamanda bölgesel eşitsizlikleri yeniden üretme riskini de beraberinde getirdiğine işaret etmektedir.

Bu çalışma, AB'nin yapay zekâ finansman politikalarının bölgesel düzeyde nasıl bir etki yarattığını incelemeyi amaçlamaktadır. Analiz, yüksek kurumsal kapasiteye ve gelişmiş bir inovasyon ekosistemine sahip merkez bölge olan Île-de-France ile Doğu Polonya'da yer alan ve görece sınırlı kurumsal kapasiteye sahip çevre bölge olan Podkarpackie üzerinden gerçekleştirilmektedir. Bu iki bölgenin karşılaştırılması, AB'nin yapay zekâ finansman mekanizmalarının farklı kurumsal ve ekonomik bağlamlarda nasıl işlediğini analiz etmeye imkân tanımaktadır. Araştırmanın temel sorusu, AB'nin rekabetçi ve proje bazlı yapay zekâ finansman mekanizmalarının merkez ve çevre bölgeler arasında yapısal bir avantaj farklılaşması üretip üretmediğidir.

ÎLE-DE-FRANCE VE PODKARPACKİE'NİN BÖLGESEL ÖZELLİKLERİ

Çalışma, Avrupa'nın güçlü inovasyon merkezlerinden biri olan Île-de-France ile Doğu Polonya'da yer alan Podkarpackie bölgesi arasında karşılaştırmalı bir incelemeye dayanmaktadır. Bu iki bölgenin seçilmesi, Avrupa Birliği'nin araştırma ve inovasyon finansman mekanizmalarının farklı bölgesel bağlamlarda nasıl işlediğini ortaya koymaktır. Île-de-France yüksek araştırma kapasitesi, güçlü ekonomik yapısı ve gelişmiş inovasyon sistemiyle Avrupa'nın teknoloji merkezlerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Güner, 2020: 372). Podkarpackie ise AB içinde daha sınırlı ekonomik ve kurumsal kapasiteye sahip çevre bölgelerden birini temsil etmektedir (Komornick ve Czapiewski, 2020: 66). Bu nedenle iki bölge arasındaki karşılaştırma, AB'nin yapay zekâ finansman politikalarının merkez ve çevre bölgeler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için uygun bir zemin sunmaktadır.

Île-de-France bölgesi Fransa'nın başkenti Paris'i ve çevresindeki geniş metropol alanını kapsayan bir bölgedir. Avrupa'nın büyük ekonomik merkezlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Vigna, 2023: 701). Bölge, güçlü üniversiteleri, araştırma merkezleri ve teknoloji şirketleriyle Avrupa'daki yoğun inovasyon merkezlerinden birine sahiptir. Sorbonne Üniversitesi, Paris-Saclay Üniversitesi ve çok sayıda araştırma enstitüsü gibi kurumlar bölgedeki bilimsel üretimin önemli aktörleri arasında yer almaktadır.

Bunun yanı sıra uluslararası teknoloji şirketlerinin araştırma ve geliştirme merkezleri ile hızla büyüyen teknoloji girişimleri de bölgedeki inovasyon kapasitesini güçlendirmektedir (Barbier vd., 2019: 33). Yüksek nitelikli işgücü, gelişmiş finansal kaynaklara erişim ve güçlü araştırma altyapısı gibi faktörler Île-de-France'ın Avrupa'daki yapay zekâ araştırmalarında merkezi bir konum elde etmesine katkı sağlamaktadır.

Buna karşılık Podkarpackie bölgesi Polonya'nın güneydoğusunda yer alan ve ekonomik gelişmişlik düzeyi bakımından AB ortalamasının altında bulunan bir bölgedir. Tarihsel olarak sanayileşme düzeyinin görece düşük olması, büyük araştırma merkezlerinin ve teknoloji şirketlerinin sınırlı sayıda bulunması bölgenin inovasyon kapasitesini etkileyen temel faktörler arasında yer almaktadır (Martyka vd., 2022: 6-7). Podkarpackie Voyvodalığı, literatürde genellikle Polonya'nın ulusal merkezine kıyasla daha az gelişmiş bölgelerinden biri olarak nitelendirilmektedir. Kişi başına düşen GSYİH'si daha düşüktür ve özellikle geçiş sonrası dönemin başlarında sürekli yapısal zorluklarla karşı karşıya kalmıştır. Podkarpackie bölgesi, Subkarpatya (Podkarpackie) Voyvodalığı'ndaki Polonya'nın yüksek teknoloji havacılık sektörünün çekirdeğini oluşturan Havacılık Vadisi (Dolina Lotnicza) olarak bilinen önemli bir havacılık endüstrisi kümesine ev sahipliği yapmaktadır. Küme, bölgede yoğunlaşmış firmalar, tedarikçiler, araştırma kuruluşları ve destekleyici kurumlardan oluşan yoğun bir ağdan oluşmaktadır. Bu durum Podkarpackie'yi havacılık üretimi ve ilgili hizmetlerin ulusal merkezi konumuna getirmektedir (Runiewicz-Wardyn, 2022: 139). Havacılık Vadisi, Polonya'nın yüksek teknoloji kümesi ve Orta Avrupa'da bölgesel kümelenmenin önde gelen örneği olarak gösterilmektedir (Wysock, 2019: 114). Küme, bölgesel inovasyonu teşvik eden ve ulusal ile AB programları kapsamında iş birliğini destekleyen bir politika ortamında faaliyet göstermektedir. Bu çerçevede kamu otoriteleri ve bölgesel kalkınma ajansları, havacılık sektörünü tamamlayıcı nitelikteki bilgi teknolojileri, Ar-Ge ve endüstriyel modernizasyon alanlarını desteklemektedir (Cierpiał-Wolan vd., 2021: 19). Podkarpackie belirli alanlarda özellikle havacılık sanayi kümelenmesi ile dikkat çekmekle birlikte, ileri teknoloji araştırmaları ve yapay zekâ gibi alanlarda güçlü bir araştırma altyapısına sahip değildir (Zawada, 2019: 112-113). Podkarpackie, araştırma yoğunluğu düşük bir çevre bölgesidir. Ancak sadece belirli alanlarda yenilik faaliyetleri ve akıllı uzmanlaşma çabaları görülmektedir (Kwasny, 2019: 113). Podkarpackie, Polonya'nın merkez bölgelerine kıyasla daha düşük araştırma yoğunluğu ve inovasyon kapasitesine sahip bir çevre bölgesi olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, bölgede artan yenilik faaliyetleri ve RIS3 kapsamında akıllı uzmanlaşma çabaları (özellikle BİT alanında) dikkat çekmektedir. Ancak yaşam bilimleri, yapay zekâ ve ileri araştırma alanlarında hem önde gelen Polonya bölgelerine hem de AB ortalamasına kıyasla önemli zayıflıklar devam etmektedir (Dziedzic, 2014: 120).

Bu yapısal farklılıklar, AB'nin rekabetçi araştırma ve inovasyon fonlarının bölgesel dağılımı açısından önemli sonuçlar doğurmaktadır. Güçlü araştırma altyapısına ve gelişmiş inovasyon ağlarına sahip bölgeler, rekabetçi proje çağrılarına daha etkin şekilde katılabilmektedir. Buna karşılık araştırma kapasitesi daha sınırlı olan bölgeler için bu tür fonlara erişim daha zor olabilmektedir. Bu nedenle Île-de-France ve Podkarpackie arasındaki karşılaştırma, AB'nin yapay zekâ finansman mekanizmalarının yalnızca teknoloji ve inovasyon politikaları açısından değil, aynı zamanda bölgesel kalkınma ve mekânsal eşitsizlikler bağlamında da değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Araştırma kapsamında AB'nin yapay zekâ araştırma ve inovasyon faaliyetlerini destekleyen başlıca finansman araçları olan Horizon Europe, Digital Europe Programme ve Avrupa Bölgesel Kalkınma Fonu çerçevesinde iki farklı bölgesel yapı karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Analiz, yüksek kurumsal kapasiteye ve güçlü bir inovasyon ekosistemine sahip Île-de-France ile Doğu Polonya'da yer alan ve görece daha sınırlı araştırma kapasitesine sahip Podkarpackie bölgesine odaklanmaktadır.

Araştırma bulguları, Île-de-France bölgesinin Avrupa'daki güçlü araştırma ve inovasyon merkezlerinden biri olduğunu göstermektedir. Paris merkezli bu bölge, güçlü üniversiteler, araştırma enstitüleri ve teknoloji şirketlerinin yoğunlaştığı bir inovasyon ekosistemine sahiptir. Bölgede yer alan araştırma kurumları ve uluslararası teknoloji firmalarının Ar-Ge merkezleri, yapay zekâ araştırmaları açısından önemli bir bilimsel ve teknolojik kapasite oluşturmaktadır. Ayrıca yüksek nitelikli insan kaynağı, güçlü araştırma altyapısı ve uluslararası araştırma ağlarına erişim gibi faktörler, bölgenin rekabetçi araştırma fonlarından yararlanma kapasitesini artırmaktadır. Bu durum, Île-de-France'ın AB'nin araştırma ve inovasyon programlarında önemli bir yer edinmesine katkı sağlamaktadır.

Buna karşılık Podkarpackie bölgesi, araştırma altyapısı ve inovasyon kapasitesi bakımından daha sınırlı bir yapıya sahiptir. Araştırma kurumlarının sayısının sınırlı olması, uluslararası araştırma ağlarına katılımın daha düşük düzeyde kalması ve proje geliştirme kapasitesinin görece zayıf olması gibi faktörler, bölgenin rekabetçi AB fonlarına erişimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle Podkarpackie gibi çevre bölgelerde AB finansmanı çoğunlukla bölgesel kalkınma araçları ve altyapı yatırımları aracılığıyla gerçekleşmektedir (Lewandowska ve Švihlíková, 2020: 221).

Bu bulgular, AB'nin yapay zekâ finansman mekanizmalarının teknik olarak tüm bölgelere açık olmasına rağmen gelişmiş inovasyon ağlarına sahip bölgelerde yoğunlaşma eğilimi gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, inovasyon faaliyetlerinin belirli merkezlerde yoğunlaşmasına ve bölgesel kapasite farklılıklarının devam etmesine yol açabilmektedir.

SONUÇ

Araştırma bulguları, güçlü araştırma altyapısına, gelişmiş inovasyon ağlarına ve yüksek kurumsal kapasiteye sahip merkez bölgelerin rekabetçi araştırma fonlarına erişim açısından önemli bir avantaj elde ettiğini ortaya koymaktadır. Île-de-France örneğinde görüldüğü üzere, güçlü üniversiteler, araştırma merkezleri ve teknoloji şirketlerinin oluşturduğu inovasyon sistemi, bölgenin AB araştırma programlarında daha aktif bir rol oynamasına katkı sağlamaktadır. Buna karşılık Podkarpackie gibi çevre bölgelerde araştırma kapasitesinin daha sınırlı olması, rekabetçi araştırma fonlarına erişimi zorlaştırmaktadır.

Bu durum, AB'nin dijital dönüşüm politikalarının küresel rekabet gücünü artırma açısından önemli bir potansiyel taşımasına rağmen, bölgesel düzeyde eşitsiz sonuçlar üretme riskini de beraberinde getirdiğini göstermektedir. Rekabetçi finansman mekanizmaları, mevcut araştırma kapasitesi yüksek olan bölgelerde inovasyon faaliyetlerinin daha da yoğunlaşmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla AB'nin teknoloji ve inovasyon politikalarının tasarımında rekabetçi mükemmeliyet yaklaşımı ile bölgesel yakınsama hedefleri arasında daha dengeli bir ilişki kurulması önem taşımaktadır.

Sonuç olarak çalışma, AB'nin yapay zekâ finansman politikalarının yalnızca teknolojik gelişme ve inovasyon kapasitesi açısından değil, aynı zamanda bölgesel kalkınma ve mekânsal eşitsizlikler bağlamında da değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecekte yapılacak çalışmaların daha geniş veri setleri ve nicel analiz yöntemleri kullanarak farklı Avrupa bölgelerinde yapay zekâ yatırımlarının dağılımını incelemesi, bu alandaki akademik literatüre önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Barbier, C., Cuny, C., & Raimbault, N. (2019). The production of logistics places in France and Germany: a comparison between Paris, Frankfurt-am-Main and Kassel. Work Organisation Labour & Globalisation, 13(1).

Cierpiał-Wolan, M., Wierzbiński, B., & Twaróg, D. (2021). The Use of the Local and Regional Potential in Building Energy Independence—Polish and Ukraine Case Study. Energies, 14(19), 6118.

Dziedzic, S. (2014). Nowe podejście do tworzenia krajowych i regionalnych strategii innowacji–koncepcja inteligentnej specjalizacji (RIS3). Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, (366), 119-128.

Farole, T., Rodríguez-Pose, A., & Storper, M. (2011). Cohesion Policy in the European Union: Growth, Geography, Institutions. JCMS Journal of Common Market Studies, 49(5), 1089-1111.

Gajewski, T. (2023). European Union at the Dawn of Technological Cold War. Torun International Studies, 1(18), 83-101.

Güner, O. (2020). Innovative Competitiveness of France's Science and Research Infrastructure in the European Union. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20(2), 365-388.

Iuga, I. C. and Socol, A. (2024). Government Artificial Intelligence Readiness and Brain Drain: Influencing Factors and Spatial Effects in the European Union Member States. Journal of Business Economics and Management, 25(2), 268-296.

Komornicki, T., & Czapiewski, K. (2020). Economically Lagging Regions and Regional Development—Some Narrative Stories from Podkarpackie, Poland. In Responses to geographical marginality and marginalization: From social innovation to regional development (pp. 65-83). Cham: Springer International Publishing.

Kwasny, J., Mroczek, A., & Ulbrych, M. (2019). Industrial Clustering and Economic Performance. In Search for Evidence From Poland. Ekonomicko-Manazerske Spektrum, 13(1), 109-119.

Lewandowska, A. and Švihlíková, I. (2020). Regional Innovation System in the Podkarpackie against selected Polish and EU regions. Journal of International Studies, 13(2), 212-223.

Martyka, A., Jopek, D., & Skrzypczak, I. (2022). Analysis of the sustainable development index in the communes of the Podkarpackie Voivodeship: A Polish case study. Sustainability, 14(16), 10237.

McCarthy, L. (2000). European Economic Integration and Urban Inequalities in Western Europe. Environment and Planning a Economy and Space, 32(3), 391-410.

Polyviou, A. and Zamani, E. D. (2022). Are we Nearly There Yet? A Desires & Realities Framework for Europe's AI Strategy. Information Systems Frontiers, 25(1), 143-159.

Runiewicz-Wardyn, M. (2022). The Role of Proximity in Technology Dynamics of High-Tech Industries: the Case of Biotechnology and Aviation Industries. Triple Helix Journal, 9(2), 138-173.

Sovacool, B. K. (2012). Energy security: challenges and needs. Wiley Interdisciplinary Reviews Energy and Environment, 1(1), 51-59.

Vigna, N. (2023). Subjective social status in places that don't matter: geographical inequalities in France and Germany. European Societies, 25(5), 693-720.

Wysocki, A. (2019). Humanity, Agency and the Transcendent Concern. Seminare Poszukiwania Naukowe, 2019(40)(nr 4), 93-116.

Zawada, P. (2019). The Central Industrial District as an Example of the Sociological Imagination of its Creators. Seminare Poszukiwania Naukowe, 2019(40)(nr 4), 103-116.

AVRUPA BİRLİĞİ'NİN ENERJİ GÜVENLİĞİNDE NÜKLEER ENERJİNİN YENİDEN ROLÜ: FRANSA ÖRNEĞİ

THE NEW ROLE OF NUCLEAR ENERGY IN THE EUROPEAN UNION'S ENERGY SECURITY: THE CASE OF POLAND

Merve ÖZTÜRK
Arş. Gör. Dr., Batman Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi,Siyaset Bilimi ve Kamu Yönetimi
ORCID ID: 0000-0001-5902-6588

ÖZET

Son yıllarda Avrupa Birliği'nin enerji politikası, enerji güvenliği, arz çeşitlendirmesi ve karbon nötrlük hedefleri doğrultusunda yeniden şekillenmektedir. Özellikle Rusya-Ukrayna Savaşı sonrasında derinleşen enerji arz krizi, AB'nin dışa bağımlılığını azaltma ve stratejik otonomi kapasitesini güçlendirme yönündeki politikalarını hızlandırmıştır. Bu süreçte nükleer enerji, uzun süredir devam eden tartışmalara rağmen, düşük karbonlu bir enerji kaynağı olarak yeniden AB gündeminde yer almıştır. AB'nin 2050 karbon nötrlük hedefi ve Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde nükleer enerji, bazı üye devletler tarafından enerji güvenliği ile iklim hedeflerini eş zamanlı gerçekleştirebilecek stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Bu süreçte Fransa, AB içinde nükleer enerji alanında norm belirleyici ve lider aktör olarak öne çıkmaktadır. Elektrik üretiminin büyük bir kısmını nükleer enerjiden sağlayan Fransa, enerji arz güvenliğini büyük ölçüde yerli nükleer kapasitesi üzerinden sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı, AB'de nükleer enerjinin yeniden yükselişini Fransa örneği üzerinden değerlendirmektir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Güvenliği, Nükleer Enerji, Stratejik Otonomi, Avrupa Yeşil Mutabakatı, Fransa Enerji Politikası

ABSTRACT

In recent years, the European Union's energy policy has been reshaped in line with energy security, supply diversification, and carbon neutrality goals. The deepening energy supply crisis, particularly following the Russia-Ukraine War, has accelerated the EU's policies aimed at reducing external dependence and strengthening its strategic autonomy. In this process, nuclear energy has re-emerged on the EU agenda as a low-carbon energy source, despite ongoing debates. Within the framework of the EU's 2050 carbon neutrality target and the European Green Deal, nuclear energy is considered by some member states as a strategic tool that can simultaneously achieve energy security and climate goals. In this process, France stands out as a norm-setting and leading actor in the field of nuclear energy within the EU. France, which generates a large portion of its electricity from nuclear energy, largely ensures its energy supply security through its domestic nuclear capacity. The aim of this study is to evaluate the resurgence of nuclear energy in the EU through the example of France.

Keywords: Energy Security, Nuclear Energy, Strategic Autonomy, European Green Deal, France Energy Policy

GİRİŞ

Enerji güvenliği, Avrupa Birliği'nin uzun süredir gündeminde olan temel politika alanlarından biridir. Sanayileşmiş ekonomilerin sürdürülebilir olması için kesintisiz, güvenilir ve uygun maliyetli enerji arzının sağlanması önemlidir (Goldthau ve Youngs, 2023: 116). Avrupa Birliği açısından enerji güvenliği yalnızca ekonomik bir mesele değil, aynı zamanda jeopolitik ve stratejik bir konudur. Birlik üyesi ülkelerin önemli ölçüde dış enerji kaynaklarına bağımlı olması, enerji politikalarını dış politika ve güvenlik politikalarıyla yakından bağlantılı hale getirmektedir. Bu nedenle AB enerji politikalarının temel hedeflerinden biri, enerji arz güvenliğinin sağlanması ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesidir (Maltby, 2013).

Avrupa Birliği enerji güvenliğini güçlendirmek amacıyla uzun yıllardır farklı stratejiler geliştirmektedir. Enerji arzının çeşitlendirilmesi, yeni enerji tedarikçilerinin bulunması, enerji altyapısının güçlendirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılması bu stratejilerin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Häfner ve Raimondi, 2020: 377).

Özellikle 2000'li yıllardan itibaren AB enerji politikalarında enerji piyasalarının entegrasyonu, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir enerji sistemlerine geçiş gibi hedefler öne çıkmıştır. Bununla birlikte Birliğin enerji ihtiyacının önemli bir bölümünün ithalata dayanması, enerji güvenliği tartışmalarının AB politikalarının merkezinde yer almaya devam etmesine neden olmaktadır.

AB enerji politikalarının gelişim sürecinde nükleer enerji önemli ancak tartışmalı bir rol oynamıştır. Avrupa'da bazı ülkeler nükleer enerjiyi enerji güvenliğinin önemli bir unsuru olarak görürken, bazı ülkeler çevresel ve güvenlik kaygıları nedeniyle nükleer enerjiye karşı daha temkinli bir yaklaşım benimsemiştir (Tezcan, 2025: 25). Bu durum AB içinde nükleer enerji konusunda farklı ulusal politikaların ortaya çıkmasına yol açmıştır. Örneğin Fransa enerji üretiminde büyük ölçüde nükleer enerjiye dayanırken, Almanya nükleer enerjiden aşamalı olarak çıkma kararı almıştır. Son yıllarda Avrupa Birliği'nin iklim değişikliği ile mücadele ve karbon emisyonlarını azaltma hedefleri doğrultusunda yürütülen yeşil dönüşüm politikaları da enerji sistemlerinde önemli değişimlere yol açmıştır. Avrupa Yeşil Mutabakatı çerçevesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının artırılması ve fosil yakıt kullanımının azaltılması hedeflenmektedir. Ancak bu süreçte nükleer enerjinin rolü konusunda AB içinde tartışmalar yaşanmaktadır.

Enerji güvenliği tartışmalarının yeniden gündeme gelmesinde Rusya-Ukrayna savaşı önemli bir dönüm noktası olmuştur (Sezer, 2024: 162). 2022 yılında başlayan savaş, Avrupa'nın Rusya'dan ithal ettiği doğal gaz ve petrol kaynaklarına olan bağımlılığını sorgulamasına neden olmuştur. Bu durum AB ülkelerini enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye ve enerji üretiminde alternatif seçenekleri yeniden değerlendirmeye yöneltmiştir. Bu bağlamda nükleer enerji, özellikle enerji arz güvenliği ve karbon emisyonlarının azaltılması hedefleri açısından yeniden tartışılan bir enerji kaynağı haline gelmiştir.

Bu gelişmeler ışığında Avrupa Birliği'nin enerji güvenliği stratejisinde nükleer enerjinin rolü yeniden önem kazanmıştır (Młynarski, 2017: 198). Özellikle nükleer enerji kapasitesine sahip olan Fransa, AB içinde nükleer enerjinin enerji güvenliği ve enerji dönüşümü açısından önemli bir araç olduğunu savunan ülkelerin başında gelmektedir (Strunz vd., 2014: 250). Bu çalışma, AB enerji güvenliği tartışmaları bağlamında nükleer enerjinin yeniden gündeme gelmesini incelemekte ve Fransa'nın bu süreçteki rolünü analiz etmeyi amaçlamaktadır.

AVRUPA BİRLİĞİ ENERJİ GÜVENLİĞİNDE FRANSA'NIN ROLÜ

Fransa, Avrupa Birliği içinde nükleer enerjiye en fazla yatırım yapan ve enerji üretiminde nükleer enerjiye en yüksek oranda bağımlı olan ülkelerden biridir. Fransa nükleer enerji konusunda dünyadaki en önemli ülkelerden biridir (Harunoğulları, 2019: 121). Bu durum hem enerji güvenliği hem de enerji politikaları açısından Fransa'ya stratejik bir avantaj sağlamaktadır. 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleri sonrasında Fransa enerji güvenliğini sağlamak amacıyla kapsamlı bir nükleer enerji programı başlatmıştır. Bu politika çerçevesinde ülke genelinde çok sayıda nükleer enerji santrali kurulmuştur. Zaman içinde Fransa Avrupa'nın en büyük nükleer enerji üreticilerinden biri haline gelmiştir.

Fransa'nın elektrik üretiminin yaklaşık %65–70'i nükleer enerjiden elde edilmektedir (Maïzi ve Assoumou, 2014: 849). Bu oran, dünyadaki en yüksek nükleer enerji kullanım oranlarından biridir. Bu santrallerin büyük çoğunluğu devlet enerji şirketi Électricité de France (EDF) tarafından işletilmektedir (Glachant ve Finon, 2005: 184). Fransa'nın nükleer santralleri ülkenin farklı bölgelerinde yer almakta ve elektrik üretiminin büyük bölümünü sağlamaktadır. Nükleer enerji sayesinde Fransa hem enerji ithalatına olan bağımlılığını azaltmakta hem de düşük karbon emisyonlu elektrik üretimi gerçekleştirmektedir. Bu nedenle Fransa, Avrupa'da karbon emisyonu düşük elektrik üretiminde en başarılı ülkelerden biri olarak gösterilmektedir.

Fransa ayrıca yalnızca kendi enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp Avrupa'nın en büyük elektrik ihracatçılarından biri konumundadır (Lebrouhi vd., 2022: 2). Özellikle Almanya, İtalya, Belçika ve İspanya gibi ülkelere elektrik ihraç etmektedir. Bu durum Fransa'nın Avrupa enerji piyasasında önemli bir aktör olmasına katkı sağlamaktadır.

Son yıllarda Fransa hükümeti nükleer enerji yatırımlarını sürdürmeyi planlamaktadır. Özellikle yeni nesil EPR (European Pressurized Reactor) reaktörlerinin inşa edilmesi ve mevcut santrallerin modernize edilmesi gündemdedir (Boccard, 2014). Bu politikalar Fransa'nın hem enerji güvenliğini güçlendirmeyi hem de Avrupa'nın enerji dönüşüm sürecinde önemli bir rol oynamayı hedeflediğini göstermektedir.

Fransa'nın güçlü nükleer enerji altyapısı, ülkenin Avrupa enerji piyasasında önemli bir konuma sahip olmasını sağlamaktadır.

Fransa yalnızca kendi enerji ihtiyacını karşılamakla kalmayıp aynı zamanda diğer Avrupa ülkelerine elektrik ihraç eden bir ülke konumundadır. Bu durum Fransa'nın AB enerji politikaları içinde önemli bir aktör haline gelmesine katkı sağlamaktadır. Nükleer enerji sayesinde Fransa hem enerji arz güvenliğini güçlendirmekte hem de düşük karbon emisyonlu enerji üretimi konusunda Avrupa'nın önde gelen ülkelerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Zimmermann ve Keles, 2023: 3).
Fransa ayrıca AB enerji politikalarında nükleer enerjinin stratejik bir enerji kaynağı olarak kabul edilmesi gerektiğini savunan ülkelerden biridir. Fransız hükümeti, nükleer enerjinin enerji güvenliği, enerji bağımsızlığı ve iklim hedeflerine ulaşılması açısından önemli bir rol oynadığını vurgulamaktadır. Bu nedenle Fransa, AB düzeyinde yürütülen enerji politikalarında nükleer enerjinin sürdürülebilir enerji kaynakları arasında değerlendirilmesini desteklemektedir. Özellikle son yıllarda Avrupa'da yaşanan enerji krizi ve enerji arzına ilişkin belirsizlikler, Fransa'nın nükleer enerji konusundaki politikalarının AB içinde daha fazla dikkat çekmesine neden olmuştur. Fransa, nükleer enerjiyi enerji güvenliği açısından güvenilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirmekte ve AB enerji stratejilerinde bu enerji kaynağının daha güçlü bir şekilde yer alması gerektiğini savunmaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma, Avrupa Birliği'nin enerji güvenliği politikaları çerçevesinde nükleer enerjinin yeniden gündeme gelmesini ve Fransa'nın bu süreçteki rolünü incelemektedir. Araştırma kapsamında AB enerji politikaları, enerji güvenliği stratejileri ve nükleer enerji politikaları literatürü analiz edilmiştir. Ayrıca Fransa'nın enerji politikaları ve nükleer enerji kapasitesi üzerine yapılan akademik çalışmalar değerlendirilmiştir.
Araştırma bulguları, nükleer enerjinin Avrupa Birliği'nin enerji güvenliği tartışmalarında yeniden önemli bir yer kazandığını göstermektedir. Özellikle Rusya-Ukrayna Savaşı sonrasında Avrupa'nın enerji arz güvenliği konusundaki kaygıları artmıştır (Battır ve Yiğittepe, 2023: 551). Enerji politikalarında alternatif kaynakların önemi daha fazla vurgulanmaya başlanmıştır. Bu bağlamda nükleer enerji, düşük karbon emisyonu ve sürekli enerji üretimi sağlayabilmesi nedeniyle enerji güvenliği açısından önemli bir seçenek olarak değerlendirilmektedir.
Araştırma ayrıca Fransa'nın AB içinde nükleer enerjinin savunucusu konumunda olduğunu ortaya koymaktadır. Fransa'nın güçlü nükleer enerji kapasitesi, ülkenin AB enerji politikalarında önemli bir aktör olmasını sağlamaktadır. Fransa, nükleer enerjinin enerji dönüşümü ve enerji güvenliği açısından önemli bir rol oynadığını savunarak AB düzeyinde yürütülen enerji politikalarına yön vermeye çalışmaktadır.

SONUÇ

Enerji güvenliği, Avrupa Birliği'nin ekonomik ve politik istikrarı açısından kritik bir politika alanı olmaya devam etmektedir. Rusya-Ukrayna savaşı sonrasında ortaya çıkan enerji krizi, AB ülkelerini enerji politikalarını yeniden değerlendirmeye ve enerji kaynaklarını çeşitlendirmeye yöneltmiştir. Bu süreçte nükleer enerji, enerji arz güvenliği ve düşük karbon emisyonu hedefleri açısından yeniden önemli bir enerji kaynağı olarak gündeme gelmiştir.
Fransa'nın güçlü nükleer enerji altyapısı ve enerji üretiminde nükleer enerjiye dayalı stratejisi, ülkenin Avrupa Birliği enerji politikalarında önemli bir aktör haline gelmesine katkı sağlamaktadır. Fransa, nükleer enerjinin enerji güvenliği ve iklim hedefleri açısından önemli bir rol oynadığını savunarak AB içinde bu enerji kaynağının daha fazla desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.
Sonuç olarak, Avrupa Birliği enerji güvenliği stratejilerinde nükleer enerjinin rolü önümüzdeki dönemde daha fazla tartışılmaya devam edecektir. Özellikle enerji arz güvenliği, karbon emisyonlarının azaltılması ve enerji dönüşümü hedefleri göz önüne alındığında, nükleer enerji AB enerji politikalarında önemli bir seçenek olarak varlığını sürdürmeye devam edecektir.

KAYNAKÇA

Goldthau, A. and Youngs, R. (2023). The EU Energy Crisis and a New Geopolitics of Climate Transition. *JCMS Journal of Common Market Studies, 61*(S1), 115-124.
Maltby, T. (2013). European Union energy policy integration: A case of European Commission policy entrepreneurship and increasing supranationalism. *Energy Policy, 55*, 435-444.

Häfner, M. and Raimondi, P. P. (2020). Priorities and challenges of the EU energy transition: From the European Green Package to the new Green Deal. *Russian Journal of Economics, 6*(4), 374-389.

Tezcan, G. (2025). Geçmişten Günümüze Avrupa Birliği'nde Nükleer Enerji. *Journal of Diplomatic Research, 7*(2), ss. 24-38.

Sezer, S. (2024). Rusya-Ukrayna Savaşı'nın jeopolitik sonuçları. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *17*(1), 158-180.

Młynarski, T. (2017). Nuclear energy and its contribution to the energy and climate security of European Union. *Humanities and Social Sciences, vol. XXII*, 24, 197-212.

Strunz, S., Gawel, E., Lehmann, P., Ribera, T., Rüdinger, A., Boscheck, R., … & Jong, J. d. (2014). *Energy policy: European, national, regional?. Intereconomics, 49*(5), 244-267.

Harunoğulları, M. (2019). Nükleer Enerji ve Geleceği, *Coğrafi Bilimler Dergisi/ Turkish Journal of Geographical Sciences, 17*(1), 110-145.

Schweitzer, J. and Mix, T. L. (2021). 'It Is a Tradition in the Nuclear Industry . . . Secrecy': Political Opportunity Structures and Nuclear Knowledge Production in France. *Sociological Research Online, 27*(2), 504-524.

Maïzi, N., & Assoumou, E. (2014). Future prospects for nuclear power in France. *Applied Energy*, *136*, 849-859.

Glachant, J. M., & Finon, D. (2005). A competitive fringe in the shadow of a state owned incumbent: the case of France. *The Energy Journal*, *26*(1_suppl), 181-204.

Lebrouhi, B. E., Schall, É., Lamrani, B., Chaibi, Y., & Kousksou, T. (2022). Energy Transition in France. *Sustainability, 14*(10), 5818.

Battır, O., & Yiğittepe, L. (2023). Rusya-Ukrayna savaşında yaptırımlar ve enerji güvenliği; karşılıklı ekonomik bağımlılıklar perspektifinden bir değerlendirme. *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, *30*(3), 549-573.

Boccard, N. (2014). The cost of nuclear electricity: France after Fukushima. *Energy Policy*, 66, 450-461.

Zimmermann, F. and Keles, D. (2023). State or market: Investments in new nuclear power plants in France and their domestic and cross-border effects. Energy Policy, 173, 113403.

VERİ GAZETECİLİĞİ HABERLERİNDE GAZZE
GAZA IN DATA JOURNALISM REPORTS

Aslıhan ZİNDEREN
Doç. Dr., Atatürk University, Faculty of Communication, Department of Journalism
ORCID ID: 0000-0001-6761-4160

ÖZET
Bu çalışma, İsrail–Filistin Savaşı sürecinde Gazze'de yaşanan yıkımın veri gazeteciliği aracılığıyla nasıl sunulduğunu incelemektedir. Savaş dönemlerinde habercilik çoğunlukla hızlı, anlık ve olay odaklı bilgi üretimine dayanırken, veri gazeteciliği zaman, teknik üretim ve sistematik doğrulama gerektiren bir anlatı pratiği sunmaktadır. Bu araştırma, söz konusu zamansal farklılığı dikkate alarak veri gazeteciliğinin savaşın yarattığı yıkımı hangi boyutlarıyla ele aldığını ve nasıl bir bütünlük içinde sunduğunu sorgulamaktadır. Amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen üç veri gazeteciliği haberi, nitel çoklu vaka çalışması yaklaşımı çerçevesinde incelenmiş; veri çözümleme sürecinde nitel içerik analizi uygulanmıştır. Haberler, kullanılan veri türleri, görselleştirme stratejileri, anlatı kurgusu bakımından sistematik olarak kodlanmıştır. Bulgular, veri gazeteciliğinin yıkımı yalnızca anlık gelişmeler üzerinden değil, mekânsal dağılımı, zamansal sürekliliği ve toplumsal etkileriyle birlikte ele aldığını; böylece savaş dönemine özgü hızlı ve parçalı haber üretiminden ayrışan daha bağlamsal ve bütüncül bir görünürlük sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle çalışma, veri gazeteciliğinin kriz ve savaş dönemlerinde derinlikli ve sürekli bir anlatı inşası oluşturma kapasitesine dair teorik tartışmalara katkı sunarak literatürdeki boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.
Anahtar Kelimeler: Veri Gazeteciliği, Gazze, Haber, Savaş Haberciliği

ABSTRACT
This study examines how the destruction experienced in Gaza during the Israel–Palestine War was presented through data journalism. While journalism in wartime contexts predominantly relies on rapid, immediate, and event-oriented information production, data journalism offers a narrative practice that requires time, technical production, and systematic verification. Taking this temporal distinction into account, the research questions the dimensions through which data journalism addresses the destruction caused by war and how it presents this destruction within a coherent and integrated framework. Three data journalism reports selected through purposive sampling were analyzed within the framework of a qualitative multiple case study approach; qualitative content analysis was employed in the data analysis process. The reports were systematically coded in terms of the types of data used, visualization strategies, and narrative construction. The findings reveal that data journalism addresses destruction not only through immediate developments but also by incorporating its spatial distribution, temporal continuity, and societal impacts; thus, it provides a more contextualized and holistic visibility that diverges from the rapid and fragmented news production characteristic of wartime reporting. In this respect, the study aims to fill a gap in the literature by contributing to theoretical discussions on the capacity of data journalism to construct in-depth and sustained narratives in times of crisis and war.
Keywords: Data Journalism, Gaza, News, War Reporting

GİRİŞ
Savaş ve çatışma dönemlerinde haber üretimi, tarihsel olarak hız, anlık bilgi ve olay odaklılık ilkeleri etrafında biçimlenmiştir. Buna karşın dijital teknolojilerin ve açık veri kaynaklarının yaygınlaşmasıyla birlikte veri gazeteciliği, çatışma haberlerinde farklı bir anlatı pratiği olarak öne çıkmaya başlamıştır. Uydu görüntüleri, coğrafi veri tabanları, açık kaynak istihbaratı (OSINT) ve kültürel verinin bir arada kullanıldığı bu pratik, olay merkezli anlık habercilikten bağlamsal, sistematik ve sürekli bir belgeleme anlayışına doğru bir dönüşümü temsil etmektedir.
İsrail–Filistin Savaşı bağlamında Gazze, bu dönüşümün en çarpıcı biçimde gözlemlendiği coğrafyalar arasında yer almaktadır. Uluslararası medya kuruluşları, bölgeye doğrudan erişimin son derece sınırlı kaldığı koşullarda veri odaklı görsel araştırmacılık yöntemlerine başvurmuş ve böylece veri gazeteciliği, geleneksel savaş muhabirliğini tamamlayan işlevsel bir gazetecilik pratiğine dönüşmüştür.

Bu çalışma, söz konusu pratiği Reuters, The Guardian ve Kontinentalist tarafından üretilen seçili örnekler üzerinden sistematik biçimde çözümlemeyi amaçlamaktadır.
Çalışmanın temel sorusu şudur: Veri gazeteciliği, Gazze'deki yıkımı hangi boyutlarıyla görünür kılmakta ve bu görünürlüğü nasıl bir anlatı rejimi aracılığıyla üretmektedir? Bu soruya yanıt ararken çalışma, veri gazeteciliğinin savaş haberciliğinden ayrıştığı epistemolojik ve anlatısal boyutlara odaklanmaktadır.
Veri gazeteciliği, farklı disiplinlerin yetkinliklerini —veri görselleştirme, bilgisayar bilimi ve istatistik— gazetecilikle harmanlayan, bilgisayar destekli habercilik geleneğinden doğmuş ancak dijitalleşmeyle köklü biçimde dönüşüm geçirmiş bir habercilik pratiği olarak tanımlanmaktadır. Coddington (2015), bu alandaki kavramsal karmaşayı gidermek amacıyla bilgisayar destekli habercilik, veri gazeteciliği ve hesaplamalı gazetecilik arasındaki ayrımları sistematik biçimde ortaya koymuştur. Coddington'a (2015) göre veri gazeteciliği; açık kaynak kültürü, katılımcı ağ anlayışı ve meslekleraras melezleşmeyle biçimlenmekte ve bu özellikleriyle mesleki uzmanlığa ve kapalılık ilkesine yaslanan bilgisayar destekli habercilikten ayrışmaktadır. Söz konusu ayrım, veri gazeteciliğinin hem epistemolojik hem de anlatısal açıdan farklı bir pozisyon üstlendiğine işaret etmektedir.
Veri gazeteciliğinin epistemolojik boyutu, alandaki tartışmaların merkezinde yer almaya devam etmektedir. Tong ve Zuo (2021), veri gazeteciliğinin nesnel bir bilgi üretim pratiği olduğu iddiasını reddederek verinin ve veri algoritmalarının sistematik biçimde kullanılmasının, veriyi doğrulamadaki güçlüklerin ve gazetecilerin veri işleme sürecindeki tasarım öznelliğinin bu iddiayı çürüttüğünü göstermiştir. Yazarlara göre veri haberciliği, özünde bir bilgi inşa sürecidir ve bu niteliğiyle kamusal çıkar ile demokrasiye hizmet etmek, nesnellik normuna kıyasla bu pratik için daha uygun bir ilke olarak öne çıkmaktadır (Tong & Zuo, 2021). Zamith (2019) ise The New York Times ve The Washington Post'un veri gazeteciliği pratiklerini içerik analizi yöntemiyle incelemiş ve bu yayın organlarının düşük düzeyde etkileşim, sınırlı veri çeşitliliği ve metodolojik şeffaflık açısından belirgin eksiklikler sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, veri gazeteciliğinin alanın teorik ideallerinden hâlâ önemli bir mesafede bulunduğuna işaret etmektedir.
Görselleştirme ve anlatı çerçevelemesi bağlamında veri gazeteciliğinin haberciliği nasıl dönüştürdüğüne dair güçlü bulgular mevcuttur. Morini (2024), gazetecilik çalışmaları ve görselleştirme araştırmalarını birbirine bağlayan kapsamlı bir sistematik literatür taramasında, veri görselleştirmelerinin karmaşık olayları okuyuculara aktarmak, anlatı çerçevelemesini biçimlendirmek ve gazetecilerle izleyiciler arasındaki bilgi transferini kolaylaştırmak amacıyla işlevsel araçlar olarak kullanıldığını göstermiştir. Aynı çalışmada gazetecilik araştırmacılarının veri gazeteciliğini kavramsal bir çerçeve içinde tanımlamaya, görselleştirme araştırmacılarının ise teknik ilke ve yöntemler geliştirmeye odaklandığı ve bu iki gelenekten kaynaklanan birikimin tamamlayıcı nitelik taşıdığı vurgulanmaktadır (Morini, 2024).
Savaş haberciliği bağlamında anlık, parçalı haber üretimiyle daha bütüncül gazetecilik pratikleri arasındaki gerilim akademik çevrelerde kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Kozman ve Cozma (2025), beş uluslararası haber ajansının İsrail-Gazze Savaşı haberlerini karşılaştırmalı içerik analizi yöntemiyle incelemiş ve ajansların büyük çoğunluğunun barış haberciliği göstergelerine kıyasla savaş haberciliği kalıplarını baskın biçimde sergilediğini, bu durumun an ve mekân odaklılık ile yalnızca görünür etkilere yoğunlaşma şeklinde tezahür ettiğini saptamıştır. Bu bulgu, ana akım haberciliğin savaş dönemlerinde sistematik belgeleme yerine episodik habercilik kalıplarını sürdürme eğiliminde olduğunu ve bağlamsal derinlikten giderek uzaklaştığını göstermektedir.

YÖNTEM

Bu çalışma, nitel araştırma geleneği içinde tasarlanmış ve çoklu vaka çalışması deseni benimsenmiştir. Nitel araştırma yaklaşımı, sosyal olguların anlamını ve bağlamını derinlemesine kavramayı mümkün kılmaktadır. Çoklu vaka çalışması deseni ise birden fazla örnek üzerinden karşılaştırmalı örüntüler ve ayrışmalar tespit etmeye imkân tanıdığından veri gazeteciliği pratiklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesine elverişli bir çerçeve sunmaktadır.
Araştırmanın temel amacı, İsrail–Filistin Savaşı bağlamında Gazze'deki yıkımın veri gazeteciliği aracılığıyla nasıl temsil edildiğini sistematik biçimde çözümlemektir. Bu doğrultuda çalışma üç alt soruyu yanıtlamayı hedeflemektedir: Veri gazeteciliği haberleri hangi veri türlerini ve görselleştirme stratejilerini kullanmaktadır? Bu haberler nasıl bir anlatı kurgusu inşa etmektedir? Veri gazeteciliğinin ürettiği bu anlatı rejimi, geleneksel savaş haberciliğinden hangi boyutlarıyla ayrışmaktadır?

Araştırmanın evrenini, 7 Ekim 2023 sonrasında İsrail–Filistin Savaşı sürecinde uluslararası medya kuruluşları tarafından üretilen veri gazeteciliği haberleri oluşturmaktadır. Örneklem, amaçlı örnekleme yöntemiyle belirlenmiştir. Amaçlı örnekleme yöntemi, araştırma sorusuna yanıt verebilecek bilgi yoğunluğu taşıyan, teorik açıdan anlamlı ve birbiriyle karşılaştırılabilir örneklerin seçilmesine olanak tanıdığından nitel araştırmalarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Örnekleme dahil edilen haberlerin belirlenmesinde şu ölçütler gözetilmiştir: haberin veri gazeteciliği pratiğine özgü unsurlar (veri görselleştirme, interaktif yapı, sistematik veri kullanımı) içermesi, Gazze'deki yıkımı doğrudan konu edinmesi, uluslararası alanda saygın ve görünür bir yayın organı tarafından üretilmiş olması ve alanın önde gelen veri gazeteciliği ödülü olan Sigma Awards tarafından tanınmış olması. Bu ölçütler doğrultusunda örnekleme Reuters'ın interaktif haritalama haberi, The Guardian'ın uydu görüntülerine dayalı görsel araştırması ve Kontinentalist ile Visualising Palestine iş birliğiyle üretilen Gaza Lives projesi dahil edilmiştir. Söz konusu üç örnek, veri türleri, coğrafi köken, kurumsal yapı ve anlatı stratejisi bakımından belirgin farklılıklar sergilemekte ve bu durum karşılaştırmalı analize teorik bir zenginlik katmaktadır.

Veri toplama süreci, her üç haberin bütüncül ve sistematik biçimde incelenmesini kapsamaktadır. Bu süreçte haberler; metin, görsel, görselleştirme ve etkileşimli unsurlar dahil olmak üzere tüm bileşenleriyle bir bütün olarak ele alınmıştır. Veri toplama aşamasında notlar tutulmuş, öne çıkan kodlar ve temalar belirlenmiş ve her haberle ilgili yayın organlarının kamuya açık belgeleri ve editöryel notlar da göz önünde bulundurulmuştur. Veri toplama süreci, araştırmacının analitik çerçeveyle haberlere birden fazla kez dönmesini içeren yinelemeli bir okuma pratiğiyle yürütülmüştür.

Verilerin çözümlenmesinde nitel içerik analizi yöntemi kullanılmıştır. Nitel içerik analizi; metinlerin, görsellerin ve multimedya içeriklerin açık ve örtük anlamlarını sistematik biçimde tespit etmeye ve yorumlamaya olanak tanıyan esnek bir analitik çerçeve sunmaktadır. Bu çalışmada analiz, tümevarımcı ve tümdengelimci yaklaşımın bir arada kullanıldığı karma kodlama stratejisiyle gerçekleştirilmiştir. Teorik çerçeveden türetilen ön kodlar analizi yapılandırırken, haberlerden ortaya çıkan yeni kodlar bu çerçeveyi genişletmiştir.

Analiz süreci üç aşamada ilerlemiştir. Birinci aşamada her haber veri türleri, görselleştirme stratejileri, anlatı kurgusu ve yıkım temsili eksenlerinde kodlanmıştır. Bu aşamada dört ana kodlama kategorisi ve on dört alt kategori belirlenmiştir. İkinci aşamada kodlar, Tablo 1.'de sunulan kodlama matrisi çerçevesinde düzenlenmiş ve her örneğe ilişkin bulgular sistematik biçimde karşılaştırılmıştır. Üçüncü aşamada ise karşılaştırmalı bulgular, veri gazeteciliği ve savaş haberciliği arasındaki yapısal farklılıkları ortaya koyan sekiz tematik eksende sentezlenmiş ve Tablo 2. oluşturulmuştur.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Araştırma kapsamında Reuters, The Guardian ve Kontinentalist tarafından üretilen üç veri gazeteciliği örneği nitel çoklu vaka çalışması yaklaşımı çerçevesinde incelenmiş ve veriler nitel içerik analizi yöntemiyle kodlanmıştır. Analiz, haberlerde kullanılan veri türleri, görselleştirme stratejileri ve anlatı kurgusu ekseninde sistematik olarak gerçekleştirilmiştir.

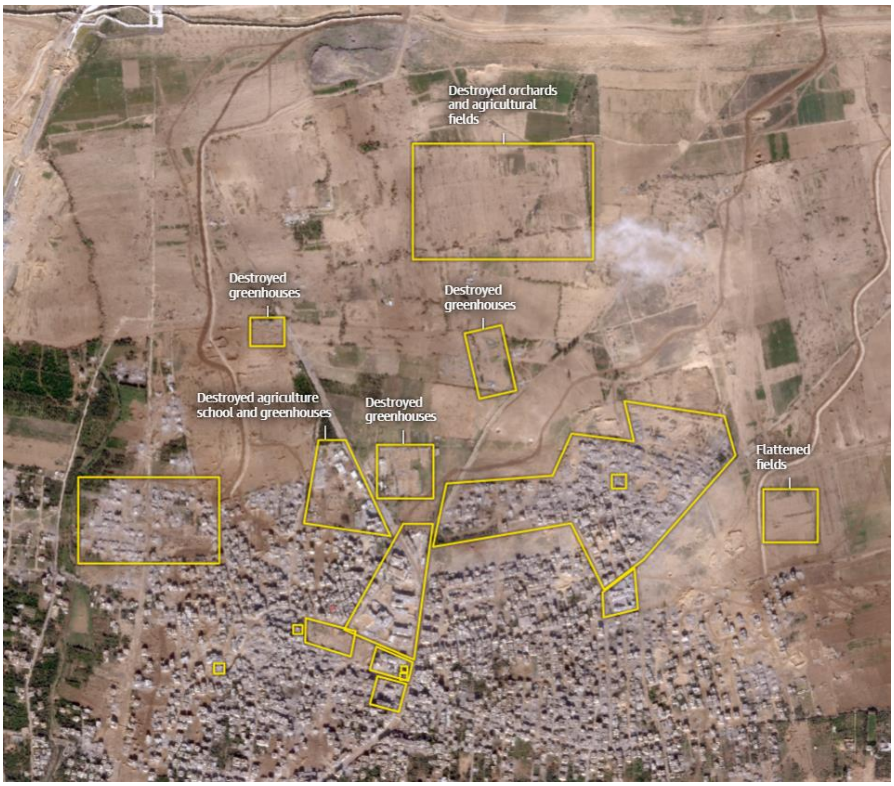
Elde edilen bulgular, veri gazeteciliğinin Gazze'de yaşanan yıkımı yalnızca anlık gelişmeler üzerinden ele almadığını; bunun yerine mekânsal dağılım, zamansal süreklilik ve toplumsal/kültürel etkiler gibi çok katmanlı boyutları birlikte görünür kıldığını ortaya koymaktadır. Bu yönüyle veri gazeteciliği, savaş haberciliğinde baskın olan hızlı, olay merkezli ve parçalı bilgi üretiminden belirgin biçimde ayrışan daha bağlamsal ve bütüncül bir anlatı rejimi üretmektedir.

Analiz edilen Reuters haber örneği, çatışmanın mekânsal dağılımını haritalar üzerinden görünür kılarak makro ölçekli ve sistematik bir çerçeve sunmaktadır.



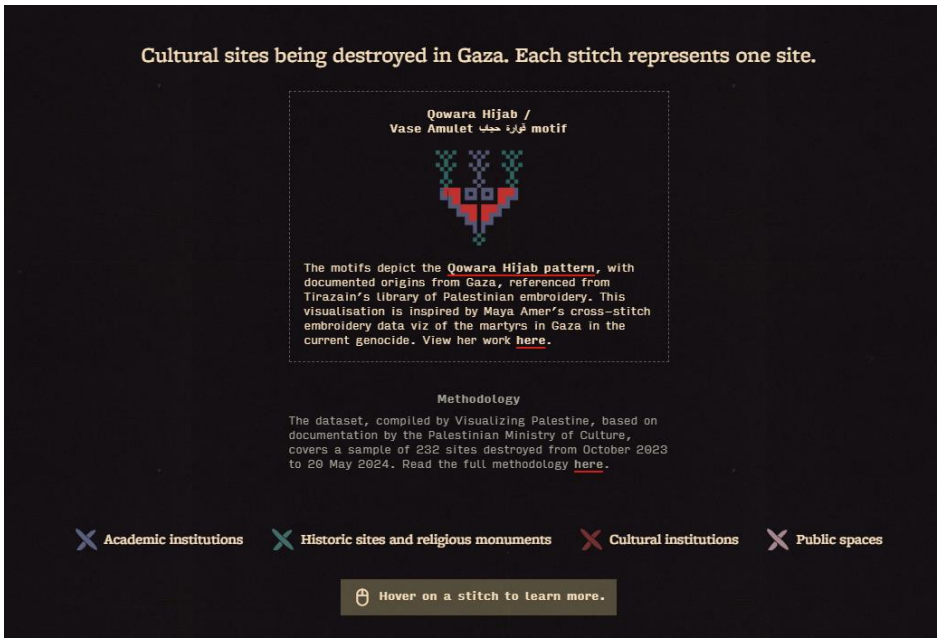
Görsel 1. Reuters Veri Gazeteciliği Haberi

The Guardian tarafından üretilen görsel araştırma ise uydu görüntüleri ve açık kaynak doğrulama teknikleri aracılığıyla fiziksel yıkımı mikro düzeyde kanıta dayalı biçimde ortaya koymakta ve adli veri gazeteciliği (forensic data journalism) yaklaşımı sergilemektedir.



Görsel 2. The Guardian Veri Gazeteciliği Haberi

Kontinentalist tarafından hazırlanan Gaza Lives çalışması ise kültürel veri ve mekânsal hafıza üzerinden ilerleyerek yıkımı yalnızca fiziksel değil, aynı zamanda toplumsal ve kültürel bir kayıp olarak ele alan veri hikâyeleştirme yaklaşımını temsil etmektedir.



Görsel 3. Kontinentalist Veri Gazeteciliği Haberi

Tablo 1., üç haber üzerinden gerçekleştirilen kodlamaları, Tablo 2. ise veri gazeteciliğine özgü bulguları savaş haberciliğiyle karşılaştırmalı biçimde sunmaktadır.

Tablo 1. Veri Gazeteciliği Haberlerine İlişkin Kodlamalar

Kodlama Kategorisi	Alt Kategori	Reuters	The Guardian	Kontinentalist
Veri Türü	**Mekânsal veri**	Yoğun	Orta	Orta
	Olay verisi	Yoğun	Orta	Düşük
	Uydu görüntü verisi	Düşük	Çok yüksek	Düşük
	Kültürel veri	Kullanılmamış	Düşük	Çok yüksek
Görselleştirme Stratejileri	**Harita kullanımı**	Çok yüksek	Orta	Yüksek
	Uydu karşılaştırma	Kullanılmamış	Çok yüksek	Düşük
	İnteraktif hikâyeleme	Orta	Yüksek	Çok yüksek
	Katmanlı veri sunumu	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Anlatı Kurgusu	**Makro ölçekli anlatı**	Çok yüksek	Orta	Orta

Kodlama Kategorisi	Alt Kategori	Reuters	The Guardian	Kontinentalist
	Mikro ölçekli anlatı	Düşük	Çok yüksek	Orta
	Keşif temelli yapı	Orta	Yüksek	Çok yüksek
Yıkım Temsili	**Fiziksel yıkım**	Orta	Çok yüksek	Orta
	Altyapı yıkımı	Orta	Yüksek	Orta
	Kültürel/toplumsal kayıp	Orta	Orta	Çok yüksek

Tablo 2. Veri Gazeteciliğinde Savaş ve Geleneksel Savaş Haberciliği Karşılaştırma

Tema	Alt Tema	Veri Gazeteciliği Bulgusu	Savaş Haberciliği ile Karşılaştırma
Anlatı Rejimi	**Yapısal farklılık**	Veri gazeteciliği çok katmanlı, bağlamsal ve sistematik bir anlatı rejimi üretmektedir.	Savaş haberciliği olay merkezli ve parçalı bir anlatı yapısı üretmektedir.
Zamansallık	**Haber üretim süreci**	Veri gazeteciliği yavaş, doğrulama temelli ve süreç odaklı bir üretim mantığına sahiptir.	Savaş haberciliği hızlı ve anlık bilgi üretimine dayanmaktadır.
	Süreklilik	Yıkım zamansal süreklilik içinde ele alınmaktadır.	Olaylar kesintili biçimde sunulmaktadır.
Mekânsallık	**Coğrafi görünürlük**	Yıkımın mekânsal dağılımı sistematik biçimde görünür kılınmaktadır.	Mekânsal bağlam sınırlı düzeyde ele alınmaktadır.
Veri Kullanımı	**Veri çeşitliliği**	Farklı veri türleri (harita, uydu, OSINT, kültürel veri) birlikte kullanılmaktadır.	Sınırlı ve çoğunlukla metin temelli veri kullanımı söz konusudur.
	Doğrulama	Çoklu doğrulama ve çapraz veri kullanımı baskındır.	Doğrulama süreçleri hızlı ve sınırlıdır.
Görselleştirme	**Anlatı üretimi**	Görselleştirme anlatının kurucu unsuru hâline gelmektedir.	Görselleştirme destekleyici bir unsur olarak kullanılmaktadır.
Toplumsal Etki	**Yıkımın temsili**	Fiziksel, toplumsal ve kültürel yıkım birlikte ele alınmaktadır.	Olay ve çatışma odaklı temsil baskındır.
Genel Sonuç	**Anlatı kapasitesi**	Veri gazeteciliği savaş bağlamında derinlikli ve bütüncül bir görünürlük sunmaktadır.	Savaş haberciliği hızlı fakat görece yüzeysel bir görünürlük üretmektedir.

Bununla birlikte bulgular, veri gazeteciliğinin savaş haberciliğini tamamen ikame eden bir model olmadığını, aksine onu yeniden çerçeveleyen ve tamamlayan hibrit bir anlatı formu sunduğunu göstermektedir.

Veri gazeteciliği, güçlü görselleştirme ve doğrulama kapasitesi sayesinde savaşın çok boyutlu etkilerini derinlemesine görünür kılarken, aynı zamanda yüksek teknik üretim maliyeti ve veri erişimine bağımlılık gibi yapısal sınırlılıklar da taşımaktadır. Bu durum, her savaş bağlamının aynı yoğunlukta veriyle temsil edilememesi riskini doğurmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, İsrail–Filistin Savaşı sürecinde Gazze'de meydana gelen yıkımın veri gazeteciliği aracılığıyla nasıl gösterildiği ve geleneksel savaş haberciliğinden hangi noktalarda ayrıştığını ortaya koymayı amaçlamıştır. Elde edilen bulgular ışığında, veri gazeteciliğinin savaş haberciliğine eklemlenen teknik bir araç olmanın ötesinde; onun eksik bıraktığı derinlik, zamansal süreklilik ve bağlamsal bütünlük boyutlarını tahkim eden stratejik bir anlatı pratiği olduğu görülmektedir. Bu bağlamda veri gazeteciliği, kriz ve savaş dönemlerinde hakim olan "hız" paradigmasına karşı "yavaş, sistematik ve doğrulanmış" bir görünürlük rejimi üretme kapasitesiyle literatürdeki kuramsal tartışmalara özgün bir katkı sunmaktadır. Çalışmanın ortaya koyduğu temel sonuçlardan birine göre veri gazeteciliği, teknik bir veri işleme etkinliğinin ötesinde, savaşın yol açtığı yıkımı toplumsal, kültürel ve mekânsal boyutlarıyla birlikte kavramayı mümkün kılan epistemolojik bir duruştur. Gazze örneği, verinin nesnellik iddiası ile görselleştirmenin duyusal gücünün birleşerek, savaşın yarattığı yıkımı zamansal bir süreklilik içinde nasıl "görünür" kıldığının en somut ve çarpıcı yansımasıdır.

Sonuç olarak bu araştırma, veri gazeteciliğinin çatışma bölgelerindeki yıkımı sadece fiziksel bir enkaz olarak değil, aynı zamanda bir yaşam alanının ve toplumsal hafızanın sistematik olarak yok edilişi şeklinde sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle veri gazeteciliği, savaşın kaotik ortamında hakikati inşa etme ve kamuoyuna bütüncül bir perspektif sunma noktasında hayati bir rol üstlenmektedir.

KAYNAKÇA

Coddington, M. (2015). Clarifying journalism's quantitative turn: A typology for evaluating data journalism, computational journalism, and computer-assisted reporting. *Digital Journalism, 3*(3), 331–348. https://doi.org/10.1080/21670811.2014.976400

Kontinentalist. (2024). Gaza lives: Chapter 1. https://gazalives.kontinentalist.com/chapter-1

Kozman, C., & Cozma, R. (2025). War and peace journalism in the 2023 Israel–Gaza war: A comparative analysis of the headlines of five international news agencies. *Journalism Studies.* https://doi.org/10.1177/17480485251397756

Morini, F. (2024). Different yet complementary: A systematic literature review on data journalism in visualization research and journalism studies. *Journalism Studies, 25*(6), 663–683. https://doi.org/10.1177/14648849241237897

Reuters. (2023). Mapping the conflict in Israel and Gaza. https://www.reuters.com/graphics/ISRAEL-PALESTINIANS/MAPS/movajdladpa/

The Guardian. (2024, January 30). *How war destroyed Gaza's neighbourhoods: Visual investigation*. https://www.theguardian.com/world/ng-interactive/2024/jan/30/how-war-destroyed-gazas-neighbourhoods-visual-investigation

Tong, J., & Zuo, L. (2021). The inapplicability of objectivity: Understanding the work of data journalism. *Journalism Practice, 15*(2), 153–169. https://doi.org/10.1080/17512786.2019.1698974

Zamith, R. (2019). Transparency, interactivity, diversity, and information provenance in everyday data journalism. *Digital Journalism, 7*(4), 470–489. https://doi.org/10.1080/21670811.2018.1554409

FEMALE REPRESENTATION AND THE SOCIAL CONSTRUCTION OF GENDER IN 2025 IRANIAN TELEVISION ADVERTISEMENTS: A SEMIOTIC ANALYSIS OF CLEANING PRODUCTS

Sara MOHAMMADİAN
Master's Student, Istanbul Nişantaşı University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Business Administration
ORCID ID: 0009-0004-8413-5945

Fatma KAMİLOĞLU
Assistant Professor, Istanbul Nişantaşı University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Business Administration
ORCID ID: 0000-0001-5319-8290

ABSTRACT
The purpose of this study is to examine the representation of women and the construction of gender in Iranian television advertisements for cleaning products broadcast in 2025. The study approaches advertisements not merely as commercial texts, but also as ideological and cultural structures that reproduce social meanings (Barthes, 1957). Within this framework, the paper investigates how women are represented through visual and linguistic codes, and whether these representations reflect or reconstruct traditional gender norms in Iranian society.
The study employs a qualitative semiotic analysis based on Saussure's sign model, Barthes' denotation-connotation-myth approach, Goffman's gender display categories, and Kress and Van Leeuwen's visual grammar (Goffman, 1979; Kress and Van Leeuwen, 2006). The findings indicate that women are predominantly represented in domestic settings as morally responsible figures for cleanliness, care, and family well-being. Although the advertisements seem to present a modern and confident female image, this confidence remains largely confined to domestic authority rather than public autonomy.
The study concludes that these advertisements function simultaneously as a "mirror" and a "mold." They reflect existing socio-cultural values while also normalizing and legitimizing women's domestic responsibilities through recurring symbolic codes of care, motherhood, and hygiene (Lorber, 1991; Williamson, 1978). In this sense, the cleaning product becomes not only a practical consumer object but also a symbolic medium through which the identities of the "good woman," the "good mother," and the "well-ordered home" are constructed.
Keywords: Iranian television advertisements, representation of women, gender construction, semiotics, cleaning products.

INTRODUCTION
Advertisements are not merely commercial messages that promote products and services; they are also symbolic structures through which cultural meanings are produced, ideological assumptions are circulated, and gender roles are reconstructed. Television commercials, in particular, can present images of femininity and masculinity as natural, legitimate, and desirable through visual composition, body language, spatial arrangement, and strategies of repetition (Barthes, 1957; Williamson, 1978). In this context, cleaning product advertisements constitute one of the most visible fields in which gender ideology is manifested. In these advertisements, female figures are often associated with care, motherhood, hygiene, emotional labor, and domestic responsibility, while these roles are presented as if they were natural and self-evident (Goffman, 1979; Coltrane & Adams, 1997; Lorber, 1991; Lynch, 2005; Topsakal, 2021; Kartalkaya, Yürümez, & Dondurucu, 2025).
In the Iranian context, this representation is shaped not only by advertising aesthetics but also by codes of privacy, family order, religious-cultural norms, and social respectability (Amouzadeh & Tavangar, 2004; Haji Mohammadi, 2012; Sohrab Zadeh, Yoosefifar, & Abbasi, 2016). Signs such as the headscarf, the kitchen, childcare, domestic order, and hygiene become cultural markers that define the boundaries within which women may be visible.

This study aims to examine semiotically how the female figure is represented in cleaning product commercials broadcast on Iranian television in 2025 through particular spaces, objects, and discourses. In doing so, it argues that advertisements are cultural texts that not only reflect womanhood but also ideologically reproduce it (Barthes, 1957; Gill, 2007; Davis, Hogg, Marshall, & Petersen, 2022).

METHODOLOGY

This study is a semiotic analysis based on the qualitative research method. The population of the study consists of cleaning product commercials broadcast on Iranian television channels throughout 2025. Within this scope, a total of eight commercials were identified, five of which were selected as the research sample based on semiotic analysis criteria. The remaining three commercials were excluded from the analysis process because price-oriented informational content was dominant and they did not possess sufficient layers of meaning suitable for semiotic reading. The research sample was limited to television commercials in which female characters play a central role and in which concepts such as domestic cleaning, kitchen space, childcare, and hygiene are emphasized. This limitation was made because cleaning product advertisements constitute one of the fields in which the representation of gender roles can be observed particularly intensely and explicitly (Aktaş, 2018; Kartalkaya et al., 2025). A three-layered analysis was conducted in the study. In the first layer, the relationships among the signifier, the signified, and the sign were examined (Saussurean approach). In the second layer, the denotative and connotative structures of the scenes, as well as the processes of myth production, were evaluated (Barthes, 1957). In the third layer, the posture, gaze, body orientation, distance, use of space, and role distribution of female and male figures were interpreted within the framework of gender display (Goffman, 1979). In addition, visual framing, centrality, light, color, and compositional elements were also addressed in terms of visual grammar (Kress & Van Leeuwen, 2006). In the selection of the advertisements, the presence of the female image in the commercial was taken as one of the main criteria.

SAMPLE

1. Dorto Liquid Hand Soap Television Commercial



Figure 1. Sample frames from the liquid hand soap television commercial

Table 1. Holistic semiotic analysis of three frames from the dorto liquid hand soap Television commercial

Signifier	Signified	Sign / Interpretation
Headscarved woman	Privacy, respectability, controlled femininity	The woman is constructed not as the subject of desire, but as the subject of care and domestic order
Kitchen and counter, living room	Sphere of domestic expertise	The woman's legitimate sphere of authority is not public, but domestic
Onion, knife, cutting board	Labor, transformation, everyday production	Women's labor is aestheticized and rendered natural and invisible

Mother giving a strawberry to her child	Maternal affection, protectiveness, nurturing, maternal responsibility	The mother is positioned as the guardian of family health
Soft lighting and an orderly background	Peace, purity, sterile life	The hardship of real labor is erased, and an idealized domestic utopia is produced

In this scene, while the woman is positioned at the center, the kitchen becomes not merely a place where food is prepared, but a space in which femininity is culturally validated. The act of chopping vegetables is coded as a sign of care and self-sacrifice, while the implication of the product or hygiene constructs this care as "proper," "clean," and "moral" (Topsakal, 2021; Kartalkaya et al., 2025).

2. Rosella baby liquid laundry detergent television commercial



Figure 2. Sample Frames from the Rosella Baby Liquid Laundry Detergent Television Commercial

Table 2. Holistic semiotic analysis of three frames from the baby liquid laundry detergent television commercial

Signifier	**Signified**	**Sign / Interpretation**
Headscarved mother and domestic space	Privacy, ethics of care, domestic femininity	The woman is positioned as the primary subject of domestic hygiene and the order of care.
Laundry washing and contact with the child	Protectiveness, maternal labor, responsibility for hygiene	The practice of cleaning is transformed from a technical task into a component of maternal responsibility.
The father's final interaction with the child	Family unity, emotional approval, peace	Although absent from the process itself, the man appears at the end only through his satisfaction and joy, signaling his presence through the outcome.
Bright tones and an orderly interior	Purity, sterile life, the ideal home	The mother is represented as the guardian of family health.
Soft lighting and an orderly background	Peace, purity, sterile life	The hardship of real labor is erased, and an idealized domestic utopia is produced.

In such scenes, motherhood is transformed not merely into a natural bond, but into a performance that must be optimized through consumption. By producing the ideal of the "mother who chooses the best for her child," the advertisement ties women's emotional labor to the brand (Lynch, 2005; Davis et al., 2022).

3. Bojneh Concentrated Dishwashing Detergent Television Commercial



Figure 3. Sample Frames from the Bojneh Concentrated Dishwashing Detergent Television Commercial

Table 3. Holistic Semiotic Analysis of Three Frames from the Bojneh Concentrated Dishwashing Detergent Television Commercial

Signifier	**Signified**	**Sign / Interpretation**
The side-by-side presentation of Bojneh and another detergent	Comparison, superiority, promise of choice	The product is coded as a more effective option than its competitors and as the one that should be preferred.
The headscarved female figure holding the product	Trust, respectability, authority of care	The woman is constructed as the subject who endorses the product's functional success and represents knowledge of domestic cleaning.
A high stack of dishes and the kitchen space	Intense labor, domestic responsibility, burden of cleaning	The practice of dishwashing is presented as a central and continuous task of everyday domestic labor.
The positioning of the female and male figures in the same kitchen	Hygiene, order, ideal domestic life	Cleaning labor is aestheticized, producing a domestic order that appears effortless, controlled, and desirable.

In the Bojneh commercial, the portrayal of the woman and the man as if they are competing within the practice of cleaning initially creates the impression of a shared domestic workload and a modern partnership. However, at a deeper level, the advertisement reproduces rather than transforms gender roles. The female character is represented as the "expert subject" who chooses the right product, possesses knowledge, and controls the kitchen space, whereas the male character, although present in the same setting, is constructed not as the natural owner of that space but as a figure who enters it belatedly and remains inadequate. In this way, femininity is associated with care, cleanliness, and domestic order, while masculinity is linked to outsiderness and limited participation (Çiftçi, 2020; Topsakal, 2021; Davis et al., 2022).

Although the commercial makes domestic labor visible, it does not present it in a liberating way; rather, it frames it as an aestheticized form of domestic expertise shaped by the criteria of speed, efficiency, and perfection. The woman's bodily and spatial proximity to the kitchen reinforces her position as the primary subject of that space, while the man's more external position causes him to be coded almost as a visitor to the kitchen. As a result, under the discourse of modernity and technological superiority, the advertisement updates and sustains the myth that "the heart of the kitchen is woman.

4. Softlen Hand-Wash Laundry Detergent Television Commercial



Figure 4. Sample Frames from the Softlan Hand-Wash Laundry Detergent Television Commercial

Table 4. Holistic Semiotic Analysis of Three Frames from the Softlan Hand-Wash Laundry Detergent Television Commercial

Signifier	Signified	Sign / Interpretation
Headscarved mother and domestic space	Trust, respectability, domestic expertise	The woman is positioned as the bearer of product knowledge and the authority of domestic hygiene.
The pouring of the detergent into water and the moment of application	Effectiveness, transformation, technical solution	The product is coded not as an ordinary cleaning agent, but as a powerful solution that brings dirt under control.
Bright interior space, orderly shelves, and light tones	Purity, order, sterile life	The domestic space is idealized, and the practice of cleaning is associated with a peaceful and controlled way of life.
Bright tones and an orderly interior	Purity, sterile life, the ideal home	The mother is represented as the guardian of family health.
The woman directly facing the camera while holding the product	Approval, guidance, persuasion	Reklam, kadını yalnızca kullanıcı değil, doğru tüketim tercihinin meşru sözcüsü haline getirmektedir.

In the Softlan hand-wash laundry detergent commercial, the female figure is positioned not merely as the person who uses the product, but also as the subject who represents domestic hygiene knowledge, manages the proper practice of cleaning, and assumes responsibility for care (Goffman, 1979; Davis et al., 2022). The visual emphasis placed on the moment when the detergent is poured into the water and applied makes the functional power of the product visible, while this function is simultaneously associated with the ideology of femininity, care, and order. In this way, the product ceases to be merely a technical object that provides cleanliness; instead, it is transformed into a symbolic instrument that carries meaning, value, and identity within everyday life (Barthes, 1957; Williamson, 1978). The bright interior space, orderly background, and controlled body language integrate the act of cleaning with the myths of purity, peace, and ideal domestic life, rather than presenting it as an ordinary household task. In this respect, the commercial identifies the woman with domestic expertise and the authority of care, while also presenting the cleaning product as an ideological tool that legitimizes female identity through domestic order and hygiene. This is also consistent with studies showing that the representation of women in advertisements reproduces gender stereotypes (Topsakal & Şardağı, 2021; Kartalkaya, Yürümez, & Dondurucu, 2025).

5. Active All-Purpose Surface Cleaner Television Commercial



Figure 5. Sample Frames from the Active All-Purpose Surface Cleaner Television Commercial

Table 5. Holistic Semiotic Analysis of Three Frames from the Active All-Purpose Surface Cleaner Television Commercial

Signifier	Signified	Sign / Interpretation
Woman and child figures in the kitchen	Motherhood, domestic responsibility, order of care	The woman is positioned as the primary subject who carries the burden of hygiene and care in everyday life.
Cleaning a child's item and the emphasis on germs	Protection, hygiene, safety	The act of cleaning is transformed from an ordinary household task into a maternal duty associated with protecting the child's health.
A shining surface and a pointing hand	Control, perfect result, proof of cleanliness	The advertisement legitimizes hygienic authority through the woman's hand by confirming the product's success on the visible surface.

When the three frames in the Active all-purpose surface cleaner commercial are evaluated together, it becomes evident that the practice of cleaning is constructed not merely as a functional household task, but as an ideological regime of care associated with the protection of children's health, maternal responsibility, and the maintenance of domestic order. In the first frame, the presentation of the female figure within the same visual plane as the kitchen and the child places her at the hygienic and emotional center of domestic life; in the second frame, the cleaning of the child's belongings and the emphasis on germs integrate the act of cleaning with protective motherhood and risk management. In the final frame, the hand directed toward the shining surface represents the visible proof of cleanliness, that is, control and success. Thus, the advertisement positions the woman not merely as the person who cleans, but as the expert subject who manages domestic health, ensures safety, and supervises hygienic order.

This structure of meaning is consistent with studies showing that advertisements reproduce femininity along the axes of care, hygiene, and domestic authority. In this context, the product becomes not only a technical object that cleans surfaces, but also a symbolic instrument that carries the myths of the ideal home, the healthy child, and the orderly family. While the visual language of the advertisement pushes the difficulty of domestic labor into the background, it presents the practice of cleaning as an effortless, controlled, and natural feminine duty; in doing so, it legitimizes female identity through hygienic responsibility and the authority of care.

CONCLUSION

The findings of this study demonstrate that the representation of women in Iranian television commercials is not limited to a visible arrangement of characters; rather, it is grounded in a powerful gender regime reproduced through the aestheticized surface of everyday life. Across the five cases examined, these advertisements function simultaneously as a mirror and a mold. On the one hand, they mirror familiar cultural norms of modesty, care, and family-centered femininity; they present the kitchen, laundry, and hygiene as the ordinary sites of female expertise, and they link household order to emotional warmth and moral correctness. On the other hand, they actively mold gender ideology by reproducing domestic gender roles through the aestheticization of household labor.

In the advertisements examined, women are positioned as the primary performers of cleaning and care practices, the loyal guardians of domestic order, the principal bearers of emotional labor, and the invisible managers of family well-being. Thus, although the female figure is presented on the surface as a modern, orderly, well-groomed, aesthetic, and at times self-confident subject, at a deeper level she is fixed within a normative identity tied to the domestic sphere.

The ideological power of advertising discourse stems not from expressing this traditional gender order through direct and prescriptive language, but from presenting it as natural and desirable through visual pleasure, warmth, sensitivity, the aesthetics of care, and the promise of the product. Here, the woman is not merely the person who cleans the house or takes care of the child; she is also transformed into the symbolic guarantor of privacy, purity, order, emotional continuity, and family unity. The image of the headscarved, well-groomed, controlled, and peaceful woman makes visible a model of "respectable femininity" by combining religious-cultural legitimacy, domestic responsibility, and ideals of self-care within a single body. In this model, a woman's happiness derives not from individual autonomy, but from the preservation of family order, the care of children, and the maintenance of domestic well-being. At this point, the cleaning product itself travels beyond function: it becomes a symbolic medium through which gendered ideals are visualized, disciplined, and normalized.

In this context, the myth of womanhood constructed in these advertisements is that of a woman who is "happy as long as her family is happy," who takes care of herself but does not live even this self-care independently of her domestic responsibilities, who conforms to religious and cultural codes, and who is self-sacrificing yet fulfills this role with a sense of willing serenity. Therefore, these advertisements do not merely repeat women's traditional position; they repackage and re-legitimize it through the aesthetic language of modern consumer culture. More specifically, they turn cleaning products into symbolic tools of the "good woman," the "good mother," and the "ordered home." In doing so, they contain female confidence within domestic authority rather than allowing it to expand into public autonomy. In other words, while advertisements circulate womanhood under a modernized appearance, they essentially preserve a patriarchal structure of meaning that continues to define women through the axes of home, care, cleanliness, motherhood, and emotional labor.

As a result, this study reveals that the representation of women in Iranian television commercials does not produce a simple relationship of reflection; on the contrary, it continuously reconstructs gender roles through visual codes that appear ordinary and everyday. Advertising texts strengthen their ideological effect not by presenting women's domestic position as an explicit command, but by portraying it as a natural, warm, aesthetic, moral, and emotionally satisfying way of life. For this reason, cleaning product advertisements should be understood not merely as commercial texts that sell products, but also as symbolic fields that circulate and reinforce cultural norms about what femininity ought to be. This finding is also consistent with previous studies showing that women in Iranian advertisements are predominantly represented in domestic, passive, caregiving, and culturally regulated roles (Haji Mohammadi, 2012; Abdolahian & Hasani, 2012; Shasavandi, 2016; Azin & Tabrizi, 2015; Kachalami & Fee, 2020).

REFERENCES

Aktaş, P. Ü. (2018). Toplumsal cinsiyete dair değişimlerin reklamlara yansıması: Kadınlara yönelik reklamlara göstergebilimsel bir bakış. Stratejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 2(3), 87-101.

Barthes, R. (1957). Mythologies. Paris: Éditions du Seuil.

Büstan, Ö. (2019). Toplumsal cinsiyet bağlamında televizyon reklamlarında geleneksel kadın tiplemesi: Deterjan reklamlarında kadının temsili. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 14(1), 167-182.

Coltrane, S., & Adams, M. (1997). Work-family imagery and gender stereotypes: Television and the reproduction of difference. Journal of Vocational Behavior, 50(2), 323-347.

Davis, T., Hogg, M. K., Marshall, D., & Petersen, A. (2022). The knowing mother: Maternal knowledge and the reinforcement of the feminine consuming subject in magazine advertisements. Journal of Consumer Culture, 22(1), 58-78.

Dumanlı, D. (2019). Reklamlarda toplumsal cinsiyet kavramı ve kadın imgesinin sunumu. Yalova Sosyal Bilimler Dergisi, 10(19), 132-148.

Chongo, G., Banniza, S., Warkentin, T. 2002. Occurrence of Ascochyta Blight and Other Diseases of Chickpea in Saskatchewan in the 2001 Drought Year. Canadian Plant Disease Survey, 82: 85–88.

Haji Mohammadi, A. (2012). Critical analysis of women's representation in TV advertisements from a cultural studies perspective. International Journal of Women's Research.

Kartalkaya, E., Yürümez, Ö., & Dondurucu, Z. (2025). Temizlik ürünü reklamlarında cinsiyetçi söylem kalıpları üzerine göstergebilimsel analiz: Pril ve Fairy örneği. Maltepe Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi, 12, 58-92.

Kress, G., & Van Leeuwen, T. (2006). Reading Images: The Grammar of Visual Design (2nd ed.). London: Routledge.

Lorber, J. (1991). The Social Construction of Gender. Newbury Park: Sage.

Lynch, K. D. (2005). Advertising motherhood: Image, ideology, and consumption. Berkeley Journal of Sociology, 49, 32-57.

Robinson, B. K., & Hunter, E. (2008). Is mom still doing it all? Reexamining depictions of family work in popular advertising. Journal of Family Issues, 29(4), 465-486.

Sohrab Zadeh, M., Yoosefifar, T., & Abbasi, R. (2016). Changes in women's roles in Iran TV ads relying on the semiotics of commercials Mr. Carpet 4 and the way of participation in Home Care lottery. Journal of Woman in Culture and Arts, 8(1), 23-44.

Topsakal, T. (2021). Toplumsal cinsiyet açısından reklamlarda kadının temsili: Göstergebilimsel bir çözümleme. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 8(1).

Williamson, J. (1978). Decoding Advertisements: Ideology and Meaning in Advertising. London: Marion Boyars.

Zeybekoğlu Dündar, Ö. (2012). Toplumsal cinsiyet rollerinin televizyon reklamlarına yansıması. ETHOS: Felsefe ve Toplumbilimlerde Diyaloglar, 5(1), 121-136.

YAPAY ZEKA VİDEOLARINDA GERÇEKLİK ALGISI: SOSYAL MEDYA KULLANICI TEPKİLERİNİN ANALİZİ

PERCEIVED REALITY IN AI-GENERATED VIDEOS: AN ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA USER RESPONSES

Selman Selim AKYÜZ
Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, İletişim Fakültesi, Radyo Televizyon ve Sinema Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0003-0932-7897

ÖZET

Üretken yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, özellikle video üretimi alanında gerçeklik ile kurgu arasındaki sınırların giderek belirsizleşmesine yol açmaktadır. Derin öğrenme temelli sistemler aracılığıyla üretilen görsel-işitsel içerikler, teknik doğruluk, estetik bütünlük ve bağlamsal tutarlılık açısından insan üretimine oldukça yaklaşmış; bu durum dijital ortamlarda "gerçeklik algısı"nın yeniden inşasını gündeme getirmiştir. Sosyal medya platformlarının hız, yayılım ve etkileşim odaklı yapısı ise bu içeriklerin doğrulanmadan geniş kitlelere ulaşmasını kolaylaştırarak, yapay zeka üretimi içeriklerin gerçekmiş gibi algılanmasını daha da pekiştirmektedir. Bu çalışmada, yapay zeka tarafından üretilen videoların sosyal medya platformlarında gerçekmiş gibi sunulması ve kullanıcılar tarafından bu içeriklerin çoğunlukla ayırt edilememesi olgusu incelenmektedir. Özellikle X (Twitter) platformunda tematik haber hesapları ve sosyal medya odaklı yayıncılık yapan gazeteciler tarafından paylaşılan haber videoları, kullanıcıların gerçek zannederek bu içerikleri kolaylıkla yaygınlaştırmasına neden olmaktadır. Çalışmada, yüksek etkileşim alan yapay zeka haber videolarına verilen kullanıcı tepkileri analiz edilerek, izleyicilerin içerikleri "gerçek" olarak kodlama eğilimleri değerlendirilmiştir. Araştırma, kullanıcı yorumlarının büyük bir bölümünün videoyu gerçek olarak kabul eden, duygusal ve refleksif biçimde ele aldığını; eleştirel ya da şüpheci yaklaşımların ise sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır. Bu durum, yapay zeka ile üretilen içeriklerin "hipergerçeklik" bağlamında işlev gördüğünü ve dijital ortamlarda gerçeklik algısının giderek simülasyon lehine dönüştüğünü göstermektedir. Çalışma, algoritmik dağıtım mekanizmalarının (beğeni, retweet, etkileşim temelli görünürlük) bu yanlış algının yayılmasında kritik rol oynadığını, yapay zeka içeriklerinin etik etiketleme, medya okuryazarlığı ve platform politikaları açısından yeniden değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Sosyal medya, Yapay zeka, Haber, Dezenformasyon, Hiper gerçeklik.

ABSTRACT

Advancements in generative artificial intelligence technologies have increasingly blurred the boundaries between reality and fiction, particularly in the field of video production. Audiovisual content generated through deep learning–based systems has reached a level of technical accuracy, aesthetic coherence, and contextual consistency that closely approximates human-produced media. This development has brought the reconstruction of "perceived reality" in digital environments to the forefront. At the same time, the speed, virality, and engagement-driven structure of social media platforms facilitate the widespread dissemination of such content without verification, thereby reinforcing the perception of AI-generated media as authentic. This study examines the phenomenon of AI-generated videos being presented as real on social media platforms and the inability of users to reliably distinguish these contents from reality. In particular, news-oriented videos shared on X (Twitter) by thematic news accounts and journalists engaged in social media–based publishing practices contribute to the rapid circulation of such content, as users tend to perceive and share them as real. Within this context, user responses to highly engaged AI-generated news videos are analyzed in order to evaluate audiences' tendencies to interpret and encode these contents as "real." The findings reveal that a substantial portion of user comments adopt a confirmatory, emotional, and reflexive stance, whereas critical or skeptical approaches remain limited. This suggests that AI-generated content operates within a framework of "hyperreality," in which simulations increasingly replace and redefine perceptions of the real in digital environments. Furthermore, the study argues that algorithmic distribution mechanisms—such as likes, reposts, and engagement-based visibility—play a critical role in amplifying this misperception. Accordingly, the findings highlight the need to reassess AI-generated content in terms of ethical labeling, media literacy, and platform governance policies.
Keywords: Social media, Artificial ntelligence, News, Disinformation, Hyperreality.

DEMOKRASİDEN ALGOKRASİYE: YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA YÖNETİŞİM

FROM DEMOCRACY TO ALGOCRACY: GOVERNANCE IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Zafer Furkan ARSLAN
Doktora Öğrencisi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uluslararası İlişkiler Anabilim Dalı
ORCID ID: 0000-0001-6492-5166

ÖZET

Bu çalışma, yapay zekânın demokratik yönetişim üzerindeki etkilerini UNESCO raporları ve güncel literatür çerçevesinde analiz etmektedir. Yapay zekâ teknolojileri, demokratik katılımı artırma ve kamu politikalarında verimlilik sağlama potansiyeline sahip olmakla birlikte, "algokrasi" olarak tanımlanan algoritmik karar alma süreçleri üzerinden şeffaflık, hesap verebilirlik ve temsil gibi temel demokratik ilkeleri zayıflatma riski taşımaktadır. Ayrıca dezenformasyon, platform kapitalizmi ve gözetim teknolojileri, demokratik sistemlerin yapısal kırılganlıklarını derinleştirmektedir. Çalışma, bu tartışmayı genişleterek Çin örneğini analize dahil etmekte ve devlet merkezli yapay zekâ yönetişiminin alternatif bir model sunduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle Çin'in devlet merkezli yapay zekâ modeli ile liberal-demokratik yaklaşımlar arasındaki farklılaşma, yapay zekâ yönetişiminin küresel ölçekte bir rekabet alanına dönüştüğünü göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu dönüşümü "algokrasi" kavramı çerçevesinde analiz ederek, yapay zekânın demokrasi üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı bir perspektifle incelemeyi amaçlamaktadır. Çin modeli, siyasi istikrar ve kontrol odaklı bir yaklaşım sergilerken, bireysel özgürlükler ve mahremiyet açısından önemli tartışmalar doğurmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Demokrasi, Algokrasi, Yapay Zeka, Yönetişim, Çin

ABSTRACT

This study analyzes the impacts of artificial intelligence on democratic governance within the framework of UNESCO reports and current literature. While artificial intelligence technologies have the potential to enhance democratic participation and improve efficiency in public policies, they also pose the risk of weakening fundamental democratic principles such as transparency, accountability, and representation through algorithmic decision-making processes defined as "algocracy." Additionally, disinformation, platform capitalism, and surveillance technologies deepen the structural vulnerabilities of democratic systems. Expanding this discussion, the study incorporates the example of China into the analysis and demonstrates that state-centered artificial intelligence governance offers an alternative model. In particular, the divergence between China's state-centered artificial intelligence model and liberal-democratic approaches shows that artificial intelligence governance has become a field of global competition. By analyzing this transformation within the framework of the concept of "algocracy," this study aims to examine the effects of artificial intelligence on democracy from a comparative perspective. While the Chinese model exhibits an approach focused on political stability and control, it raises significant debates in terms of individual freedoms and privacy.
Keywords: Democracy, Algocracy, Artificial Intelligence, Governance, China

PLANTINGA'S USE OF INDUCTIVE ARGUMENTS IN THE FIELD OF NATURAL THEOLOGY

Marián AMBROZY
ORCID ID: 0000-0002-0421-436X

Abstract
The Calvinist analytical philosopher Alvin Plantinga is known primarily for his use of deductive arguments. In this respect, he differs diametrically from his orthodox colleague Richard Swinburne. Swinburne is characterised by his use of theologia naturalis. Plantinga describes Christian philosophy as one that does not require theologia naturalis for its defence, but is itself based on revealed truths. Plantinga's philosophy is founded on faith, which he need not justify, particularly when it comes to arguments from the natural sciences. His theistic argumentation is primarily deductive. His modal ontological argument is well known. This apparent categorisation and classification of Plantinga's philosophy does not hold true in general. Plantinga also uses inductive arguments from science. He claims that science and religion are in apparent conflict, but in deep harmony. This paper will present selected aspects of Plantinga's use of inductive arguments. Our philosopher regards science as an object of cooperation, which is far from the stance of all Protestants. We shall therefore attempt to focus on how Plantinga uses arguments from science in favour of theism. Our philosopher is aware of the relativity of scientific truths, as well as the contradictions within science, and the fact that it is not entirely consistent. Science and atheistic naturalism are only superficially compatible. He does not regard evolution as incompatible with theism. He is a critic of Dawkins' views. He regards this philosopher's views as metaphysical, not scientific. Plantinga uses several physical arguments to support theism. He speaks of the fine-tuning of the universe. He also draws on the non-deterministic nature of the world within the framework of quantum mechanics. He regards the physical world as causally closed, which does not apply to miracles. He also emphasises the statistical nature of physical laws.
Keywords: inductive arguments, theologia naturalis, Plantinga's philosophy, theism, natural sciences

Alvin Plantinga regards the conflict between science and faith as merely apparent. Unlike his colleague Richard Swinburne, Plantinga primarily presents deductive arguments in support of various arguments in favour of faith. At first glance, it seems that the Calvinist view of the relationship between science and faith is addressed solely through the prism of faith. Plantinga does indeed argue deductively in the vast majority of his texts, such as in his defence of free will – see, for example, Shpakovskiy (2024). However, he does not rely solely on deductive argumentation. In this respect, he differs from Kierkegaard, who is not at all interested in the questions of positive science and focuses purely on the existential aspect of the human being. We shall briefly outline those lines of his argumentation in which he resembles Swinburne.

Science is also held in high esteem in Christian philosophy. The most prominent representative of Calvinist analytical philosophy therefore does not wish to ignore it. In doing so, he refers to the concept of imago Dei, which is discussed by many prominent representatives of the religions of the Book – Jews, Muslims and Christians. Plantinga is aware of the limitations and fragmentary nature of human knowledge. Science is, nevertheless, an attempt to learn something about the world and about humanity. According to Plantinga, there is no contradiction between religious faith and contemporary science. This contradiction did exist in the past, within the context of the relationship between science and Christianity. The dominant Aristotelian- an thinking, viewed through the lens of Christianity in the early modern period, was strongly aprioristic, says Plantinga. In the 19th century, a conflict could be observed between Darwinian fundamentalists and Christian fundamentalists. Plantinga views Christian science as grounded in the fundamental creeds of ancient Christianity, whilst he views evolution as the claim that life developed from simple forms into complex ones. In the beginning, therefore, there was single-celled life. The naturalistic thesis holds that life evolved from non-living matter without divine intervention.

Christian fundamentalists interpret the account of the creation of the world in Genesis literally. Even Augustine of Hippo did not believe that the universe is young and only a few thousand years old. Some evangelical fundamentalists still believe this today.

The claim that the process of evolution was not guided by God but is arbitrary is incompatible with the Christian faith. Richard Dawkins strongly advocates the atheistic nature of evolution. This most famous proponent of atheism among scientists claims that the diversity of species arose through natural selection. It is well known that Dawkins speaks of the forces of physics as being comparable to a blind watchmaker. According to Dawkins, natural selection is blind and unguided. Darwinists believe in natural selection as the sole principle of evolutionary progress. In reality, there is no reason to deny the possibility of God's participation in the process of evolution. According to Plantinga, God could have brought about certain key mutations, whilst some processes could in turn have been the result of natural selection. Mutations must not be too improbable. The randomness of mutations leading from single-celled organisms to the emergence of the human eye seems too great in Plantinga's view. Plantinga regards the probability of the human eye arising solely through random mutations as extremely low. Atheists view evolution as the only way to explain the living world. According to Plantinga, the theist has a wider range of options. Dawkins' arguments regarding unguided evolution based solely on natural selection and random mutations are, according to Plantinga, unconvincing. It is not impossible from an astronomical perspective, but it is not probable. It is merely epistemically possible, but not probable. Why should we believe arguments whose probability is less than 0.5?

According to Dawkins, an intelligent designer (God) does not explain the organised complexity necessary for life. According to Dawkins, evolution is evidence for a world without design. Plantinga argues that biology explains life and not organised complexity. Dawkins argues that God, as the creator, must be more complex than the universe he created, which is improbable. According to Plantinga, God is not complex because he has no parts; he is simple. Plantinga believes that Dawkins does not provide any compelling arguments to place biology in conflict with religion. Biology can explain how mechanisms evolved, but it cannot prove that this process was not guided. Dawkins argues that design is contrary to evolution, but according to Plantinga, it is precisely the laws of physics and biology that make evolution possible. If the laws allow for evolution, this is a strong indicator of planned design.

Plantinga also takes issue with Dennett. Their dispute is not directly about evolution. Plantinga argues as follows: Dennett confuses evolutionary theory, which can be regarded as a verified scientific fact, with naturalism, which is a philosophical position. Philosophical naturalism is a fully-fledged metaphysical position that is not positivistically scientific. It is the claim that nothing supernatural exists, which is clearly a metaphysical position. Plantinga believes that the essence of evolution is not necessarily its unguided nature. Evolution may well be an instrument of God's action.

A rather interesting argument is that, according to Plantinga, if we were the product of evolution focused solely on survival, our cognitive abilities would be so subservient to utilitarian pragmatism that they could not be trusted. Thus, if evolution were naturalistic in character, it would not be possible to have reliable cognitive abilities. Plantinga argues as follows: if we are merely machines for survival, our logical reasoning carries no objective weight. Plantinga even believes that it is not science and religion that are in conflict, but science and naturalism. He believes this because the aim of natural selection is not a model of behaviour that leads to knowledge, but to reproduction and survival. The value lies in adaptability, not knowledge. If knowledge were generated solely by unguided evolution, it could not be trusted. Science should have the potential to elucidate the nature of structures in the universe, to identify invariants, etc. If naturalism, linked to unguided evolution, were to be adopted as a worldview, it would tend to undermine the foundations of trust in human knowledge and, consequently, in science. Directed evolution is not accepted by every scientist; most recently, Margues Segundo (2025) wrote a study opposing Plantinga's view, but Fábiková (2021) has also expressed reservations.

Denett, of course, responds to Plantinga's criticism. He argues that evolution has weeded out those cognitive mechanisms that distorted reality in a dangerously misleading way. Our mind is therefore not perfect, but it is good enough for us to take science seriously. If a hunter were to regard a lion as a harmless animal that is nice to stroke, he would not live long.

Some scientists believe that science is strictly deterministic. In such a deterministic world, they see no room for any god and his possible place in the scientific picture. The breaking of laws and the occurrence of miracles seemingly do not accord with science. Nevertheless, there are many scientists who are believers. Science has changed considerably over the last 130 years. It is no longer accurate to view the nature of natural science as it was in the 19th century. Newton's view of the world has been superseded. Physics is not complete in the sense of classical physics.

Newton regarded the world as a closed system. The internal energy of an isolated system remains constant. An isolated or closed system can be acted upon from the outside. In this way, God can bring about some change. Can any theoretical physics claim that the universe is a closed system? Certainly not, because it would no longer be science, but metaphysics. 'Classical science, therefore, does not assert or include causal closure' (Plantinga 2011, p. 79). Our laws describe the universe in the event that no causal force acts upon it from the outside. The laws of nature therefore hold true as long as we do not interfere with them from the outside.

According to Plantinga, there exists a possible world "that (i) shares its past with the actual world, (ii) is not causally closed (because, perhaps, God acts specially in it) and (iii) does not share its future with the actual world" (Plantinga 2011, p. 82). Determinism, if it were to be contained within such a world, would necessarily be false. The performance of a miracle indicates only one thing: it is an instance where the universe is not causally closed, Plantinga believes. In a causally closed world, God could not violate a natural law. If the condition that the law holds when the universe is causally closed were not true, then God's intervention would indeed conflict with scientific laws. Classical science, therefore, does not claim that the universe as a whole is causally closed. "It is therefore entirely consistent with special divine action in the world, including miracles" (Plantinga, p. 83). If we attach some metaphysical addendum to classical science, then we can no longer speak of a claim based on science. Simply put, science cannot afford metaphysical claims that concern the entire universe. Laplace's picture, which is incompatible with the action of any god within the framework of the laws, is supplemented by a metaphysical addition. "The Laplacean picture, with its causal closure of the physical universe, is really a piece of metaphysics unsupported by classical science" (Plantinga 2011, p. 91).

The deterministic view of the world was seriously disrupted by the advent of quantum mechanics, which has been around in its modern form for approximately 100 years. Plantinga regards the conception of classical science as outdated, a view with which one can agree. Quantum mechanics is about probability. It is well known that Heisenberg's uncertainty principle speaks of the incompatible determination of position and momentum. Equally well known is Young's experiment on the passage of a microparticle through a double slit. As Plantinga correctly observes, no Laplacean demon in the era of quantum mechanics can any longer predict the evolution of the universe in advance from the exact state of physical data concerning the entire universe. Even in the case of quantum mechanics, its laws apply to a closed system. Plantinga endeavours to show that the laws of quantum mechanics do not contradict religion even if this ' ' condition were not explicitly stated. According to Plantinga, some of the miracles are compatible with quantum mechanics without any difficulty. Admittedly, Plantinga does not claim this of every miracle.

According to our philosopher, selected miracles could be explained by the Ghirardi-Rimini-Weber theory. What makes this theory innovative? Whilst standard quantum mechanics states that a particle is in a superposition (in multiple places at once) until someone observes it (measurement, influence of the instrument), the GRW theory claims that this collapse occurs spontaneously and naturally without the need for an observer. If we have an object composed of trillions of particles, such as a chair or a pen, it is almost certain that every nanosecond at least one of its particles will undergo this spontaneous collapse. Since the particles within the object are interconnected, the collapse of one particle can cause the collapse of other particles within the same object. This theory is very interesting in that it does not separate the microcosm and the macrocosm as the Copenhagen interpretation does. It states that the laws of physics are the same for both the microcosm and the macrocosm; they simply manifest differently at different scales. Plantinga refers to Monton's argument, which he drew from personal communication with him. According to Monton, this theory can also explain the miracle of the transformation of water into wine: 'you've got a bunch of individual particles (electrons, protons, etc.) that are composing the water, and they can all have GRW hits such that their positions are redistributed to the locations that would be appropriate for them to compose wine' (Monton 2007). Particles can appear in positions that are suitable for the creation of wine. According to this theory, particles simply decide for themselves where they are, and that is why the world appears stable. The key fact is that the GRW theory has not been experimentally confirmed; it remains merely a hypothesis. Indeed, it seems that experiments are pushing this theory into a corner. However, in physics, the situation is often fluid. At this point, we may raise a critical objection to Plantinga. Our philosopher has employed an argument based on a scientific theory that is not established within the physical paradigm.

It is commendable that he is able to work with it, but the consequences arising from this connection are necessarily of a hypothetical nature. Plantinga does indeed point to interesting consequences that would follow from the collapse of quantum mechanical objects, but these would only hold if GRW were established as a standardised, verified scientific theory.

Many philosophers believe that a satisfactory explanation of God's actions must be non-interventionist. God would be understood as acting within the flexibility of existing physical systems. God would have to be understood as manipulating certain events. These are events at the level of atoms, molecules and at the quantum mechanical level. These are fluctuations in the microcosm, in which God could intervene in order to achieve specific results at the macroscopic level. Essentially, this would involve the possibility of divine intervention that would be hidden from us. In any case, God rarely intervenes in the world through miracles. God does not usually act contrary to his own rules. According to Plantinga, He must have a special reason for this. This reason lies in the fact that He wishes to demonstrate something important, for example, the special status that belongs to Jesus, to clarify His love, to demonstrate His power, etc.

Plantinga also addresses the issue of God's possible intervention in the world. According to Plantinga, God sustains the world's existence. This sustaining of the world by God gives him the power to perform miracles where necessary. Intervention is merely an exceptional act in which God decides to alter this regularity for a specific purpose. From God's perspective, this is not a violation of anything, because He is both the author and the executor of these laws at every moment. In a system that is causally closed, energy is conserved. According to theism, the universe is not causally closed, because God acts upon and within it. If God intervenes (by supplying energy or altering a particle's path), the scientific law is not violated. Plantinga argues similarly to the Slovak physicist Július Krempaský. The possibility of God's action at the quantum level was expressed by William Pollard in 1958 (Pollard 1958). Since quantum laws are statistical, God can intervene without violating them. He may be the one who decides when a collapse occurs. The material universe is never causally closed.

Plantinga argues that people can cause quantum collapses through their actions. They can cause them through the influence of their bodies. This is an interesting hypothesis that can be supplemented by drawing on the approach of Augustine of Hippo. He spoke of the influence of the Holy Spirit on human beings. He expressed this excellently in his work *De gratia et de libero arbitrio*. This is another way in which God might act upon the natural world, influencing its functioning by affecting human actions and, thereby, the movement of the human body. He influences them whilst preserving free will through the third person of the Trinity – the Holy Spirit. According to Augustine of Hippo, the Holy Spirit has the ability to influence humans whilst preserving the essence of their free will. A person can thus be directly influenced by God and perform a specific action, thereby subsequently influencing their immediate surroundings. This addition by Plantinga can, of course, extend further into the realm of deterministic chaos – the well-known butterfly effect. This is another way in which God interacts with the world – through influencing human beings. There are several possible explanations for the interaction between God and the world, and none of them contradicts science, Plantinga argues. Similarly, our philosopher draws attention to the apparent conflicts between religion and evolutionary psychology, though I do not address this in my article.

Plantinga also discusses scientific naturalism. This is not an ontological stance of denying God. It is a position of opinion according to which real science does not comment on questions of worldview and acts in such a way as to be impartial on this matter. "For example, if there were a sudden outbreak of irrational behaviour in Washington, D.C., we couldn't, as scientists, properly attribute it to an influx of demon possession there" (Plantinga 2011, p. 170). The scientific evidence base is not founded on faith, unlike religion.

Plantinga distinguishes between two types of scientific naturalism. He calls these strong and weak scientific naturalism. One is scientific scepticism regarding religion. If it is merely scepticism, it is weak scientific naturalism. However, if it involves an apodictic denial of religion, it is strong scientific naturalism.

By the term 'Simonian science', Plantinga means a scientific approach to the study of human beings based on purely naturalistic assumptions. Plantinga derived this term from the name of the psychologist and economist Herbert Simon.

Simon sought to explain human behaviour (including morality and altruism) exclusively through the prism of evolutionary biology and rational choice. Plantinga distinguishes several main features of Simonian science. The first feature is methodological naturalism. It excludes any supernatural explanations. God or the soul do not enter the equation. The next is the evolutionary basis of behaviour. Human traits such as love for one's enemies or deep altruism are explained as mechanisms for the survival of the species (e.g. bounded rationality or susceptibility to learning from the group). The final feature of Simonian science is its conflict with theism. Plantinga argues that if a Christian accepts Simonian science as the only valid means of knowledge, they enter into a logical conflict with their faith, because this science presupposes that religious beliefs are merely a by-product of evolution, not the truth. Plantinga contrasts this science with what he calls Augustinian science, which, in its examination of the world and humanity, takes into account the existence of God and creation. 'Simonian science' is in direct logical conflict with Christianity, as it claims that altruism is a 'flaw' in evolutionary theory, whilst Christianity sees it as a gift from God and a reflection of the moral law. Plantinga, however, argues that this conflict is merely superficial, as the whole of this science rests on the assumption of naturalism, which is not a scientific fact but a philosophical choice. Plantinga proposes that Christians need not accept the limitations of Simonian science (methodological naturalism). He proposes an Augustinian science that utilises all available sources of knowledge, including faith and revelation. He does not reject evolution as a process, but he rejects the claim that this process was unguided. "Faith, on the other hand, is a wholly different kettle of fish: according to the Christian tradition (including both Thomas Aquinas and John Calvin), faith is a special gift from God, not part of our ordinary epistemic equipment" (Plantinga 2011, p. 178).

Another interesting argument used by Plantinga is the fine-tuning argument. He realises that the fundamental properties of stars, planets and galaxies are determined by very precise physical constants. A slight change in the gravitational constant, for example, would result in stars being either giants or dwarfs. As Hawking points out, a reduction in the expansion rate—which was 10^{12} at a time when the temperature of the universe was 10^{10} K—would mean that expansion would cease and the universe would collapse. According to Hawking, life is possible only because of the rate of the universe's expansion (Hawking 1974). The importance of precise numerical relationships is also emphasised by other physicists and thinkers, such as Paul Davies, John Barrow, Július Krempaský, John Polkinghorne, William Craig, Richard Swinburne, etc. They may be seen as "substantiating the theistic claim that the universe has been created by a personal God and as offering the material for a properly restrained theistic argument: the fine-tuning argument (FTA)" (Plantinga 2011, p. 197). Examples of fine-tuning include strong and electromagnetic interactions, carbon production in stars, the mass difference between protons and neutrons, the gravitational constant, and others. Such fine-tuning is hardly surprising if we are to argue theistically. 'God would presumably want there to be life, and indeed intelligent life with which (whom) to communicate and share love' (Plantinga 2011, p. 199). Our philosopher argues that if God wished to create life somewhere else entirely, he would have to fine-tune the physical constants precisely. If we were not here, there would be no one to observe the precisely fine-tuned constants, let alone appreciate their precise fine-tuning. What is interesting, however, is that there is no logical limit to the values these parameters could theoretically take.

Plantinga argues that if the universe had come into being by chance, the probability that the physical constants (e.g. the strength of gravity, the expansion of the universe) would be set precisely to allow for life is practically zero. For an interpretation of probability in Plantinga's work, see (Neels 2022); similarly, on probability, see (Rojka 2017). He argues that the existence of an intelligent Designer makes this phenomenon far more probable (more expected) than the naturalistic view. He is sceptical of the multiverse theory (a common counter-argument). He regards it as a speculative attempt to avoid a theistic conclusion, adding that even the mechanism for generating millions of universes would itself require a huge degree of fine-tuning.

Conclusion

Although Avin Plantinga mostly employs deductive reasoning, in recent years he has also expressed himself through inductive reasoning, drawing on the findings of the natural sciences, particularly physics. In his work *Where the Conflict Really Lies*, Plantinga moved from strictly deductive logic to so-called abductive reasoning – that is, the search for the best explanation.

Whilst for naturalism the fine-tuning of physical constants (e.g. the strong nuclear force or the cosmological constant) is a huge surprise and an anomaly, for theism it is something we can legitimately expect. He does not claim that this argument definitively proves the existence of God. However, he does claim that fine-tuning provides epistemic support for theism. If we have two hypotheses, a theistic one and a naturalistic one, the facts of modern physics, according to him, significantly increase the probability of the theistic view of the world. Plantinga uses facts such as the low entropy of the early universe or the rate of expansion to show that it is religious belief that is in deep harmony with the natural sciences, whilst naturalism is in conflict with what we discover about the universe. According to the Copenhagen interpretation, the behaviour of particles at the micro-level is not strictly determined by previous states. There is scope for different outcomes. Plantinga suggests that God can influence the collapse of the wave function (the selection of a specific outcome from multiple possibilities) without violating the laws of physics. Since the laws of quantum mechanics are statistical, God can bring about a specific event (a miracle) within the framework of these laws. He argues that the old Newtonian conception of a closed universe, where nothing can intervene in events, has been superseded in modern physics. According to him, the laws of nature describe how the world behaves when it is naturally isolated, which does not rule out external intervention. He regards evolution as a guided, rather than a random, process of development.

Acknowledgement: *This paper is part of the work carried out under project grant number IG-KSV-ET-02-2024/12.*

REFERENCES

Fábiková, A. 2021. Adaptivity and Truth. A Critique of Plantinga's Reasoning against Evolutionary Reliabilism. *Filosofický časopis* 69 (SI 2), pp. 62–74.

Hawking, S. W. 1974. The anisotropy of the universe at large times. In *Symposium-International Astronomical Union* Vol. 63, Cambridge University Press., pp. 283–286.

Margues Segundo, L. H. 2025. Darwin's doubt or Plantinga's conviction? Some failures in Plantinga's attempt to debunk naturalistic evolution. *Religious Studies* 61 (1), pp. 194–209.

Monton, B. God, Fine-tuning and the Problem of Old Evidence. *The British Journal for the Philosophy of Science* 57 (2), pp. 405–424.

Neels, G. 2022. Interpreting the probabilities in Plantinga's evolutionary argument against naturalism. *International Journal for Philosophy of Religion* 91 (3), pp. 163–175.

Plantinga, A. 2011. *Where the Conflicts Really Lie?* Oxford: Oxford University Press, 375 p.

Pollard, W. G. 1958. *Chance and Providence: God's Action in a World Governed by Scientific Law*. New York: Charles Scribner's Sons, 190 pp.

Rojka, Ľ. 2017. A probabilistic argument for the reality of free personal agency. *Studia Neoaristotelica* 14 (1), pp. 39–58.

Shpakovskiy, M. V. 2024. The defence of A. Plantinga's free will defence. *Filosofskii Zhurnal* 17 (1), pp. 50–72.

NATURAL MODULATION OF THE GUT MICROBIOTA IN PATIENTS WITH FOOD ALLERGIES: IMPACT OF ALERGIPLANT

Major Gheorghe GIURGIU
Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0000-0002-5449-2712

Prof. Dr. Med. Manole COJOCARU
Academy of Romanian Scientists, Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania
ORCID ID: 0000-0002-7192-7490

ABSTRACT
Background Dysbiosis or microbial imbalance, can predispose individuals to allergies, while a balanced gut microbiome, fosters immune tolerance. The immune mechanisms involved in food allergies are complex and little is known about the possible role of the gut microbiota in the aetiopathogenesis of food allergies.
Objective Alergiplant could modulate the immune system through gut microbiota in food allergies. Advancing knowledge of the gut microbiome and its function in modulating the course of food allergies, might result in novel therapeutic strategies.
Materials and methods The evaluation of the patients was based on history and physical examination. We investigated the effect Alergiplant in patients with food allergies.
Results Environmental factors such as urbanisation, pollution, and dietary habits also significantly contribute to food allergies risk. It is not clear whether microbial change in food allergies is an outcome of barrier defect or the cause of barrier dysfunction and inflammation. Manipulation of the gut microbiota as a method for modifying atopy, may be attempted in many ways including avoidance of certain foods, supplementation with probiotics and prebiotics, optimising nutrient intake, minimising stress, antimicrobial therapy, correction and prevention of low stomach acid, and faecal microbiota transplantation.
Conclusion The resident microbiota is important in maintaining structural and functional integrity of the gut and in immune system regulation. There was an increase of the intestinal permeability reported in patients with food allergies and a reduction of the gut microbiome diversity. Modifying gut microbiome by applying Alergiplant during early years may be a preventive and therapeutic option in high risk groups.
Keywords: food allergies, host-microbiome interaction; immune regulation; Alergiplant

THE ROLE OF AI AND WEARABLE TECHNOLOGIES IN THE FUTURE OF PUBLIC HEALTH

David WORTLEY
Mr David John Wortley FRSA, 360in360 Immersive Experiences, Alderton, United Kingdom, Mobile
ORCID ID: 0000-0001-5598-6987

ABSTRACT
The convergence of artificial intelligence (AI) and wearable technologies is poised to transform the future of public health by enabling more proactive, personalized, and data-driven approaches to prevention and care. Wearable devices—such as smartwatches, fitness trackers, and biosensors—continuously collect real-time physiological and behavioral data, including heart rate, activity levels, sleep patterns, and even early markers of disease. When integrated with AI, this data can be analyzed at scale to identify patterns, predict health risks, and support early intervention strategies.
AI-powered analytics can enhance population health surveillance, detect emerging health trends, and optimize resource allocation across healthcare systems. At an individual level, these technologies empower users to take greater ownership of their health through tailored feedback, behavioral nudges, and remote monitoring. This is particularly valuable in managing chronic conditions, promoting healthy aging, and reducing the burden on healthcare services.
However, challenges remain, including data privacy, ethical considerations, accessibility, and the need for robust regulatory frameworks. Ensuring equitable access and maintaining public trust will be critical. Overall, the integration of AI and wearable technologies represents a significant opportunity to shift public health from reactive treatment to predictive and preventive care models.
Keywords: Artificial Intelligence, Wearable Technology, Public Health, Preventive Healthcare, Digital Health, Health Data Analytics

BETWEEN WAHM AND INHIBITION: IBN SINĀ'S TRIPARTITE ANTHROPOLOGY AND THE PSYCHOLOGY OF EXECUTIVE CONTROL

Abubakar ABDULKADIR
ORCID ID: 0000-0002-3368-0642

ABSTRACT
This paper develops a focused comparative analysis between Ibn Sinā's doctrine of wahm (estimative perception) and the contemporary psychological concept of inhibitory control. These two cognitive constructs, separated by nearly a millennium of intellectual history and a vast difference in methodological approach, address the same fundamental question: how does the human mind regulate automatic evaluative responses in the service of rational judgment and deliberate action? Drawing on Ibn Sinā's tripartite philosophical anthropology of body, mind, and soul as developed in the Kitāb al-Shifā', the al-Qānūn fī al-Tibb, and the Kitāb al-Najāt, and on the executive control literature anchored in the work of Baddeley (1996), Miyake et al. (2000), and Diamond (2013), the paper identifies four structural convergences and three fundamental divergences between the two frameworks. The convergences establish that Ibn Sinā's psychological analysis anticipates, at the philosophical level, the cognitive architecture that contemporary neuroscience has mapped empirically. The divergences establish that the Avicennian framework provides philosophical resources, particularly concerning the nature of the conscious subject, the teleological direction of cognitive governance, and the grounding of moral obligation, that the scientific framework requires but cannot supply from within its own resources. The paper contributes to the emerging field of comparative philosophy of mind and to the broader project of demonstrating the contemporary relevance of the classical Islamic intellectual tradition.
Keywords: Ibn Sinā, *wahm*, estimative faculty, executive functions, comparative philosophy of mind, tripartite anthropology

1. Introduction: Two Accounts of the Same Problem
Every serious account of the human mind must eventually confront a stubborn and uncomfortable fact. Human beings do not always act in accordance with their own considered judgments. They reach impulsively for what is near. They respond to perceived threats with fear that outstrips what the situation actually warrants. They fall into familiar habits precisely when careful deliberation would serve them better. This is not a minor observation about occasional human weakness. It goes to the heart of what kind of beings we are, and what kind of cognitive architecture we possess.

Ibn Sinā (980-1037 CE), the Persian philosopher and physician known in the Latin West as Avicenna, explained this phenomenon through one of his most original contributions to psychology: the doctrine of *wahm*, the estimative faculty. *Wahm* is the cognitive power that generates rapid, affect-laden evaluations of perceived objects, apprehending their significance, their danger, or their trustworthiness, in an automatic, pre-reflective act that neither sensory perception nor rational deliberation produces on its own. It operates below the threshold of conscious deliberation. And when left unchecked by rational analysis, it can produce exactly the kind of irrational associations, misplaced fears, and distorted evaluations that Ibn Sinā himself observed in his medical practice.

Contemporary cognitive psychology explains the same phenomenon through the construct of inhibitory control, one of the three core executive functions identified by Miyake et al. (2000) in their influential unity-and-diversity model. Inhibitory control is the capacity to suppress prepotent, automatic, or habitual responses in favor of deliberately chosen alternatives. It is what allows a person to resist the pull of immediate appetite, to override a reactive impulse, to pause before acting on a rapid evaluative judgment that may not accurately reflect reality. The prefrontal cortex, and particularly its orbitofrontal and dorsolateral regions, is the primary neural substrate of this capacity. Its impairment, in conditions ranging from ADHD to addiction to prefrontal traumatic brain injury, produces characteristic failures of self-regulation that the clinical and developmental literatures have documented extensively.

What is remarkable is not that these two accounts exist. What is remarkable is that they address the same cognitive problem from such different methodological starting points and arrive, with considerable structural precision, at the same basic conclusions about the architecture of human self-regulation. This paper develops that comparison systematically.

It is not a work of historical antiquarianism. It is an argument that the classical Islamic philosophical tradition, represented at its most sophisticated by Ibn Sinā, has genuine philosophical resources to contribute to the contemporary scientific study of the human mind, resources that the science itself cannot generate from within its own methodological commitments.

2. Ibn Sinā's Tripartite Anthropology: A Condensed Account

Ibn Sinā's philosophical anthropology is organized around a tripartite distinction of body, mind, and soul. This distinction is developed across his three principal works: the *Kitāb al-Shifā'* (The Book of Healing), the *al-Qānūn fī al-Tibb* (The Canon of Medicine), and the *Kitāb al-Najāt* (The Book of Salvation). It is not a casual taxonomy. It is a hierarchically structured, philosophically rigorous account of the human person as a unified being whose dimensions are genuinely distinct yet constitutively interdependent.

The body (*jism*) is the material substrate of human existence. It is a complexly organized substance whose temperament (*mizāj*), the specific balance of its elemental qualities, directly conditions the quality of psychological and spiritual life (Ibn Sinā, 1999). Ibn Sinā's insistence on this point is striking. The body is neither a prison of the soul, as certain Platonic accounts would have it, nor a mere machine, as Cartesian philosophy later claimed. It is the soul's instrument. A world in miniature, as he puts it, whose care is a moral and medical obligation simultaneously. His account of psychosomatic bidirectionality, the recognition that psychological states alter physiological conditions and that physiological conditions constrain psychological functioning, anticipates the contemporary neuroscientific understanding of the mind-brain-body relationship in ways that continue to surprise scholars of both traditions.

The mind (*'aql*) encompasses the rational cognitive faculties through which the human person engages in abstract reasoning, apprehends universal truths, and exercises deliberate governance over behavior. Ibn Sinā's account of the intellect's developmental stages, from the material intellect ('*aql hayūlānī*) as pure cognitive potentiality through intermediate stages of actualization to the acquired intellect (*'aql mustafād*) as fullest intellectual achievement, is a philosophical developmental psychology. Its structural correspondence with the contemporary executive function development literature is one of the most philosophically significant convergences this comparative project has revealed.

The soul (*nafs*) is the animating, self-subsistent, immaterial principle of the living human person. Its immateriality is demonstrated by Ibn Sinā's celebrated Flying Man thought experiment: a person created in a state of complete sensory deprivation would nevertheless be immediately aware of their own existence. This demonstrates, Ibn Sinā argues, that self-awareness is not derived from sensory input but is the soul's immediate self-presence. The argument anticipates Descartes' cogito by over six centuries, and it raises questions about the nature of consciousness that contemporary neuroscience has not yet resolved (Black, 2008; Marmura, 1986).

Within this tripartite framework, the internal senses occupy a philosophically crucial position. They mediate between the external senses and the rational intellect. Ibn Sinā identifies five internal senses: the common sense (*hiss mushtarak*), the representational faculty (*khayāl*), the estimative faculty (wahm), the compositive imagination (*mutakhayyila*), and memory (*dhākira*). Of these, the *wahm* is by far the most philosophically original and the most directly relevant to the present comparative analysis.

3. The Doctrine of *Wahm*: Ibn Sinā's Most Original Psychological Contribution

Sharif (1963) describes *wahm* as "the most original element of Ibn Sinā's psychological teachings" (p. 491). This is not an overstatement. The concept addresses a genuine philosophical problem that neither Aristotle's faculty psychology nor Platonic idealism had adequately resolved: how does a living creature apprehend the significance of what it perceives, and not merely its sensible form?

The classic illustration is worth dwelling on. A sheep perceives a wolf. The external senses register the wolf's shape, colour, sound, and smell. These are sensory data. But the sheep does not merely see a wolf. It perceives a threat. It flees. The judgment that drives the flight is not a sensory judgment, since no external sense registers hostility or danger as a sensory quality. Nor is it a rational judgment, since the sheep does not engage in deliberative reasoning before fleeing. Something in between performs this evaluative act. Ibn Sinā names it wahm.

Wahm, then, is the faculty that apprehends the non-sensible intentional qualities (*ma'āni*) of individual perceived objects.

These are what we might call evaluative meanings: the hostility of a predator, the trustworthiness of a companion, the danger of a situation. They are not registered by any external sense. They are not produced by rational deliberation. They arise immediately, automatically, and with considerable affective force, from the *wahm's* direct apprehension of what the perceived object means for the percipient's well-being.

Several features of *wahm* deserve careful attention. First, it operates automatically. Ibn Sinā is clear that wahm does not require deliberate cognitive effort. It is fast, immediate, and largely involuntary. Second, it operates at the level of the individual perceived object, not at the level of universal concepts. The sheep's *wahm* apprehends the danger of this wolf, not the abstract concept of wolf-danger. Third, and most importantly for the present analysis, Ibn Sinā recognizes that *wahm* is fallible. It does not necessarily yield accurate representations of reality. It can produce irrational associations, misplaced fears, and distorted evaluations that persist even in the face of rational correction. This is precisely why the rational intellect's governance of *wahm* is, for Ibn Sinā, one of the most important dimensions of human cognitive and moral life (Sharif, 1963; McGinnis, 2010).

Ibn Sinā's account of wahm's pathologies is particularly illuminating. When *wahm* overreaches its proper domain, when it extends its automatic evaluative operations beyond the individual perceived objects to which it properly applies, it generates the characteristic cognitive and emotional distortions that Ibn Sinā documents in his medical writings: irrational fears that resist rational correction, anthropomorphic projections that attribute hostile or benign intentions to impersonal phenomena, and perseverative evaluative responses that continue despite evidence that the initial appraisal was mistaken. These pathologies of *wahm* are not, from the present comparative perspective, merely curiosities of medieval Islamic psychology. They are the philosophical predecessors of what contemporary clinical psychology calls anxiety disorders, phobias, and the failure of executive inhibitory control.

4. The Psychology of Inhibitory Control: The Contemporary Account

The psychological theory of executive control emerged from neuropsychological observations of patients with prefrontal cortex lesions. These patients showed dramatic impairments in goal-directed behavior despite largely intact basic cognitive capacities (Luria, 1966; Stuss & Benson, 1986). They could perceive, remember, and reason adequately in many respects. What they could not do was regulate their behavior in the service of chosen goals. They were, in a precise sense, at the mercy of whatever was most immediately salient in their environment.

Miyake et al. (2000) provided the most influential contemporary theoretical framework for understanding these capacities, identifying three separable but correlated executive functions: inhibitory control, shifting (cognitive flexibility), and updating (working memory). Inhibitory control is the capacity to suppress prepotent or habitual responses in favor of deliberate alternatives. It is what allows a person to stop reaching for a cigarette when they have decided to quit smoking, to refrain from an angry retort when calm reflection would serve them better, to resist the automatic tendency to read a word rather than name its ink color in the Stroop task. Diamond (2013) identifies inhibitory control as the most fundamental of the three core executive functions, arguing that it underlies both the others in important respects.

Inhibitory control is not a single unitary capacity. It has at least three distinguishable components. Response inhibition is the suppression of prepotent behavioral responses. Interference control is the filtering of irrelevant perceptual or memorial information that competes with goal-relevant processing. And cognitive inhibition is the suppression of currently irrelevant thoughts, memories, or representations that would otherwise intrude on ongoing cognitive processing (Diamond, 2013). All three components operate in the service of the same overarching function: enabling deliberate, goal-directed behavior to proceed without being derailed by automatic, prepotent, or habitual responses.

The neural implementation of inhibitory control is well-characterized. The orbitofrontal cortex plays a central role in the inhibition of reward-driven prepotent responses, with damage to this region producing the characteristic disinhibition seen in addiction and conduct disorder. The dorsolateral prefrontal cortex supports the maintenance of goal representations that enable inhibitory control to be applied in the service of specific behavioral objectives.

The anterior cingulate cortex monitors for conflict between prepotent and deliberate response tendencies, triggering the engagement of inhibitory control when such conflict is detected (Miller & Cohen, 2001). The developmental trajectory of inhibitory control is equally well-documented. Rudimentary inhibitory capacities emerge in infancy. Rapid development occurs through the preschool period. Continued maturation extends into adolescence and the mid-twenties, tracking the protracted development of the prefrontal cortex (Diamond, 2013).

The clinical importance of inhibitory control is difficult to overstate. Its impairment is implicated in ADHD, where disinhibition produces characteristic impulsivity and difficulty sustaining deliberate behavioral control. It is implicated in addiction, where the prefrontal inhibitory control system loses the capacity to override the automatic motivational pull of the addictive substance. It is implicated in anxiety disorders, where the inhibitory control system fails to suppress automatic threat-appraisal responses that are disproportionate to actual threat. And it is implicated in the behavioral consequences of prefrontal traumatic brain injury, where patients lose the capacity to inhibit contextually inappropriate responses despite being able to articulate the correct behavioral rule. These clinical manifestations are not peripheral to the theory. They constitute some of its most important evidence.

5. The Comparative Analysis: Convergences and Divergences

5.1 Four Structural Convergences

The first and most fundamental convergence is the shared identification of an automatic, pre-reflective, evaluative cognitive system whose outputs sometimes require deliberate override by a higher-order regulatory system. This is the structural core of both the *wahm* account and the inhibitory control account. In both frameworks, the human cognitive system is organized hierarchically. A fast, automatic, significance-driven evaluative process generates initial responses to perceived objects and situations. A slower, deliberate, rational process can endorse, modify, or override those initial responses. And the quality of human cognitive and behavioral life depends critically on the proper functioning of this hierarchical governance relationship.

The second convergence is the shared recognition that the automatic evaluative system is not simply a source of error to be corrected. It is a genuine cognitive achievement of considerable adaptive value. Ibn Sinā's *wahm* is not a defective faculty. It is an indispensable one. The sheep that did not immediately apprehend the wolf's danger would not survive to develop refined rational judgment about predators. Similarly, the contemporary inhibitory control literature recognizes that the prepotent responses that executive control sometimes overrides are not simply mistakes. They are the outputs of fast, generally reliable cognitive systems that provide the immediate behavioral orientation that slower deliberative processing cannot replace. The pathology lies not in the automatic system as such but in the failure of appropriate deliberative governance when such governance is genuinely required.

The third convergence is the shared account of the pathological consequences of governance failure. Ibn Sinā's catalogue of wahm pathologies, irrational fears that resist rational correction, anthropomorphic projections, perseverative evaluative responses, maps with remarkable precision onto the clinical phenomenology of executive dysfunction that the inhibitory control literature documents. The phobic patient whose orbitofrontal cortex cannot override the amygdala's automatic threat-appraisal, the addicted patient whose prefrontal system cannot suppress the automatic motivational pull of the addictive object, the ADHD patient whose inhibitory control system cannot suppress the prepotent response to whatever is most immediately salient: these are, in Ibn Sinā's philosophical vocabulary, people whose rational intellect has lost effective governance of their *wahm*. The philosophical account and the clinical account are describing the same phenomenon from different angles.

The fourth convergence is the shared developmental account of the progressive actualization of deliberative governance capacities. Ibn Sinā's stages of intellectual development from material intellect to acquired intellect describe, at the philosophical level, a progressive actualization of the soul's cognitive governance capacities across the human lifespan. The infant, dominated by immediate sensory and appetitive reactions, approximates the material intellect. The developing child and adolescent progressively actualize the governance capacities of the intermediate stages. The mature adult, ideally, achieves the stable, reliable rational self-governance of the fully actualized practical intellect. The executive function developmental literature, tracking the emergence of inhibitory control from infancy through the mid-twenties, is the empirical counterpart of this philosophical account.

The convergence is not accidental. Both accounts are describing the same developmental reality from different methodological starting points.

5.2 Three Fundamental Divergences

The first and most fundamental divergence concerns the nature of the cognitive subject. For Ibn Sinā, the subject of cognitive governance is the rational soul, a self-subsistent immaterial substance whose self-awareness is demonstrated by the Flying Man argument and whose constitutive orientation toward the divine truth grounds the teleological direction of all its cognitive operations. For the executive control framework, the subject of cognitive governance is a biological organism whose higher-order cognitive capacities are implemented by the prefrontal cortex and its associated neural circuits. This is not a terminological difference. It is an ontological one, with profound implications for the philosophical account of human dignity, moral accountability, and the grounding of normative standards for cognitive excellence.

The second divergence concerns the teleological direction of cognitive governance. Ibn Sinā's account of *wahm* governance is not normatively neutral. The rational intellect governs *wahm* toward a philosophically specified end: the actualization of the soul's constitutive orientation toward the divine truth and goodness. The executive control framework, by contrast, is normatively neutral with respect to the goals that inhibitory control serves. A sophisticated criminal who exercises excellent inhibitory control in suppressing the impulse to flee when confronted by police has, on the functional account, excellent executive function, even if the goals served by this excellent function are morally reprehensible. Ibn Sinā's account provides the philosophical resources to evaluate the quality of the goals served by cognitive governance, resources the scientific framework cannot generate from within its own methodological commitments.

The third divergence concerns the grounding of moral obligation. For Ibn Sinā, the obligation to exercise rational governance over *wahm's* automatic evaluative responses is grounded in the soul's constitutive nature: the human person is morally obligated to govern its cognitive life in accordance with rational principles because the rational soul's constitutive orientation toward the divine good is the soul's deepest nature, and to act against this orientation is to act against what one most fundamentally is. The executive control framework can demonstrate the prudential value of inhibitory control, its association with better health, better academic achievement, better social functioning. But it cannot ground a genuine moral obligation to develop and exercise this capacity. It can show that self-regulation is useful. It cannot show that it is morally necessary. The Avicennian account provides this grounding.

6. Implications: What the Comparison Reveals

The comparative analysis generates three implications that deserve explicit statement.

The first is methodological. The structural convergences between the *wahm* account and the inhibitory control account demonstrate that philosophical analysis and empirical research are not competing methodologies that produce incompatible accounts of human cognitive life. They are complementary methodologies that illuminate different dimensions of the same cognitive reality. Philosophical analysis is best positioned to illuminate the structural, teleological, and normative dimensions. Empirical research is best positioned to illuminate the mechanistic, developmental, and individual-differences dimensions. Neither is complete without the other. The present comparison is a model for the kind of interdisciplinary engagement that both traditions require for their fullest development.

The second implication concerns the intellectual resources of the Islamic philosophical tradition. The wahm-inhibitory control comparison demonstrates that Ibn Sinā's philosophical psychology is not a historical curiosity. It is a philosophically serious account of a genuinely universal dimension of human cognitive life. The Islamic philosophical tradition, at its best, anticipated questions that the contemporary world is only now beginning to address with the tools of empirical science. Recovering and developing this tradition is not an act of intellectual nostalgia. It is an act of philosophical recovery that the contemporary situation genuinely requires.

The third implication concerns the limits of purely naturalistic accounts of human cognitive life. The three divergences identified in Section 5 all point to the same structural limitation: the executive control framework, for all its empirical power, cannot address the questions about the cognitive subject's nature, the teleological direction of cognitive governance, and the grounding of moral obligation that a complete

account of human rational self-governance requires. This is not a criticism of the science. It is an honest account of what science can and cannot do. The Avicennian philosophical framework provides what the science requires for its philosophical completion. And the science provides what the philosophical account requires for its empirical grounding. The two traditions need each other.

7. Conclusion

This paper has developed a systematic comparison between Ibn Sinā's doctrine of wahm and the contemporary psychological construct of inhibitory control. The comparison has identified four structural convergences and three fundamental divergences. The convergences establish that Ibn Sinā, writing in 11th-century Hamadan, identified the same basic cognitive architecture that 21st-century cognitive neuroscience has mapped empirically. The divergences establish that the philosophical account provides what the scientific account requires but cannot generate: a theory of the conscious subject, a teleological account of the direction of cognitive governance, and a grounding of moral obligation in the soul's constitutive nature.

The title of this paper, Between *Wahm* and Inhibition, names the conceptual space in which the two traditions meet. It is a genuinely productive space. The conversation between them is not a historical exercise but a philosophical necessity. The contemporary world faces a crisis of self-understanding. The scientific tradition has produced extraordinary knowledge of the mechanisms of human cognition while losing the philosophical framework within which that knowledge makes full sense. The Islamic philosophical tradition, represented by Ibn Sinā at its highest, provides resources for recovering that framework.

The bridge between *wahm* and inhibition is, in the end, the bridge between two traditions that have been speaking, without fully realizing it, about the same human reality. Bringing them into explicit dialogue is one of the most philosophically productive projects available to scholars who take both traditions seriously. This paper is a contribution to that project.

REFERENCES

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory.* Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49*(1), 5-28. https://doi.org/10.1080/027249896392784

Black, D. L. (2008). Avicenna on self-awareness and knowing that one knows. In S. Rahman, T. Street, & H. Tahiri (Eds.), *The unity of science in the Arabic tradition* (pp. 63-87). Springer.

Chalmers, D. J. (1996). *The conscious mind: In search of a fundamental theory.* Oxford University Press.

Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology, 64*, 135-168. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750

Fazlur Rahman. (1952). *Avicenna's psychology: An English translation of Kitab al-Najat, Book II, Chapter VI.* Oxford University Press.

Goichon, A. M. (1938). *La distinction de l'essence et de l'existence d'apres Ibn Sinā.* Desclee de Brouwer.

Gutas, D. (1988). *Avicenna and the Aristotelian tradition: Introduction to reading Avicenna's philosophical works.* Brill.

Hasse, D. N. (2000). *Avicenna's De anima in the Latin West: The formation of a Peripatetic philosophy of the soul 1160-1300.* The Warburg Institute.

Ibn Sinā. (1999). *al-Qanun fi al-Tibb [The canon of medicine]* (O. C. Gruner & M. H. Shah, Trans.). Abjad Book Designers and Builders. (Original work published c. 1025)

Ibn Sinā. (2005). *Kitab al-Shifa': al-Nafs [The book of healing: On the soul]* (F. Rahman, Ed. & Trans.). Oxford University Press. (Original work published c. 1027)

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow.* Farrar, Straus and Giroux.

Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man.* Basic Books.

Marmura, M. E. (1986). Avicenna's 'Flying Man' in context. *The Monist, 69*(3), 383-395. https://doi.org/10.5840/monist198669324

McGinnis, J. (2010). *Avicenna.* Oxford University Press.

Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience, 24*, 167-202. https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex 'frontal lobe' tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49-100. https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734

Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science, 21*(1), 8-14. https://doi.org/10.1177/0963721411429458

Nasr, S. H. (1996). *The Islamic intellectual tradition in Persia.* Curzon Press.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation: Advances in research and theory* (Vol. 4, pp. 1-18). Plenum Press.

Sharif, M. M. (Ed.). (1963). *A history of Muslim philosophy* (Vol. 1). Otto Harrassowitz.

Stanovich, K. E., & West, R. F. (2000). Individual differences in reasoning: Implications for the rationality debate. *Behavioral and Brain Sciences, 23*(5), 645-665. https://doi.org/10.1017/S0140525X00003435

Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes.* Raven Press.

Wisnovsky, R. (2003). *Avicenna's metaphysics in context.* Cornell University Press.

Zelazo, P. D., Craik, F. I. M., & Booth, L. (2004). Executive function across the life span. *Acta Psychologica, 115*(2-3), 167-183. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.12.005

EXPLORING THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF MEDICINAL PLANTS IN MALE REPRODUCTIVE FUNCTION

Amal AOUMRANI
Hassan II University of Casablanca, Faculty of Sciences Ain Chock, Department of Biology, Health, Environment and Biotechnology, Laboratory Team of Pathophysiology, Molecular Genetics and Biotechnology (PGMB), Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0009-0009-7168-9216

Ahlam ZARHOUTI
Hassan II University of Casablanca, Faculty of Sciences Ain Chock, Department of Biology, Health, Environment and Biotechnology, Laboratory Team of Pathophysiology, Molecular Genetics and Biotechnology (PGMB), Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0009-0001-7027-5013

Bouchra EL KHALFI
Hassan II University of Casablanca, Faculty of Sciences Ain Chock, Department of Biology, Health, Environment and Biotechnology, Laboratory Team of Pathophysiology, Molecular Genetics and Biotechnology (PGMB), Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0000-0002-1318-6233

Abdelaziz SOUKRI
Hassan II University of Casablanca, Faculty of Sciences Ain Chock, Department of Biology, Health, Environment and Biotechnology, Laboratory Team of Pathophysiology, Molecular Genetics and Biotechnology (PGMB), Casablanca, Morocco
ORCID ID: 0000-0003-4498-8324

ABSTRACT
Male infertility is a major public health issue, accounting for nearly 40 to 50 percent of infertility cases among couples. This phenomenon is often linked to a decline in sperm parameters including sperm concentration, motility, and morphology as well as to environmental and pathophysiological factors. In light of growing concerns about the side effects of conventional medical treatments, interest in medicinal plants as complementary and natural therapeutic approaches is increasing. Medicinal plants, rich in bioactive compounds, are of particular interest for their ability to modulate various aspects of male reproductive health. This study explores the role of medicinal plants in reproductive health, focusing on their effects on spermatogenesis, sperm quality, hormonal balance, and oxidative stress. The objective of this study is to highlight the various roles that medicinal plants can play in male reproductive health and to open up new perspectives for their use in integrative approaches to infertility management.
Keywords: male infertility, reproductive health, medicinal plants, spermatogenesis, sperm quality.

THE DUAL ROLE OF MAST CELLS IN TUMORIGENESIS: IMPLICATIONS FOR VETERINARY ONCOLOGY

Rita FILES
University of Trás-os-Montes and Alto Douro
ORCID ID: 0009-0009-6211-850X

Ricardo OLIVEIRA
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

Catarina NUNES
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

Maria CARDOSO
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

Luana MARTINS
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

Gabriela MAIA
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

Isabel PIRES
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

ABSTRACT
Mast cells are immune system cells traditionally recognized for their role in allergic and inflammatory responses; however, increasing evidence highlights their significant involvement in the tumor microenvironment. These leukocytes infiltrate a wide range of solid and hematological tumors, where they can exert both pro-tumorigenic and anti-tumorigenic effects.
On the one hand, mast cells may promote tumor progression by releasing bioactive mediators such as histamine, proteases, cytokines, and angiogenic factors, thereby enhancing angiogenesis, extracellular matrix remodeling, and immune suppression. On the other hand, in certain contexts, mast cells can contribute to tumor cell elimination by recruiting and activating other immune cells.
The density and spatial distribution of mast cells within tumor tissues have been associated with patient prognosis across different cancer types, although findings remain inconsistent and sometimes contradictory. These variations likely reflect the complexity of tumor biology and the context-dependent behavior of mast cells.
Therefore, understanding the mechanisms that regulate mast cell function within the tumor microenvironment is essential for developing novel targeted therapeutic strategies. This study explores the dual role of mast cells in tumorigenesis and discusses their potential as therapeutic targets in veterinary oncology.
Keywords: Mast cells; Tumor microenvironment; Tumorigenesis; Veterinary oncology; Immunomodulation.

This work was carried out within the scope of the AICanceR∞Hub project (NORTE2030-FEDER-02687800), co-financed by the European Regional Development Fund (ERDF) under the Northern Regional Program 2021-2027 [NORTE2030].

CITIZEN SCIENCE IN VETERINARY MEDICINE: ASSESSING DOG OWNERS' AWARENESS OF CANINE BLADDER TUMORS

Rita FILES
University of Trás-os-Montes and Alto Douro
ORCID ID: 0009-0009-6211-850X

Isabel PIRES
University of Trás-os-Montes and Alto Douro

ABSTRACT
Bladder tumors are the most common cancers of the lower urinary tract in dogs, with transitional cell carcinoma (TCC) being the most frequent type. Although relatively rare, these tumors are important due to their aggressive nature and late diagnosis. Risk factors include female sex, neutering, certain breeds (such as Scottish Terriers), obesity, and environmental exposure. Common clinical signs, such as hematuria, dysuria, and increased urination frequency, are often misunderstood or ignored by owners.
Citizen science has become an important tool in health research by involving the public in data collection. In veterinary medicine, questionnaires for pet owners are a simple and effective way to assess knowledge about diseases.
This study aimed to evaluate the knowledge, attitudes, and practices of the Portuguese population regarding bladder tumors in dogs. An online survey was distributed through social media and veterinary-related platforms. The questionnaire collected demographic data and assessed participants' understanding of clinical signs, risk factors, and general disease awareness.
The results showed clear gaps in knowledge, especially in recognizing clinical signs and understanding risk factors. Many participants were unable to link urinary signs to cancer. Importantly, many respondents reported learning about the disease while completing the questionnaire, showing its educational value.
These findings highlight the need to improve communication between veterinarians and pet owners and to increase awareness of canine cancers. Citizen science can be a useful tool for both research and education. Improving owner knowledge may help with earlier detection of disease and better outcomes for animals
Keywords: Citizen science; Dog owners; Canine bladder tumors; Veterinary oncology; Survey

This work was carried out within the scope of the AICanceR∞Hub project (NORTE2030-FEDER-02687800), co-financed by the European Regional Development Fund (ERDF) under the Northern Regional Program 2021-2027 [NORTE2030].

USE OF INTERACTIVE DIGITAL SYSTEMS IN THE REHABILITATION OF PATIENTS WITH CONSEQUENCES OF TRAUMATIC BRAIN INJURY

Prof. Alexander PLAKIDA
State Non-Profit Institution «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine», Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-7537-7596

Svetlana TRAPEZNIKOVA
State Non-Profit Institution «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine», Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0009-0008-4106-6678

Victoria CHERNYAK
State Non-Profit Institution «Ukrainian Research Institute of Rehabilitation and Resort Therapy of the Ministry of Health of Ukraine», Odessa, Ukraine
ORCID ID: 0009-0006-4470-3463

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Due to the ongoing military conflict in Ukraine, one of the pressing challenges is the effective rehabilitation of the wounded. The most common injuries are mine and blast injuries, accompanied by traumatic brain injury and subsequent motor impairment. One of the most promising rehabilitation methods is the use of interactive digital systems to stimulate active patient interaction. **The study aimed** to investigate the effectiveness of the interactive sensory system "Briolight" in the rehabilitation of patients with disorders of gross and fine motor skills**.**

Materials and Methods: The study involved 30 patients with traumatic brain injury. Two equal groups of 15 participants were formed: a study group and a control group. The main group used the interactive "Briolight" system to improve gross and fine motor skills during comprehensive rehabilitation. The control group received standard non-pharmacological interventions (physical therapy and massage). To study gross and fine motor skills, we used the Romberg test, TUG, Box and Block, 10MWT, MotorSeq and 9-Hole Peg Test.

Results: The use of the Briolight system produced the following changes:

- Postural control (Romberg test) – 54.4% versus 22.9% in control ($P<0.001$)
- Ultimate agility and coordination (TUG) – 22.3% versus 8.7% in the control ($P<0.001$)
- Accuracy of finger tips (9-Hole Peg Test) – 11.7% versus 4.4% in control ($P<0.001$)
- Great motor skills (MotorSeq) – 19.7% versus 8.8% in control ($P<0.01$).

No significant differences were found in Box and Block test scores or 10-meter walking speed ($P>0.05$).

Conclusion: The Briolight system provides a more positive, differentiated rehabilitation effect compared to traditional methods, especially in sensorimotor integration, motor memory, hand motor skills, and stability, as reflected in improved balance, gross and fine motor skills, and precision of finger movements.

Key Words: disorders of gross and fine motor skills, rehabilitation, interactive sensor system.

GENOMIC INSIGHTS INTO IMIPENEM-RESISTANT PSEUDOMONAS AERUGINOSA: EVIDENCE FROM FOUR ISOLATES IN ALGERIAN PETS

Amina BADIS
Department of Veterinary Sciences, ESPA Laboratory, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University of Batna 1, Algeria

Nouzha HELEILI
Department of Veterinary Sciences, ESPA Laboratory, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University of Batna 1, Algeria

Manel MERRADI
Department of Veterinary Sciences, ESPA Laboratory, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University of Batna 1, Algeria

Amar AYACHI
Department of Veterinary Sciences, ESPA Laboratory, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University of Batna 1, Algeria

Fares KHERMOUCHE
Department of Veterinary Sciences, ESPA Laboratory, Institute of Veterinary Sciences and Agronomic Sciences, University of Batna 1, Algeria

Pierra Anna MARTINO
One Health Unit, Department of Biomedical, Surgical and Dental Sciences, University of Milan, Italy

Gabreiel MERONI
One Health Unit, Department of Biomedical, Surgical and Dental Sciences, University of Milan, Italy

Alessio SOGGUI
One Health Unit, Department of Biomedical, Surgical and Dental Sciences, University of Milan, Italy

ABSTRACT
Background: The emergence of carbapenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* represents a major threat to both human and veterinary medicine. Companion animals may act as reservoirs of such high-risk pathogens, contributing to their dissemination. This study aimed to investigate the genomic features of imipenem-resistant *P. aeruginosa* isolates recovered from dogs and cats in Algeria.
Methods: Four imipenem-resistant *P. aeruginosa* isolates were analyzed using antimicrobial susceptibility testing and long-read whole genome sequencing (Oxford Nanopore Technology). Bioinformatic analyses were performed to identify antibiotic resistance genes, virulence determinants, and sequence types.
Results: Genomic analysis revealed the presence of multiple β-lactamase genes, including *blaOXA-396*, *blaOXA-494*, *blaOXA-50*, and *blaPAO*, associated with carbapenem resistance. The isolates also harbored a diverse resistome enriched with efflux pump-related genes and the aminoglycoside resistance gene *aph(3')-IIb*. Virulence profiling identified key determinants involved in pathogenicity, including quorum sensing regulators (*lasR*, *rhlR*, *rhlI*), type III secretion system effectors, and biofilm-associated genes such as *algD*. All isolates exhibited the exoU^{-}/exoS^{+} virulotype and demonstrated a strong capacity for biofilm formation. Multilocus sequence typing revealed the presence of distinct sequence types, including the high-risk clone ST244.
Conclusion : This study provides novel genomic insights into imipenem-resistant *P. aeruginosa* from companion animals in Algeria. The coexistence of multiple resistance mechanisms and virulence factors highlights the potential risk of dissemination of these difficult-to-treat pathogens, emphasizing the need for continuous surveillance within a One Health framework.
Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, Imipenem resistance, Whole genome sequencing, Resistome, ST244, pets.

EVOLUTION OF PUBLIC OFFICIALS' ASSETS IN TABASCO: AN EXISTING LEGAL MECHANISM THAT IS RARELY APPLIED

Lic. Karla Ivonne Alvarado PADRÓN
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
ORCID ID: 0009-0006-7328-9476

Dra. Yazmín Isolda Álvarez GARCÍA
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
ORCID ID: 0000-0002-0587-0406

ABSTRACT
Random asset evolution reviews constitute a mechanism established within the administrative liability framework to verify the consistency between the income received by public officials and the increase in their assets during the exercise of their duties. This instrument makes it possible to analyze the information contained in the asset declarations submitted by officials throughout their careers in public service, with the purpose of identifying possible asset variations that do not correspond to legally obtained income. In this way, random asset evolution reviews can function as a preventive tool to detect potential irregularities related to illicit enrichment. Legislation on administrative responsibilities provides that the competent authorities may conduct asset verification procedures without necessarily requiring the existence of a prior complaint. The implementation of random reviews aims to strengthen institutional control mechanisms and create conditions that allow for more consistent monitoring of the asset evolution of individuals performing public functions. However, in the state of Tabasco, the application of this control instrument appears to be limited. Available information indicates that asset evolution procedures have been scarce and, in the identified precedents, their initiation has mainly resulted from complaints filed before the corresponding authority. This situation shows that asset reviews have not been implemented systematically nor through random selection schemes. Additionally, there is an absence of manuals or operational guidelines establishing the technical procedures required to conduct random asset evolution reviews, which makes their practical implementation more difficult within the institutions responsible for administrative oversight. In this context, the analysis of this issue allows for reflection on the need to strengthen asset verification mechanisms as part of institutional actions aimed at improving the supervision of the exercise of public office.
Keywords: Random asset evolution reviews; asset control; public officials; administrative responsibilities; illicit enrichment.

INTRODUCTION
Asset declaration systems are often presented as a fundamental component of corruption control in public service. However, their mere existence does not ensure results. Specialized literature has insisted that asset disclosure regimes only become effective when the declared information can be reviewed, cross-checked, and used to prevent or detect the use of public office for private benefit. The OECD warned that the usefulness of these systems depends on factors such as institutional design, verification procedures, sanctions, and the capacity of the authority responsible for administering them; similarly, the UNODC emphasized that asset disclosure produces better effects when there is a credible threat of detection and punishment in the event of inconsistencies or noncompliance (OECD, 2011; Habershon & Trapnell, 2012).
From this perspective, random asset evolution reviews play a particularly relevant role. They do not depend on a prior complaint or on suspicion already being visible in the public sphere. Their logic is preventive: to broaden the possibility of review, reduce the predictability of control, and allow the authority to examine asset trajectories without waiting for the problem to erupt. Comparative research has even shown that more robust financial disclosure systems are associated with better conditions for scrutiny and with relatively lower levels of corruption when they incorporate real verification mechanisms rather than mere filing obligations (Vargas & Schlutz, 2016).
In Mexico, this logic is not only doctrinal; it is also legal.

The General Law of Administrative Responsibilities expressly establishes that the Ministries and Internal Control Bodies must carry out a random verification of asset declarations and of the evolution of the assets of public servants. If no anomalies are found, the corresponding certification must be issued; otherwise, the appropriate investigation must be initiated. Likewise, the law itself assigns those authorities the responsibility of keeping asset information updated in the corresponding system and of verifying the possible existence of conflicts of interest. The legislature, therefore, did not conceive the asset declaration as a mere electronic file, but rather as the basis for an administrative verification function.

In Tabasco, the landscape is more complex. The state anti-corruption law already incorporates the logic of institutional coordination and the integration of electronic systems, including the asset evolution system, the interests declaration system, and the tax declaration record. In addition, recent institutional documents show that the state has a functioning system for receiving and managing asset declarations. However, that declarative infrastructure is not yet reflected, with the same clarity, in a public, periodic, and uniform practice of random verification of asset evolution. The system appears to be more developed for collecting information than for exploiting it analytically.

This is the central problem of this article. Its purpose is to explain why a legally existing power continues to show limited operational development in Tabasco and what conditions would be necessary to make it functional. The hypothesis guiding this work is that the current weakness does not stem from a strict normative gap, but from a proceduralization deficit: the legal authority exists, but there is no sufficiently clear administrative architecture to translate it into a stable, traceable, and technically defensible practice. This interpretation is consistent with recent studies on the implementation of anti-corruption policies, which have shown that the problem is often not the absence of rules, but rather the organizational obstacles that prevent them from being turned into effective capacities for risk management and institutional control (Perales-Fernandez, 2025; Meza & Pérez-Chiqués, 2024).

METHOD

This study was conducted through a qualitative, legal-documentary, and analytical approach. It does not seek to statistically measure the frequency of asset reviews in Tabasco, but rather to reconstruct the institutional meaning of this mechanism, identify the reasons for its weak operability, and propose a strengthening path. To do so, three types of materials were examined: primary legal sources, specialized academic literature, and public institutional documents related to the Tabasco context.

At the legal level, the General Law of Administrative Responsibilities and the Anti-Corruption System Law of the State of Tabasco were reviewed, since these are the norms that provide the main legal basis for the mechanism under study. At the academic level, books and indexed articles on asset declarations, corruption prevention, systemic corruption in local governments, and implementation obstacles in integrity policies were consulted. At the institutional level, recent official documentation from Tabasco regarding the functioning of the asset declaration system and the general results of the Ministry of Anti-Corruption and Good Governance was considered.

The analysis was structured around four axes: a) the preventive function of asset declarations; b) the legal scope of random verification; c) the gap between declarative infrastructure and analytical infrastructure in Tabasco; and d) the minimum conditions required for the operability of a state model of random asset review. Based on these axes, an interpretative and comparative reading was developed in order to answer the central question of the study and formulate a realistic administrative proposal compatible with the current regulatory framework.

RESEARCH FINDINGS AND DISCUSSION

The first finding is conceptual. Asset declarations should not be understood as an end in themselves, but as the first link in a chain of control. International literature has consistently pointed out that asset disclosure systems only become effective when the authority has the capacity to verify what has been declared, request explanations, cross-check information, and impose consequences for detected inconsistencies. In that sense, declaration without verification produces administrative order, but not necessarily public integrity.

The practical consequence is clear: an asset regime may achieve high formal compliance rates and still remain weak as a preventive tool if it fails to move from archiving to analytics (OECD, 2011; Habershon & Trapnell, 2012).

The second finding is legal. Mexican legislation already contains a sufficient basis to justify random asset review. Article 30 of the General Law of Administrative Responsibilities is categorical in imposing the random verification of asset declarations and the evolution of assets, while Article 31 complements that obligation by assigning the competent authorities responsibility for updating the asset system and monitoring the declared information. To this is added the possibility of an administrative investigation when anomalies are not clarified. From a systematic interpretation, the law does not leave this function as a mere eventuality, but rather as an organic responsibility of control bodies.

The third finding is that Tabasco does not start from a structural absence either. The state anti-corruption law expressly recognizes integration into the national system, information exchange, and the presence of the asset evolution system within the digital architecture. This means that, at least at the normative level, the state has incorporated the institutional language necessary for more robust asset control. However, the transition from that legal provision to a consolidated public practice remains incomplete. The available institutional information shows significant activity in the management of declarations and in the operation of the platform, but it does not provide equally clear evidence of a consolidated and visible methodology for random asset evolution reviews.

This leads to the fourth finding, which is probably the most important: the weakness of the mechanism in Tabasco does not seem to be normative, but procedural. In other words, the main problem is not that the authority lacks the power, but that it does not have—at least in a public, uniform, and consolidated form—a sufficiently clear procedure for exercising it. A serious asset verification process requires defining who makes up the reviewable universe, how the sample is selected, which variables are compared, what type of documentation is requested, what constitutes a red flag, and what the subsequent route is after clarification. When these elements are not clearly proceduralized, the power tends to remain underused. This type of phenomenon has been identified in recent studies on anti-corruption policies in Mexico: the existence of rules does not guarantee their effective execution when the organization lacks capacities, sequences, and common implementation criteria (Perales-Fernandez, 2025).

The discussion allows for an additional layer. The implementation problem in Tabasco should not be seen as a mere isolated technical deficit, but as a local expression of a broader difficulty: the distance between anti-corruption normative design and the real capacity of subnational institutions to sustain it. The work coordinated by Meza and Pérez-Chiqués (2024) is particularly useful because it shows how corruption can become consolidated at the local level when formal rules coexist with fragmented capacities, weak routines, and control mechanisms that fail to stabilize as practice. Applied to the case analyzed here, this means that the lack of operability of random asset evolution reviews is not a minor administrative accident, but an indicator that the system has not yet closed the gap between legal obligation and effective control.

The fifth finding is comparative and propositional. Recent federal experience shows that the problem can be addressed through proceduralization. The guidelines and procedure manuals issued by the Ministry of Public Administration in 2024 for random verification and investigation in matters of asset evolution are relevant not only because they regulate the matter within the Federal Public Administration, but also because they reveal the methodological direction of change: a power becomes operative when it is broken down into responsibilities, phases, products, and criteria. The lesson for Tabasco is not to mechanically copy that model, but to understand that the viability of asset control depends on giving it procedural shape.

From this follows a gradual proposal. A first step would be to define a reviewable universe composed of public servants with at least two comparable declarations. A second step would be to adopt a stratified random sample capable of preserving the logic of chance without losing representativeness in sensitive areas, hierarchical levels, and functions involving the handling of resources or authorizations. A third step would be to build a standardized asset review form with basic variables on income, assets, liabilities, relevant acquisitions, and interannual inconsistencies.

A fourth step would be to define minimum red flags: disproportionate asset growth in relation to income, abrupt reduction of liabilities without a clear source, acquisition of high-value goods without sufficient support, or repeated omissions across reporting periods. These alerts would not amount to an automatic imputation; they would function as triggers for clarification and enhanced review. This type of design is consistent with the literature on risk and control, and even with recent studies suggesting that an increase in the perceived risk of audit may modify the asset behavior of public actors (Fonseca & Izumi, 2025).

A final point in the discussion is organizational. The serious activation of this mechanism requires a clear distribution of responsibilities. The Ministry of Anti-Corruption and Good Governance could assume the steering and methodological role; the Internal Control Bodies could handle sectoral validation of the reviewable universe and documentary support; and the OSFE, within its own sphere, could contribute findings or risk signals derived from audits. The value of this articulation would not be to multiply bureaucracy, but to make use of existing capacities within a more intelligent control circuit. In terms of public integrity, this would allow a shift from data accumulation toward an asset review policy with greater coherence, preventive effect, and institutional credibility.

CONCLUSION

Random asset evolution reviews constitute one of the most relevant tools within the Mexican regime of administrative responsibilities for strengthening preventive control over the asset-related conduct of public servants. Their importance lies in the fact that they make it possible to turn the asset declaration into an input for verification, clarification, and investigation, rather than merely a formal compliance requirement. The legal basis for this function exists expressly in the General Law of Administrative Responsibilities, and the state framework of Tabasco incorporates regulatory elements compatible with its development. Therefore, the current problem is not one of legal inexistence.

The weakness lies in the operational sphere. Tabasco has made progress in the reception and administration of asset declarations, but it has not yet shown with equal clarity a public, uniform, and systematic methodology for the random verification of asset evolution. This gap keeps asset control closer to administrative compliance than to substantive oversight. As long as the information remains primarily archival rather than analytical, the preventive capacity of the system will remain limited.

The most reasonable solution is to proceduralize the already existing power. Defining reviewable universes, using stratified random samples, establishing asset red flags, standardizing review forms, setting clear clarification phases, and institutionally articulating the Ministry, Internal Control Bodies, and OSFE would allow random asset evolution to cease being an abstract possibility and become a credible state practice. If that occurs, Tabasco would not only strengthen its anti-corruption system; it would also reduce the distance between declaring and verifying, which is ultimately where the real effectiveness of public asset control is at stake.

REFERENCES

Brooks, G., Walsh, D., Lewis, C., & Kim, H. (2013). *Preventing corruption: Investigation, enforcement and governance*. Palgrave Macmillan.

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2025). *Ley General de Responsabilidades Administrativas*.

Fonseca, T. do N., & Izumi, M. Y. (2025). Audit risk and wealth accumulation: When politicians give up on corruption. *Journal of Politics in Latin America, 17*(3).

Gobierno del Estado de Tabasco. (2025). *Ley del Sistema Anticorrupción del Estado de Tabasco*.

Graycar, A., & Prenzler, T. (2013). *Understanding and preventing corruption*. Palgrave Macmillan.

Habershon, A., & Trapnell, S. E. (2012). *Public office, private interests: Accountability through income and asset disclosure*. World Bank Group and United Nations Office on Drugs and Crime.

Meza, O., & Pérez-Chiqués, E. (Eds.). (2024). *The structure of systemic corruption: How corruption consolidates in local governments*. Springer.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2011). *Asset declarations for public officials: A tool to prevent corruption*. Organisation for Economic Co-operation and Development Publishing.

Perales-Fernandez, F. (2025). Tackling corruption: Identifying and dismantling implementation obstacles in corruption risk management policy. *Public Integrity*.

Secretaría Anticorrupción y Buen Gobierno del Estado de Tabasco. (2026). *Informe final de resultados del Programa Anual de Trabajo 2025*.

Vargas, G. A., & Schlutz, D. (2016). Opening public officials' coffers: A quantitative analysis of the impact of financial disclosure regulation on national corruption levels. *European Journal on Criminal Policy and Research, 22*(3), 439–475.

UNDERSTANDING YOUR ENVIRONMENT, ENSURING THE FUTURE SUCCESS OF YOUR PROJECT

Dr. Hanane RAHMOUNI
University of Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Faculty of Economic, Commerce and Management, Department of Commerce, Algeria
ORCID ID: 0009-0003-1052-6188

ABSTRACT

Every student or young researcher with an entrepreneurial background dreams of starting their own business. The term "business" has taken on significant meaning in the professional, economic, and environmental spheres.

Based on our experience and research, studying environmental conditions and obligations is essential for establishing a business.

Understanding one's environment at different scales is essential for the success of a business idea or its implementation in the professional sphere.

Analyzing environmental conditions is crucial because running a business isn't just about developing an idea. Thinking about the business also means considering the various stakeholders involved.

A business is primarily an administrative and regulatory matter before it is a simple scientific idea. A young entrepreneur or student must have experience and a thorough understanding of the concept of business. They must have experience in business management. The success of an idea lies in the success of the business itself, achieved through knowledge, expertise, and experience.

In our opinion, working in a business environment before proposing an idea is essential for developing a business plan or for considering a project, idea, or concept. Having a genuine understanding of the business world is fundamental to the development of a young entrepreneur's business idea. Understanding one's environment by gaining professional experience before even considering starting a business leads to positive outcomes for both the idea of creating a business and the development of an idea for its realization.

Keywords: business, young entrepreneur, environment, making your idea a success.

PUBLIC EXTERNAL AUDIT IN IMPLEMENTING SDG 2 IN EU

Flavian CLIPA
"Ion Ionescu de la Brad" University of Life Sciences, Department of Agriculture, Romania
ORCID ID: 0000-0002-7310-6768

Raluca Irina CLIPA
"Alexandru Ioan Cuza" University of Iasi, Department of Economics and International Relations, Romania
ORCID ID: 0000-0002-0214-9568

ABSTRACT
The constant concerns of states for the eradication of hunger materialized in the adoption in 2015 of the UN 2030 Agenda for Sustainable Development and the Sustainable Development Goals (SDGs), in which SDG 2 *Zero hunger* plays a central role. The commitments assumed by each of the states in these directions of action are meritorious, but the drawing of concrete coordinates, in terms of ensuring the institutional infrastructure in the implementation of the sub-goals aimed at the eradication of hunger and the adjacent financing, represents a complex and winding path, influenced by the pre-existence of capabilities that lead to the possibility of a holistic approach, the level of economic development, the political vision, the national interest, the degree of convergence of all stakeholders involved. However, this broad process must be based on the principles of budgetary transparency, accountability, efficiency, economic and effectiveness in the use of national public funds and various forms of support received from international organizations. In this regard, the UN has mandated INTOSAI (International Organization of Supreme Audit Institutions) and consequently SAIs to assess the concrete way in which each of the member states acts to implement the SDG 2. Thus, Supreme Audit Institutions (SAIs) have a fundamental role in monitoring, evaluating, formulating recommendations and following up on their effective implementation in practice. This article analyses the role of SAIs in the EU in providing support to policymakers in achieving this objective, the difficulties encountered by them, outlining recommendations capable of providing an adequate toolbox to optimize the types of audits that are best suited to the evaluation of national strategies in the field of hunger eradication.
Keywords: SDG 2, SAIs, external public audit.

THE STUDY OF THE NATIONAL PAYMENT ECOSYSTEM IN INDONESIA: DIGITAL TRANSFORMATION AND FINANCIAL INCLUSION PERSPECTIVE

Ines Kartika DEWI
Data Science Study Program, Faculty of Information Technology, Perbanas Institute

Chelsea Aulia ZAHRA
Data Science Study Program, Faculty of Information Technology, Perbanas Institute

Mercurius Broto LEGOWO
Data Science Study Program, Faculty of Information Technology, Perbanas Institute

ABSTRACT
The rapid development of information and communication technology has significantly transformed financial transactions worldwide. Payment systems are evolving from traditional cash-based mechanisms toward electronic and digital platforms that offer greater efficiency, security, and accessibility. In Indonesia, the development of the national payment ecosystem has been strongly supported by regulatory frameworks and technological innovation led by Bank Indonesia. The implementation of the Quick Response Code Indonesian Standard (QRIS) has facilitated the adoption of digital payments and promoted financial inclusion, particularly among Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs). This study aims to evaluate the structural configuration, stakeholder involvement, and the developmental dynamics of Indonesia's national payment ecosystem. A qualitative descriptive method is employed in this study, relying on a literature review of scholarly publications, regulatory frameworks, and industry reports. The findings reveal that multiple stakeholders are involved in the national payment ecosystem, such as regulators, banks, fintech firms, merchants, and consumers. Digital payment innovations, including e-wallets, mobile banking, and payment gateways, play a significant role in enhancing transaction efficiency, interoperability, and financial inclusion. The study concludes that strengthening collaboration among stakeholders, improving digital infrastructure, and enhancing financial literacy are critical factors in developing a sustainable and inclusive national payment ecosystem.
Keywords: Digital transformation, Financial inclusion, MSMEs, National payment ecosystem, QRIS

FOREGROUNDING THROUGH LEXICAL REPETITION: A STYLISTIC ANALYSIS OF A DREAM WITHIN A DREAM BY EDGAR ALLAN POE

Shakirullah
Abasyn University, Faculty of English, Department of English
ORCID ID: 0009-0001-3598-4527

MS. Sabeeha Hadi
Abasyn University, BS English, Department of English
ORCID ID: 0009-0007-2418-2426

ABSTRACT
The stylistic analysis can be considered a productive source of information on how linguistic structures influence the meaning of literature and experience aestheticism. This paper analyzes the stylistic role that any given lexical repetition assumes within the A Dream Within a Dream poem by Edgar Allan Poe based on the themes some repetitive lexical elements play in the poem development, the degree of emotional appeal, and structural unity. The studies are supported by the theoretical concepts of foregrounding theory put forward by Geoffrey Leech and Mick Short together with Systemic Functional Linguistics (SFL) proposed by M. A. K. Halliday, especially the textual metafunction which describes how cohesion and emphasis are formed in text. The qualitative stylistic strategy described in the paper is lexical frequency analysis as the stylistic approach substantiated by close reading of a poem to extract and decode essential recurrent lexical words including dream, weep, and the invocation O God. In addition, the lexical repetition helps to form rhythmic pattern of the poem, emotional resonance and structural unity. As it can be seen, the repetition in the poetic discourse created by Poe does not serve as a simple ornamental rhetorical device but is a thoughtful effort of the stylistic means that drives the meaning to a higher level and makes the readers think more about the vulnerability of human perception and the world around us. Through the combination of linguistic analysis and literary interpretation, the research describes how lexical patterning is an important factor in the construction of poetic discourse and reader response.
Keywords: lexical repetition, stylistics, foregrounding, systemic functional linguistics, poetic discourse.

استراتيجية القوة الناعمة التركية في الجزائر: الأدوات والتأثير

TURKEY'S SOFT POWER STRATEGY IN ALGERIA: TOOLS AND IMPACT

Dr. Lamia HARROUCHE
University of Tizi Ouzou, Faculty of Law and Political Science, Department of Political Science, Specialization in Euro-Mediterranean Studies
ORCID ID: 0000-0001-5985-4113

الملخص:
تمكنت تركيا خلال القرن الحادي والعشرين من زيادة قوتها في السياسية الخارجية ،فأصبحت فاعلة في التحولات العالمية. حيث غير وصول حزب العدالة والتنمية إلى السلطة في تركيا أهداف ومحددات السياسة الخارجية التركية في شمال أفريقيا عموماً، والمغرب العربي خصوصاً، بتبني تركيا نهجاً شاملاً في علاقاتها، يجمع بين قوتها الناعمة عن طريق المساعدات الإنسانية والمنظمات غير الحكومية والتجارة، والقوة الصلبة من خلال صناعة الدفاع ومبيعات الأسلحة. حيث أصبحت تركيا أنموذجاً جديداً يكتسب ثقة شعوب المنطقة، وبالتالي فإن التقارب بين الجزائر وتركيا اكتسب زخماً كبيراً منذ عقد اتفاقية التعاون والصداقة بين البلدين سنة 2006.
وباعتبار العلاقات بين تركيا والجزائر كانت قائمة على التحالف والتعاون منذ العهد العثماني، يحاول البلدين استحضار المنطق الذي كان سائداً أيام الدولة العثمانية وفق مقتضيات تستجيب للعصر الحالي، فكيلاهما بحاجة لتنامي هذه العلاقات، نظراً لمقتضيات التحولات الجيواستراتيجية العالمية الراهنة.
تتناول هذه المداخلة تحليل استراتيجيات النفوذ التركي في الجزائر وفعالية أدواته غير الصلبة ضمن السياق المحلي والاقليمي. تهدف هذه الدراسة إلى تحليل طبيعة استراتيجية العلاقات التركية الجزائرية ،ومدى فعاليتها وحدود تأثيرها في الجزائر، مع تسليط الضوء على التحديات المحلية والاقليمية التي تواجهها. تنطلق الدراسة من الاشكالية الآتية: إلى أي مدى تستطيع تركيا تعزيز نفوذها في الجزائر باستخدام أدوات القوة غير الصلبة ، وما حدود هذا التأثير ؟. للاجابة عن هذه الاشكالية سيعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، ومنهج دراسة الحالة، مع تحليل المصادر الرسمية الاقتصادية والثقافية، بالاضافة إلى الدراسات الأكاديمية السابقة، وذلك لتقديم قراءة شاملة للتأثير التركي في الجزائر ضمن التحولات الاقليمية الراهنة.
الكلمات المفتاحية: القوة الناعمة، القوة الصلبة، تركيا، حزب العدالة والتنمية، شمال افريقيا، الجزائر، التحولات الجيو استراتيجية.

ABSTRACT
During the twenty-first century, Turkey has expanded into new fields and strengthened its influence in foreign policy, becoming an active actor in global transformations. The rise of the Justice and Development Party (AKP) to power in Turkey redefined the objectives and determinants of Turkish foreign policy in North Africa in general, and the Maghreb in particular. Turkey adopted a comprehensive approach in its relations, combining soft power through humanitarian aid, non-governmental organizations, and trade, with hard power through defense industries and arms sales. Turkey thus emerged as a new model gaining the trust of the region's populations, which has significantly boosted the rapprochement between Algeria and Turkey since the signing of the Cooperation and Friendship Agreement in 2006. Considering that the relations between Turkey and Algeria have been based on alliance and cooperation since the Ottoman era, both countries seek to revive the principles that prevailed during Ottoman times in a manner compatible with contemporary requirements, given the need to strengthen bilateral relations amid current geostrategic transformations. This study analyzes Turkey's strategies of influence in Algeria and the effectiveness of its soft power tools within the local and regional context. It aims to examine the nature of Turkish-Algerian relations, their effectiveness, and the limits of their influence, while highlighting the local and regional challenges. The study is guided by the following research question: To what extent can Turkey enhance its influence in Algeria using soft power tools, and what are the limits of this influence? To answer this question, the research employs a descriptive-analytical approach and a case study method, analyzing official, economic, and cultural sources, alongside previous academic studies, to provide a comprehensive understanding of Turkish influence in Algeria amid regional transformations.
Keywords: Soft Power, Hard Power, Turkey, Justice and Development Party, North Africa, Algeria, Geostrategic Transformations

BALKANLARDA ŞARKIYAT ÇALIŞMALARINA YENI BIR BAKIŞ

A NEW PERSPECTIVE ON ORIENTAL STUDIES IN THE BALKANS

Adriatik DERJAJ
Assoc. Prof. Dr., Tirana University, Fakulty of Foreign Langıages, Department of Balkan and Slavic Languages
ORCID ID: 0000-0002-4537-6517

ÖZET
Şarkiyat çalışmaları, yani Oryantalizm, tarihsel olarak Batı'nın Doğu toplumlarını inceleme ve tanımlama biçimini ifade eder. Geleneksel yaklaşımda Doğu, çoğu zaman egzotik veya değişime kapalı bir "öteki" olarak temsil edilmiştir. Bu bakış açısı, yalnızca akademik bir yaklaşım değil, aynı zamanda siyasi ve kültürel güç ilişkilerinin de bir yansıması olmuştur. Günümüzde şarkiyat çalışmaları, Postkomunizm etkisiyle daha eleştirel ve çok boyutlu bir yapıya kavuşmuştur. Yeni yaklaşım, Doğu toplumlarını tek bir bakış açısından değerlendirmek yerine, farklı kültürel, sosyal ve tarihsel bağlamlar içinde anlamaya çalışır. Ayrıca, Doğu toplumlarından gelen akademisyenlerin katkıları daha fazla önem kazanmış, böylece daha dengeli ve kapsayıcı bir bilgi üretimi mümkün olmuştur.
Bu bildiride, modern şarkiyat anlayışını ele alacağız, geçmişteki önyargılı ve tek taraflı yaklaşımlardan uzaklaşarak, kültürler arası diyalogun etikisi üzerinde durulacak.
Anahtar Kelimeler: Şarkiyat, doğu-batı, dünya görüşü, kültür, Balkan Dilleri.

ABSTRACT
Oriental studies, or Orientalism, historically refers to the way the West has studied and defined Eastern societies. In the traditional approach, the East has often been represented as an exotic or resistant "other." This perspective has been not only an academic approach but also a reflection of political and cultural power relations. Today, Oriental studies has become more critical and multifaceted under the influence of Post-Communism. The new approach seeks to understand Eastern societies within different cultural, social, and historical contexts, rather than evaluating them from a single perspective. Furthermore, the contributions of academics from Eastern societies have gained more importance, thus enabling a more balanced and inclusive production of knowledge. In this paper, we will examine the modern understanding of Oriental studies, moving away from past prejudiced and one-sided approaches and focusing on the impact of intercultural dialogue..
Keywords: Orientalism, East-West, worldview, culture, Balkan languages

EMPOWERING ASIA'S RISE THROUGH GREEN ANTITRUST: INDIA'S PATH TO SUSTAINABLE AND FAIR MARKETS

Dr. Anwesha GHOSH
Amity University Mumbai, Amity Law School, India
ORCID ID: 0000-0003-4167-2121

Dr. Moumita Rout MAJUMDAR
Amity University Mumbai, Amity Law School, India
ORCID ID: 0009-0006-0915-9474

ABSTRACT
In recent years, Asian economies have begun re-evaluating how their legal frameworks can foster both economic growth and environmental sustainability. India, as a key player in Asia's development story, faces the complex task of aligning its competition law with its sustainability ambitions. The emerging concept of Green Antitrust seeks to use competition law not only as a means of protecting market efficiency and consumer welfare but also as a tool to promote environmentally responsible business practices. This current study aims to examine how India's Competition Act, 2002 can integrate environmental sustainability into its objectives without compromising competitive markets. It explores (i) the legal feasibility of allowing sustainability-oriented collaborations among firms, (ii) the potential scope for interpretive flexibility by the Competition Commission of India (CCI), and (iii) lessons that India can draw from Asian and global experiences. The study follows a comparative and doctrinal approach, analyzing case laws, statutory provisions, and policy documents. It draws on examples from Japan, Singapore, and the European Union to identify how different jurisdictions reconcile competition enforcement with sustainability objectives. The paper argues that rigid antitrust enforcement may discourage eco-friendly collaborations that serve the public interest. India can address this gap by adopting a guideline-based or interpretive model that recognizes environmental benefits as part of consumer welfare. Embedding sustainability within competition policy would not only support India's domestic green transition but also strengthen Asia's collective move toward just, inclusive, and sustainable growth. The paper concludes that collaboration between regulators, academics, and industry bodies is vital to transform competition law into a driver of sustainable development rather than a constraint on it.
Keywords: Green Antitrust, Competition Law, Environmental Sustainability, CCI, Antitrust Enforcement

'LEGITIMATIZING LOOTING': BETWEEN REPATRIATION AND CUSTODIANSHIP OF AFRICAN ART IN EUROPE

Festus Chibuike ONUEGBU
Department of History and International Studies, Nnamdi Azikiwe University Awka, Nigeria
ORCID ID: 0000-0002-4205-917X

ABSTRACT
A lot of conversations and advocacy campaigns have gone on concerning the repatriation of looted African art treasures in Europe. However, despite the spirited activism for the repatriation of African arts and the global appeal that have come to define it, very little results have been recorded in relation to the number of looted art treasures that have been returned or, at least, compensated for. Thousands of these artifacts are still well decorated in several European museums and private collections as important global cultural repositories. This paper, therefore, investigates *why* these stolen arts have largely continued to remain in several European custodies. The paper is a qualitative ethno-historical research, and makes use of both primary and secondary sources of data. It discusses the challenges that are in the way of returning those arts to Africa as well as examines the basis and rationalization of their continued hold in Europe. It equally tinkers some new grounds for the peoples and governments of Africa to ensure significant repatriation of those stolen art treasures. Leaning on the lens of the theory of 'spoils of war', the paper locates the problem of unwillingness to repatriate Africa's art treasures in Europe on the 'conqueror's mentality' – a self-justification that 'what was acquired by conquest must remain in the permanent possession of the victor'. Europeans do not just see those looted African arts in their possessions as value addition to their own global tourism economy but important heroic exploits made in the course of advancing a 'superior civilization' and to showcase their dominant place in global history. This paper, therefore, concludes that the unwillingness to yield to the demands for repatriation of Africa's art treasures is not so much about lack of modern infrastructure and expertise to support the stay of such arts in Africa but so much about Europe's imposing sense of self entitlement to appropriate and own what does not belong to it. Hence, African peoples and governments are, therefore, enjoined to first launch initiative to challenge and disabuse such hypocrisy reeking self-entitlement mentality of Europe in order to gain significant global support for the repatriation of their stolen art treasures.
Keywords: Africa, Europe, African Art, Loot, and Repatriation.

POVERTY AS A DETERMINANT OF DOMESTIC FIREWOOD CONSUMPTION AND ITS EFFECT ON THE FORESTS OF ECUADOR

Maribel CAICEDO
Latin American Faculty of Social Sciences, Department of Development, Environment and Territory, Quito, Ecuador

ABSTRACT
The purpose of this research was to analyze poverty as a determinant factor of domestic consumption of wood and its effect in deforestation in Ecuador. To achieve this, we have processed data from the population and housing census and from household surveys carried out during the last 35 years, forest cover data and a National Forest Assessment. This work makes two contributions. On the one hand, it studies and quantifies deforestation originated by wood consumption, which has been scantily analyzed in Ecuador. On the other hand, it provides a methodological approach that allows a precise accounting of this information through an innovative model of economies of scale, which assumes diminishing marginal consumptions in households. We study the relationship between fuel wood consumption and the state of household poverty through a multivariate analysis that incorporates socioeconomic and demographic variables. With these elements, we show that the largest share of wood consumption does not result from subsistence consumption, but from commercial and productive consumption. For this reason, domestic fuel wood consumption for cooking barely explains deforestation. We have estimated that, from the 49,497 hectares of annual deforested area in the country, 430.6 hectares of forest are affected by the consumption of this resource.
Keywords: deforestation, economies of scale, multiple correspondence analysis, Ecuador.

DIGITAL ENTREPRENEURSHIP CAPABILITIES, INSTITUTIONAL VOIDS, AND PRODUCTIVITY DYNAMICS IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES: A MULTILEVEL STRUCTURAL EQUATION AND CAUSAL MEDIATION ANALYSIS FROM AN EMERGING ECONOMY PERSPECTIVE

Prof. Ndubuisi-Okolo Purity U. Grace NWANONIGWE AKAEGBOBI
Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, Nnamdi Azikiwe University, Awka, Nigeria

Dr. Attah Emmanuel YUSUF
Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, Veritas University, Abuja, Nigeria

ABSTRACT

The productivity and performance of small and medium-sized enterprises (SMEs) in emerging economies remains uneven despite increasing investments in technology/digitalization. While previous studies acknowledge the importance of digital entrepreneurship capabilities, limited attention has been paid to how these capabilities interact with institutional voids to shape productivity outcomes. Leaning on dynamic capability theory and institutional theory, this study utilizes data from 1,215 SMEs from emerging economies to examine the multilevel mechanisms through which digital entrepreneurship capabilities influence SME productivity within institutionally constrained environments.

Using a multi-source dataset comprising firm-level survey data and region-level institutional indicators from an emerging economy context, the study employs multilevel structural equation modeling (MSEM) to account for nested data structures and unobserved heterogeneity. Furthermore, a causal mediation analysis is conducted to examine whether digital opportunity exploitation and process innovation serve as key transmission channels linking digital entrepreneurship capabilities to productivity outcomes. Endogeneity concerns are addressed through instrumental variable techniques and robustness checks.

The findings reveal that digital entrepreneurship capabilities exert a significant and positive influence on SME productivity, but this relationship is contingent upon the severity of institutional voids, including regulatory inefficiencies, infrastructural deficits, and weak market-supporting institutions. Specifically, institutional voids partially attenuate the direct productivity gains of digital capabilities, while simultaneously amplifying their indirect effects through digital opportunity exploitation and operational innovation. At the regional level, stronger institutional quality enhances capability leverage, indicating cross-level complementarities between firm capabilities and institutional environments.

This study contributes to the literature in three important ways. First, it advances digital entrepreneurship research by integrating institutional voids into a multilevel productivity framework. Second, it extends dynamic capability theory by demonstrating how institutional constraints reshape capability–performance linkages. Third, methodologically, it offers robust evidence using MSEM combined with causal mediation techniques, responding to recent calls for greater analytical rigor in entrepreneurship research.

Practically, the findings underscore the need for SME managers to strategically develop digital entrepreneurship capabilities that are adaptive to institutional weaknesses, while policymakers need to prioritize institutional reforms that complement firm-level digital transformation. Overall, the study provides nuanced insights into the productivity dynamics of SMEs in emerging economies, with implications for theory, policy, and practice in the digital age.

Keywords: Digital Entrepreneurship Capabilities, Institutional Voids, Productivity and Small and Medium Scale Enterprises.

LEVERAGING GAMIFICATION FOR ENHANCED EMPLOYEE ENGAGEMENT, RECRUITMENT, AND PERFORMANCE: A STUDY ON HUMAN RESOURCE MANAGEMENT PRACTICES IN JORDANIAN ORGANIZATIONS

Lara Haitham BARHAM
University of Pecs, Faculty of Business and Economics, Hungary
ORCID ID: 0009-0005-6971-5287

ABSTRACT
This study examines gamification effectiveness in enhancing employee engagement, recruitment, and performance within Human Resource Management practices in Jordanian organizations. Despite widespread adoption, empirical evidence regarding gamification effectiveness in HRM contexts remains limited, particularly in Middle Eastern environments. This research investigates relationships between gamified recruitment elements and employee attraction perceptions in Jordan's telecommunications sector. The study employed quantitative methodology involving 1024 participants from private sector companies. A structured questionnaire utilizing five-point Likert scale achieved 68.3% response rate. Statistical analysis employed Kendall's tau correlation and descriptive statistics. Findings reveal significant positive correlations between perceived effectiveness of gamified recruitment assessments and employee attraction ($\tau = 0.3242$, $p < 0.001$), representing medium effect size. Results suggest 10.5% variance in recruitment attraction is explained by assessment effectiveness. These findings contribute to gamification theory by providing empirical validation in Middle Eastern contexts, demonstrating recruitment assessments enhance organizational attractiveness.
Keywords: Gamification, Human Resource Management, Recruitment Effectiveness, Employee Engagement, Organizational Performance

ADVANCING SUSTAINABILITY THROUGH CIRCULAR ECONOMY AND ORGANIZATIONAL EXCELLENCE: INSIGHTS FROM JORDAN'S PRIVATE SECTOR

Malek Mohammed GHAZO
University of Pecs, Faculty of Business and Economics, Hungary
ORCID ID: 0009-0006-7735-5194

ABSTRACT

The global transition toward sustainable development has emphasized the integration of Circular Economy principles into organizational strategies to address environmental, economic, and social challenges. This study investigates the interplay between Circular Economy adoption and organizational excellence within Jordan's private sector, focusing on Key Performance Indicators (KPIs) as pivotal enablers of sustainability transformation. Drawing on a robust quantitative methodology, 449 private sector organizations were surveyed, with data analyzed using descriptive and inferential statistics, including principal component and regression analyses. Findings reveal that KPI implementation significantly influences the adoption of Circular Economy principles, as supported by a high regression coefficient ($R = 0.716$) and explanatory power ($R^2 = 0.511$). The regression model suggests that for every unit increase in KPI integration, Circular Economy adoption improves by 0.672 units, underscoring KPIs' role in aligning strategic objectives with sustainable practices. The study further demonstrates how performance metrics foster operational efficiency, stakeholder engagement, and innovation, contributing to sustainable business practices. This research highlights the critical role of the European Foundation for Quality Management model in structuring KPI frameworks to support Circular Economy principles. It also underscores the importance of inclusive stakeholder engagement and policy support in overcoming barriers specific to small and medium-sized enterprises. These insights provide actionable recommendations for industry leaders, policymakers, and sustainability advocates, offering a pathway to enhanced organizational resilience and sustainable transformation. By addressing gaps in the measurement and application of Circular Economy principles, this study contributes to the broader discourse on sustainable business practices, advancing theoretical and practical frameworks for sustainability.

Keywords: Circular Economy, Organizational Excellence, Key Performance Indicators (KPIs), Sustainability Transformation, Private Sector Innovation.

THE ROLE OF FOREIGN INVESTMENT IN THE ECONOMY OF KYRGYZSTAN

Satybaldy OMURZAKOV
Doctor of Economic Sciences, Professor, Full Member (Academician) of the Regional Academy of Management (RAM), International University named after K.Sh. Toktomamatov
ORCID ID: 0009-0002-6005-7116

Asel PAZYLOVA
Lecturer, Osh Technological University, Institute of Economics and Management, Department of Economics and Finance
ORCID ID: 0009-0004-8711-4613

ABSTRACT
This article examines the role of foreign investment in the economy of Kyrgyzstan and evaluates its significance in promoting economic growth, structural transformation and the country's integration into the global economic system. In the context of globalization and increasing competition for capital, foreign investment has become one of the key drivers of national economic development, especially for countries with limited domestic financial resources. For Kyrgyzstan, attracting foreign capital is of strategic importance, as it contributes to the modernization of production, the development of infrastructure, the introduction of advanced technologies and the expansion of employment opportunities. The study is based on the analysis of statistical and analytical data obtained from the National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic and the UNCTAD database. These information sources made it possible to assess the dynamics, structure and sectoral distribution of foreign investment, as well as its impact on the country's macroeconomic indicators. Particular attention is paid to the relationship between foreign investment inflows and such important economic outcomes as industrial development, export potential, regional economic activity and the overall investment climate. The article emphasizes that foreign investment plays not only a financial role, but also serves as a catalyst for institutional development, managerial improvement and the formation of a more competitive business environment. At the same time, the research highlights a number of persistent challenges, including regional disparities in investment allocation, dependence on a limited number of sectors, and external economic vulnerabilities. The findings suggest that the effectiveness of foreign investment in Kyrgyzstan depends not only on the volume of capital attracted, but also on the quality of the investment environment, the consistency of state policy, and the ability of the economy to channel investments into productive and innovation-oriented sectors. Strengthening these conditions can enhance the long-term contribution of foreign investment to sustainable economic development in Kyrgyzstan.
Keywords: Foreign Investment, Economic Growth, Investment Climate, Sustainable development, Kyrgyzstan.

DEVELOPMENT OF GREEN BANKING IN COMMERCIAL BANKS OF THE KYRGYZ REPUBLIC

Asel PAZYLOVA
Lecturer, Osh Technological University, Institute of Economics and Management, Department of Economics and Finance
ORCID ID: 0009-0004-8711-4613

Ayana AKIMOVA
Bachelor's Student, Osh Technological University, Institute of Economics and Management, Department of Economics and Finance

ABSTRACT
This article examines the development of green banking in the commercial banking sector of the Kyrgyz Republic under the conditions of growing environmental challenges, climate risks and the need to ensure sustainable economic growth. In the modern financial system, green banking is becoming an important instrument for balancing economic interests with environmental responsibility. The study aims to assess the current state, opportunities and prospects for the development of green banking in Kyrgyzstan, as well as to identify the role of commercial banks in financing environmentally sustainable initiatives. The research is based on a comprehensive analysis of statistical and analytical materials from the National Bank of the Kyrgyz Republic, the National Statistical Committee of the Kyrgyz Republic and the UNCTAD database. These data sources made it possible to evaluate macroeconomic trends, the dynamics of investment processes, environmental priorities and the institutional conditions influencing the implementation of green financial instruments. The article considers the essence of green banking, its main principles and the mechanisms through which commercial banks can support environmentally oriented business projects, renewable energy initiatives, energy efficiency improvements and sustainable agriculture. Special attention is given to the importance of integrating environmental criteria into lending policies, risk assessment procedures and strategic banking decisions. The study argues that the development of green banking in Kyrgyzstan can contribute not only to reducing negative environmental impacts, but also to increasing the long-term sustainability and competitiveness of the banking sector. Furthermore, green banking can become a significant factor in mobilizing investments, stimulating innovation and supporting the country's transition toward a green economy. The findings highlight the need to strengthen regulatory support, improve financial infrastructure and expand green financial products in the national banking market.
Keywords: Green Banking, Commercial Banks, Sustainable Finance, Green Economy, Kyrgyz Republic.

SCIENCE EGYPT

REF: AKADEMİK TEŞVİK

İLGİLİ MAKAMA

Uluslararası Kahire Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi 16-19 Nisan 2026 tarihleri arasında Kahire / Mısır'da 26 farklı ülkenin (Türkiye-57, Diğer Ülkelerden-69) akademisyen/araştırmacılarının katılımıyla gerçekleşmiştir. Kongre 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen "Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır." değişikliğine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir,

Saygılarımla

Prof. Violla MAKHZOUM
Head of Scientific Committee

Prof. Dr. Arzu AL
President of Organizing Committee

LONDON SOVEREIGN SCHOOL

"A Legal Entity Incorporated under the Laws of the United Kingdom"

Institutional Authentication Code : VTBVP9
Reference No : LSS/SEN/2026/07

February 13, 2026

This Official Protocol Declaration is hereby issued by London Sovereign School (hereinafter referred to as "the Institution"), a duly constituted academic and research entity operating within the United Kingdom and possessing full legal personality under applicable UK law.

Pursuant to the Institutional Charter, Academic Regulations, and Internal Statutes, the Senate of the Institution, at its duly convened session held on **14 January 2026**, did hereby adopt and enact Resolution **No. 2026/7**, whereby it is formally decreed that the scientific event specified hereunder shall be organized under the official auspices and academic supervision of the Institution. The said event shall be deemed an official academic undertaking of London Sovereign School and shall be conducted in strict conformity with principles of academic integrity and all applicable legal and regulatory provisions in force.

By virtue of the aforesaid Resolution, the academicians and designated officials serving within the Organizing Committee, Scientific Committee, Advisory Board, and related academic bodies have been duly nominated and ratified by the Senate. The list of appointed members constitutes an integral and legally operative part of this Declaration.

This Declaration shall enter into force upon issuance and remain in full force and effect unless otherwise amended by Senate resolution.

Dr. Mariam S. OLSSON
Deputy President

LONDON SOVEREIGN SCHOOL
Unit 501 Leroy House, 434-436 Essex Road
London N1 3FY - United Kingdom
Institution No: 16871908

Official Professor Roster of the Organizing Committee Members Appointed Pursuant
Prof. Dr. Arzu AL, Chairwoman
Prof. Violla MAKHZOUM, Member
Prof. Dr. Mohamed Abdallah Ksouda, Member
Prof. Frank Amosai, Member
Assoc. Prof. Dr. Ethem İlhan ŞAHİN, Member
Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER, Member
Ahmed Abdoh Sayed Ahmed Tarabeik, Member

Title and Venue of the Scientific Event: INTERNATIONAL CAIRO CONGRESS ON SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION
Official Date(s) of the Event: April 16-19, 2026 - Cairo
Official Web Adresse: https://www.scienceegypt.org/cairo